

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Методические указания**  
по выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Ремонт и монтаж оборудования»  
для студентов направления подготовки  
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств  
направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

## **Введение**

В соответствии с рабочей программой дисциплины «Ремонт и монтаж оборудования» студенту необходимо изучить основные причины нарушения работоспособности оборудования, виды износа и их классификацию, виды организации ремонта на предприятии, методы монтажа оборудования, понимать сущность системы планово-предупредительного ремонта, изучить современные средства и методы проведения ремонта, а также перспективы развития отрасли.

В связи с этим, в рамках изучения дисциплины ремонт и монтаж оборудования запланирован ряд практических занятий на целенных на знакомство студентов с методами ремонта и монтажа оборудования, с техническим обслуживанием МРС (металлорежущих станков), составления графика ППР (планово-предупредительного ремонта), составления дефектной ведомости и изучения современных методик обратного инжиниринга.

Цель лабораторных работ определяется, исходя из компетентностного подхода к процессу обучения и рабочей программы дисциплины «Ремонт и монтаж оборудования» для студентов направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств направленность (профиль) Технология машиностроения с освоением компетенций и индикаторов:

- ПК-9. Способен осуществлять пусконаладочные работы простого технологического оборудования механосборочного производства;
- ИД-2<sub>ПК-9</sub> Проводит индивидуальные испытания простого технологического оборудования механосборочного производства
- ИД-3<sub>ПК-9</sub>. Осуществляет методическое обеспечение эксплуатации простого технологического оборудования механосборочного производства;
- ИД-4<sub>ПК-9</sub>. Организует работы по ремонту и монтажу простого технологического оборудования механосборочного производства.

## Содержание

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Лабораторное занятие №1 Выверка станка в горизонтальной плоскости .....                                               | 4  |
| Лабораторное занятие №2 Изучение типов систем смазки на примере станка<br>JET 1230W3 .....                            | 4  |
| Лабораторное занятие №3 Изучение типов виброопор .....                                                                | 9  |
| Лабораторное занятие №4 Технология сборки и разборки ремонтируемого<br>оборудования и его узлов.....                  | 14 |
| Лабораторное занятие №5 Технологии реверс инжиниринга в ремонтном<br>хозяйстве .....                                  | 21 |
| Лабораторное занятие № 6 Составление годового план-графика планово-<br>предупредительного ремонта оборудования .....  | 25 |
| Лабораторное занятие № 7 Составление дефектной ведомости.....                                                         | 38 |
| Лабораторное занятие №8 Определение объема ремонтных работ<br>изношенного вала.....                                   | 42 |
| Лабораторное занятие №9 Определение объема ремонтных работ по<br>устранению несоосности передней и задней бабок ..... | 47 |
| Лабораторное занятие №10 Ремонт повреждений и заделка трещин деталей<br>машин .....                                   | 53 |

## **Лабораторное занятие №1**

### **Выверка станка в горизонтальной плоскости**

**Цель работы:** изучить порядок выверки обрабатывающих станков в горизонтальной плоскости.

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

**Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

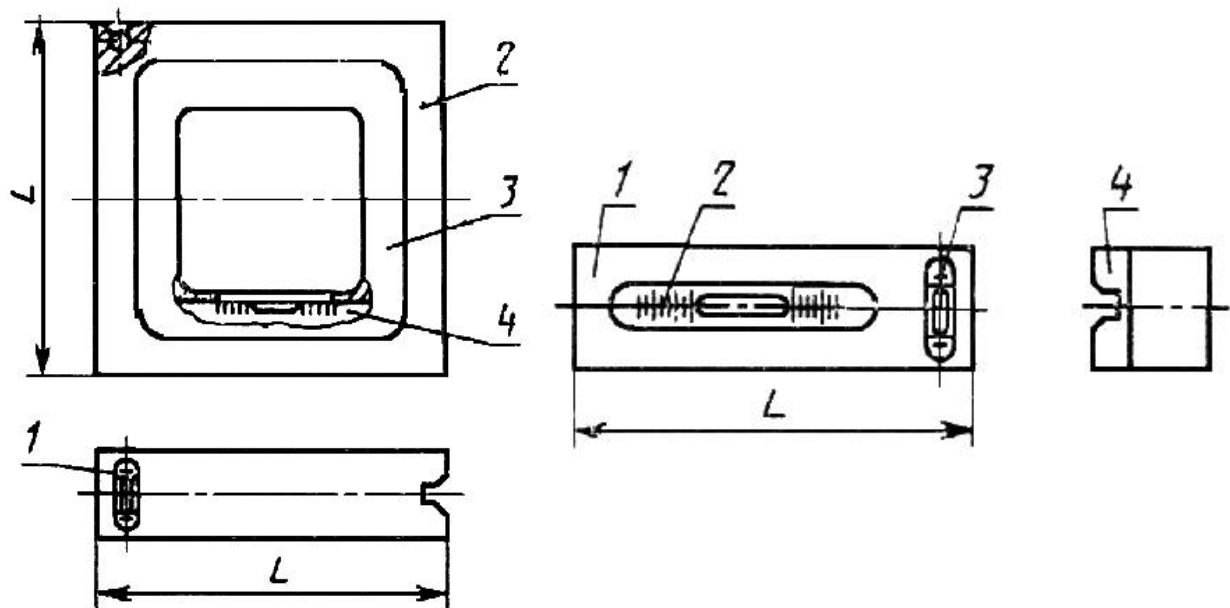
Точность и долговечность работы станков во многом зависит от их правильной установки на фундамент. Назначение фундамента заключается в передаче нагрузки от веса станка и сил инерции во время работы ближайшему слою грунта. Руководством при установке станка служит приведенный в паспорте на станок чертеж. Указанные на нем размеры обеспечивают свободное пространство для выступающих и движущихся частей станка. Также в паспорте станка должны быть отражены допуски на установку станка продольном и поперечном направлении.

Для проверки положения станины в продольном направлении уровни устанавливают в двух местах - на передней и задней направляющих станины. Положение станины в поперечном направлении проверяют уровнями.

Уровень показывает отклонение от горизонтальности на длине 1000 мм, т.е. практически на поверхности, равной его длине. Чем короче уровень,

тем менее точны измерения. Для получения более точных результатов уровень устанавливают на специальные приспособления или линейки с опорами на концах, расстояние между которыми равно 250, 500 или 1000 мм. Определение фактического показания уровня при расстоянии между опорами менее 1000 мм производится путем пересчета. Не допускается перемещать уровень непосредственно по проверяемой поверхности без специальных подставок, так как при этом изнашиваются точные поверхности уровня и, как следствие, искажаются результаты измерений. Проверку поверхности в различных точках следует производить только переустановкой уровня. Чтобы убедиться в исправности уровня, следует переустановить его на одном месте, повернув на 180°. Изменение показаний при этом не должны превышать допускаемую погрешность уровня.

Для выверки станков используются специализированные уровни, соответствующие требованиям ГОСТ 9392-89, с ценой деления от 0,01 мм/м.



1 - поперечная ампула; 2 - корпус;  
3 - термоизоляционная накладка; 4 -  
продольная ампула

а)

1 - термоизоляционная накладка; 2 -  
продольная ампула; 3 - поперечная  
ампула; 4 - основание

б)

## Рисунок 1 – Типы уровней: а) Рамочный; б) Брусковый

Допускаемая погрешность уровней на одном делении при температуре окружающего воздуха  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности до 80% должна соответствовать значениям, указанным в таблице 1

Таблица 1 - Допускаемая погрешность уровня от цены деления

| Цена деления уровня | Допускаемая погрешность уровня |
|---------------------|--------------------------------|
| 0,01                | $\pm 0,005$                    |
| 0,02                | $\pm 0,006$                    |
| 0,05                | $\pm 0,015$                    |
| 0,10                | $\pm 0,030$                    |
| 0,15                | $\pm 0,040$                    |

### Методика и порядок выполнения работы

1. Получить от преподавателя задание и приборное обеспечение.
2. Провести замеры отклонений от горизонтальности всего станочного парка.
3. Занести результаты в таблицу.
4. Подготовить отчет.

### Содержание отчета и его форма

1. Наименование практической работы.
2. Цель и содержание.
3. Составить таблицу содержащую следующую информацию:
  - Модель станка;
  - Допуск станка на установку в горизонтальной плоскости;
  - Отклонение от горизонтальности в продольном направлении;
  - Отклонение от горизонтальности в поперечном направлении;

-Рекомендации по выверке станка в горизонтальной плоскости.

4. Выводы по работе.



## **Лабораторное занятие №2**

### **Изучение типов систем смазки на примере станка JET 1230W3**

**Цель работы:** изучить типы систем смазки МРС на примере станка JET 1230W3.

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

## **Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

Для обеспечения нормальной работы узлов и механизмов МРС необходимо уменьшить трение, износ, нагревание, так как это приводит к непроизводительной потере энергии. Для этого требуется обеспечить нормальную смазку станка.

В качестве смазочных материалов в станках применяют жидкие минеральные масла и густые (консистентные) смазки. Преимущественное распространение получили масла, наиболее приемлемые для смазки быстроходных сопряжений и позволяющие осуществлять централизованную смазку с циркуляцией и очисткой масла от загрязнений.

Системы смазки подразделяются на следующие виды:

1. Ручная индивидуальная смазка. Индивидуальная смазка, когда отдельные точки станка смазываются независимо друг от друга.

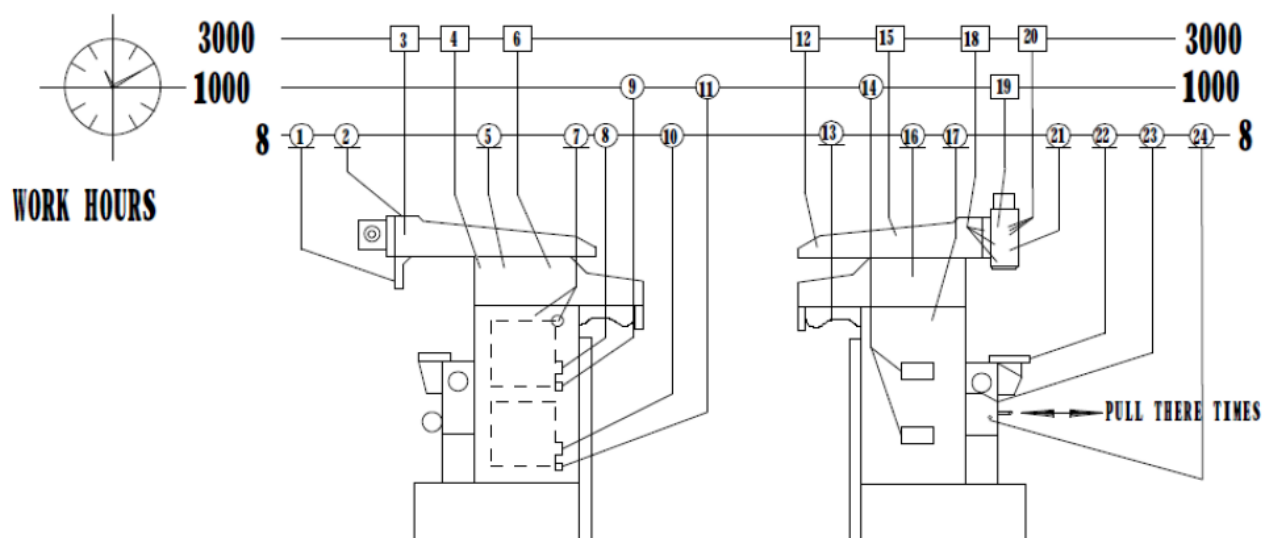
2. Централизованная система смазки, когда отдельные точки смазки объединены общей арматурой, по которой принудительно от плунжерных, шестеренчатых или центробежных насосов подается смазка.

3. Комбинированная система смазки, которая совмещает индивидуальную и централизованную системы.

4. Смазка туманом - система приспособлений осуществляет распыление смазки, при этом образуется туман мелких частиц смазки, которые наилучшим образом попадают на трущиеся поверхности, значительно снижая температуру в зоне трения.

5. Погружением вращающихся деталей в масляную ванну с дальнейшим разбрызгиванием вращающимися элементами деталей по всему объему смазываемого узла.

6. Гидродинамическая и гидростатическая смазка подвижных соединений. Гидродинамическая - смазка подается к поверхностям под давлением, статическая - самотеком.



| MACHINE ASSEMBLY | VERTICAL MILLING HEAD |      |      | HORIZONTAL SPINDLE BOX |         | OVERARM |         | COLUMN |      |      |      | KNEE |    | OVERARM SUPPORT | UNIVERSAL TABLE |
|------------------|-----------------------|------|------|------------------------|---------|---------|---------|--------|------|------|------|------|----|-----------------|-----------------|
| ACTION SPOT NO.  | 18.20                 | 21   | 19   | 4.6                    | 5.13.16 | 2       | 3.12.15 | 7.17   | 8.10 | 14   | 9.11 | 23   | 24 | 1               | 22              |
| SYMBOL           |                       |      |      |                        |         |         |         |        |      |      |      |      |    |                 |                 |
| OIL SIGHT H      |                       |      |      |                        |         |         |         |        | 8    |      |      |      | 8  |                 |                 |
| OILING H         | 3000                  | 8    | 1000 | 3000                   | 8       | 8       | 3000    | 8      |      | 1000 |      | 8    |    | 8               | 8               |
| OIL DRAINAGE H   |                       |      |      |                        |         |         |         |        |      |      | 1000 |      |    |                 |                 |
| LUBRICANT        |                       |      |      |                        |         |         |         |        |      |      |      |      |    |                 |                 |
| OILING AMOUNT L  | 0.02                  | 0.01 | 0.01 | 0.02                   | 0.03    | 0.01    | 0.02    | 0.03   |      | 6.40 | 6.40 | 0.20 |    | 0.01            | 0.01            |

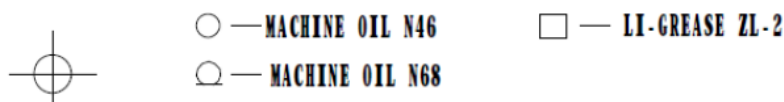


Рисунок 2 – Схема смазки станка JET 1230W3

## Методика и порядок выполнения работы

- Изучить конструкцию станка JET 1230W3 (Определить расположение: коробки скоростей; коробки подач; направляющих фрезерного стола; вертикальной фрезерной головки; консоли фрезерной головки.)
- Изучить схему смазки станка JET 1230W3 и установить:
  - места заливки масла в коробки скоростей и подач;
  - месторасположение мест слива масла;

- месторасположение ручного масляного насоса;
- месторасположение маслоуказателей.

3. Используя схему смазки станка сгруппировать места смазки по следующим признакам:

- принадлежность к определенному конструктивному узлу;
- по типу смазки (масленая и консистентная);
- по виду смазки (индивидуальный; централизованный; смазка туманом, погружение в масляную ванну и т.д.);
- по времени контроля (3000, 1000, 8 часов);
- по требуемому объему смазывающего вещества.

### **Содержание отчета и его форма**

1. Наименование практической работы.
2. Цель и содержание
3. Описание станка JET JTM-1230W3 (Тип станка, предназначение, характеристику основных конструктивных элементов).
4. Описание месторасположения мест заливки, контроля уровня и слива масла.
5. Сгруппированные места смазки по признакам должны быть представлены в отчете тестовом формате. К примеру: *Консоль вертикальной фрезерной головки номера мест смазки на схеме – 2; 3; 12; 15. Вид смазки: № 2 - масляная; № 3, 12, 15 - консистентная. Время контроля: №2 раз в 8 ч.; № 3, 12, 15 раз в 3000 ч. Тип смазки: №2 - гидростатическая смазка; № 3, 12, 15 – индивидуальная. Объем смазывающего вещества: № 2 - 0,01 л.; № 3, 12, 15 - 0,02л.*

## **Лабораторное занятие №3**

### **Изучение типов виброопор**

**Цель работы:** Изучить типы виброопор. К предложенному станочному парку подобрать виброопоры.

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

**Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

Виброизолирующие опоры с регулирующим винтом с метрической резьбой предназначены для пассивной и активной виброизоляции станков среднего размера высокой и нормальной точности с жесткими станинами при наличии колебаний (стационарных и случайных).

Рассмотрим основные виброопоры, которые используются в промышленности, это виброопора ОВ-31 и ОВ-70.

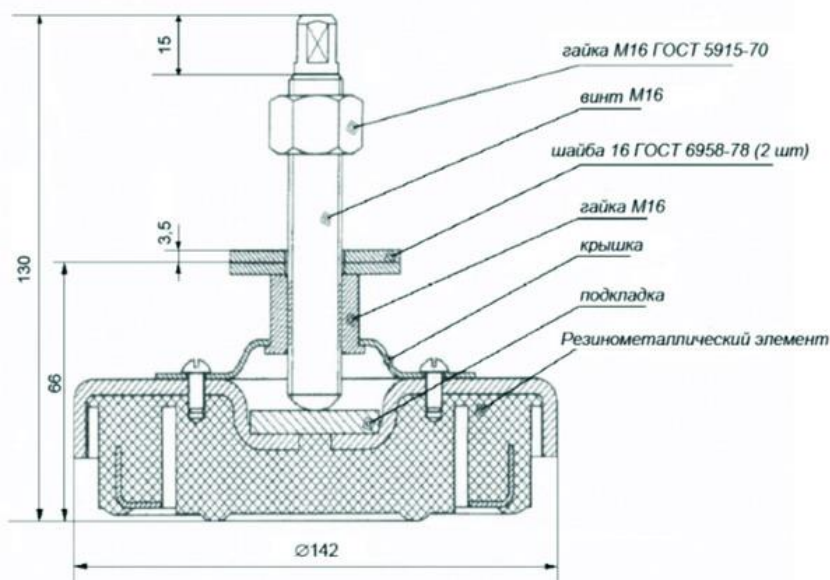


Рисунок 3 – Виброопора ОВ-31

Виброизолирующая опора ОВ-31 имеет массу виброизолятора 1,560 кг, диапазон рабочих нагрузок 250-4500 кг на одну опору. Исходя из этого необходимо заведомо знать вес оборудования, на который устанавливается виброопора ОВ-31, количество устанавливаемых опор. При установке на четыре виброопоры допустимый вес оборудования должен составлять от 1000 кг до 18 000 кг. Если станок весит меньше, то данные виброопоры не подходят, потому как резинометаллический элемент не будет выполнять свои функции. При установке на оборудование весом более 18 000 кг. резиновый элемент просто вытиснится из металлического изделия, и виброопора придет в негодность. При установке оборудования на виброопору ОВ-31М весом от 1000 кг до 1400 кг, при неровной поверхности пола, возможно смещение оборудования в горизонтальной плоскости, попросту «сползать» с рабочего места, в данном случае виброопоры необходимо устанавливать на фиксаторы горизонтальных смещений, ФГС-31. Они имеют 2 отверстия для закрепления ФГС к полу, и округлое отверстие с бортом, для предотвращения смещения оборудования.



Рассмотрим виброопору ОВ-70. Масса виброизолирующей опоры ОВ-70 составляет 0.37 кг, диапазон рабочих нагрузок 50-500 кг на одну опору. Исходя из этого необходимо также, как и в случае с виброопорой ОВ-31 знать вес оборудования, на который устанавливается виброопора ОВ-70 и знать количество мест для установки виброопор. Стоит отметить, что при установке оборудования с весом от 200 кг до 800 кг на виброопору, в случае неровной поверхности пола, возможно смещение оборудования в горизонтальной плоскости, в данном случае виброопоры необходимо устанавливать на фиксаторы горизонтальных смещений, ФГС-70. Они имеют 2 отверстия для закрепления ФГС к полу, и округлое отверстие с бортом, для предотвращения смещения оборудования.

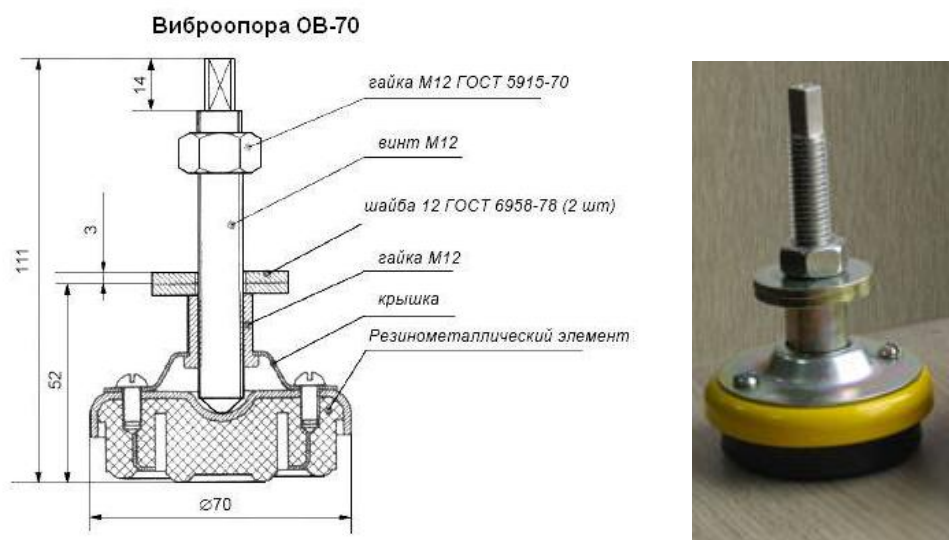


Рисунок 4 – Виброопора ОВ-70

### Методика и порядок выполнения работы

1. Получить от преподавателя задание и приборное обеспечение.
2. Занести результаты в таблицу.
3. Подготовить отчет.

### Содержание отчета и его форма

1. Наименование практической работы.

2. Цель и содержание.

3. Составить таблицу содержащую следующую информацию:

-Модель станка;

-Класс станка;

-Количество мест под опоры;

-Масса станка;

-Тип виброопор;

-Необходимость в ФГС.

4. Выводы по работе.

## **Лабораторное занятие №4**

### **Технология сборки и разборки ремонтируемого оборудования и его узлов**

**Цель работы:** изучить технологию сборки и разборки ремонтируемого оборудования и его узлов, на примере червячного редуктора. Провести дефектовку.

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения

работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

### **Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

#### *Разборка оборудования.Правила разборки оборудования*

При разборке сложных и ответственных узлов составляют их схемы разборки и проводят эскизирование, для того чтобы облегчить последовательность сборки, разборку начинают со снятия кожухов ограждений, счётчиков, щитков, крышек чтобы открыть доступ к разбираемым узлам, крупные детали укладывают на подставки возле ремонтируемого узла

Детали каждого разбираемого узла складывают в отдельные ящик аккуратно, чтобы не повредить обрабатываемые поверхности. А для

облегчения сборки каждый узел или детали узла метят: кернением, краской, бирками, клеймением, кислотой, электрографом, рисками.

При разборке гидро- и пневмосистем должны помечаться все трубопроводы и места их подсоединения к элементам системы.

Разборка должна осуществляться заранее подготовленными инструментами и приспособлениями, использование которых исключает порчу деталей.

Чтобы легко снимать детали с натягом их можно нагревать горячим маслом, паром, иногда огнём, иногда используют углекислоту. Для снятия деталей с натягом применяют 2-х и 3-х захватные съёмники, а иногда прессы.

Резьбовые соединения разбираются при помощи гаечных ключей или электро- и пневмоинструмента.

Штифты выбиваются бородками с диаметром рабочего конца чуть меньше диаметра штифта.

Тяжёлые детали узлов разбирают с помощью грузоподъёмного оборудования, строго соблюдая технику безопасности.

#### *Разборка узла*

Узел разбирают в последовательности, предусмотренной технологическим процессом как для станка в целом, так и для отдельных механизмов, агрегатов и узлов. При разборке снимают целые узлы, причём препятствующие снятию других сборочных единиц. Затем отдельные узлы разбирают на под узлы и детали. Необходимость разборки того или иного узла определяется видами и задачами ремонта. Разборку следует начинать со снятия кожухов, крышек, защитных щитков, ограждений и .т. п. Для открытия доступа к разбираемым узлам.

#### *Техника безопасности при разборке.*

Разборку любого оборудования узла, механизма выполняют только при устойчивом положении. При разборке крепежа принимают меры против самопроизвольного перемещения или падения снимаемой детали. Не

производить разборку узлов, подвешенных на подъёмных механизмах. Подкладку под опускаемый груз класть заранее, а не при опускании.

При разборке использовать только исправный инструмент и приспособления. Гаечные ключи должны соответствовать гайки или головки болта. При этом поверхности у ключа должны быть параллельны и не деформированные.

### *Очистка и промывка*

#### *Очистка деталей*

Существуют следующие способы очистки деталей: Механический - ржавчина, нагар, затвердевшая смазка, старая краска - удаляется щётками, скребками или шаберами.

Абразивный - детали очищают с помощью пескоструйной или гидропескоструйной обработки (этот способ применяется для крупных деталей и деталей где нет ответственных поверхностей).

Термический - старую краску, ржавчину удаляют, нагревая поверхность паяльной лампой или газовой горелкой. Химический - всю грязь удаляют специальными пастами и растворами.

#### *Промывка деталей*

Существуют следующие способы очистки деталей:

Ручной - промывку ведут в 2-х ваннах заполненных органическим растворителем: 1 ванна - замачивается и предварительно промывается: 2 ванна - окончательная промывка деталей. Очищается при помощи щёток, скребков и высушивается обтирочным материалом.

В бочках методом погружения - детали погружают в стационарный бак. в котором имеется сетка, на которую кладут детали. В этом баке имеется спираль для подогрева моющего раствора до  $t = 80-90^{\circ}\text{C}$  и через трубку подаётся водный раствор различных щелочных комбинаций, мыла, кальцинированной соды.

### *Дефектация*

При дефектации выявляют:

Износы рабочих поверхностей в виде изменений размеров и геометрической формы детали; наличие выкрашиваний, трещин, сколов, царапин, рисок, задиров и т. п.; остаточные деформации в виде изгиба, скручивания, коробления;

Изменение физико-механических свойств в результате воздействия температуры или среды.

### *Методы обнаружения дефектов*

Все дефекты можно подразделить на внешние и внутренние.

Внешние: тактильный метод (на ощупь рукой) - поверхности деталей ощупываются руками; визуальный - метод основан на осмотре деталей; керосиновая проба - метод применяется, если на поверхности имеются микротрещины, которые не видны глазом и неощутимы на ощупь; пигментной пробы - метод применяется, когда детали имеют сколы и выкрашивания. Метод рассчитан на рассмотрение структуры материала. люминесцентный - метод предназначен на выявление налётов и окислов на металле при помощи люминесцентной лампы.

Внутренние: акустический метод - основан на простукивании деталей (т.е. определение внутренних дефектов на слух); ультразвуковой - дефекты определяются при помощи специальных ультразвуковых установок; магнитный - основан на использовании различных магнитов. Смотрят прохождение магнитных полей через деталь при помощи специальных установок; гамма лучами - используется для проведения процесса дефектации в специальных лабораториях с радиоактивными установками. Через деталь пропускается пучок гамма лучей и на специальной плёнке смотрят тёмные пятна, которые обозначают пустоты, трещины и другие дефекты. рентгеновский - используется при наличии рентгенных установок. Способ основан на пропускании рентгеновских лучей и просмотра на карте мест прерывания их хода.

Результаты дефектации деталей заносят в ведомость дефектов, являющуюся основным документом для определения объема ремонтно-восстановительных работ и потребности в новых деталях, запасных частях, материалах. Таким образом, определяется стоимость ремонта.

### *Сборка оборудования*

Сборка узла, механизма, станка в целом предшествует их комплектация. По технологической карте сборки и дефектной ведомости в комплектовочном отделении подбирают все детали (узлы), составляющие данную сборочную единицу, из числа годных, отремонтированных или новых.

### *Испытания станка*

Всё оборудование прошедшее капитальный ремонт перед тем как вступить в эксплуатацию, проходит цикл испытаний, который подразделяется на три этапа: Проверка паспортных данных (наружный осмотр) и испытание на холостом ходу (обкатка). Испытания под нагрузкой.

Проверка на геометрическую точность, виброустойчивость и др. испытания необходимые для данного оборудования.

Наружный осмотр и обкатка. При наружном осмотре проверяют: надежность крепления всех сборочных единиц и механизмов; наличие и крепление защитных кожухов и ограждений; наличие смазочного материала на трущихся поверхностях, в масленках; наличие масла в полостях корпусов, также смазочно-охлаждающей жидкости; надежность присоединения трубопроводов и отсутствие течи в гидросистемах и пневмосистемах. в системах охлаждения и смазки; плавность перемещений в ручную подвижных узлов и деталей, отсутствие заеданий и рывков.

Целью обкатки является обеспечение приработки поверхностей подвижных соединений, и выявление дефектов, возникших в результате допущенных при ремонте и последующей сборке



Обкатка производится на холостом ходу, начиная с самых малых скоростей и постепенно доходя до максимальных, последовательно переключая все скорости.

### *Испытания под нагрузкой*

Проводят с целью проверки работы отдельных механизмов и станка в целом при действии на них рабочих номинальных нагрузок и кратковременных перегрузок до 25%.

### **Методика и порядок выполнения работы**

1. Получить от преподавателя задание и приборное обеспечение.
2. Провести разборку редуктора.
3. Записать последовательность разборки
4. Провести дефектовку
5. Провести сборку
6. Провести эскизирование червячного колеса и червяка.
7. Подготовить отчет.

### **Содержание отчета и его форма**

1. Наименование практической работы.
2. Цель и содержание.
3. Краткое теоретическое обоснование.
4. Чертежи червячного колеса и червяка
5. Выводы по работе.

## **Лабораторное занятие №5**

### **Технологии реверс инжиниринга в ремонтном хозяйстве**

**Цель работы:** изучить технологии реверс инжиниринга посредством обратного проектирования предложенного изделия

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

**Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

Обратный или реверс инжиниринг в машиностроении — это комплекс технологий, аппаратных и программных средств, необходимых для создания свойств объекта с внесением в него ряда доработок и когда проектировщик данного объекта не предоставил полную информацию о структуре и технологии создания. Для данной технологии аппаратными средствами являются 3D сканеры, 3D-принтеры, компьютеры для сбора и обработки полученной информации и создания модели объекта. Первоначально данный метод применялся в военной промышленности с целью копирования удачных образцов военной техники.

Применение в машиностроении обратного инжиниринга необходимо для:

- воссоздания утраченных или изношенных деталей, при исключении возможности закупки запчастей, при необходимости срочного ремонта;

- в случаях применения новых механизмов и деталей;
- воссоздание изделия, снятого с производства.

Основными преимуществами обратного инжиниринга являются:

- сокращение временных и иных затрат на этапе создания продукции; – высокая производительность процесса;
- экологичность;
- возможность внесения доработок и автоматизации процесса.

Основными недостатками обратного инжиниринга являются:

- при создании новых разработок возможно нарушение патентных и авторских прав;
- высокая стоимость оборудования;
- высокая вероятность раскрытия свойств разработанного объекта и создания аналога конкурентами.

Условно обратный инжиниринг возможно разделить на несколько этапов. Первоначально проводят измерение воссоздаваемого объекта при помощи различных технических средств. Такими средствами могут являться как измерительный инструмент (штангенциркуль, микрометр, нутромер, глубиномер и т. п.) так и специальные технические средства – контактные и бесконтактные 3d сканеры. При воссоздании простых объектов, имеющих небольшие размеры, предпочтение отдаётся измерительному инструменту. В случае если воссоздаваемый объект имеет криволинейные поверхности и сложен для измерения применяются 3D сканеры. Последующим этапом является обработка результатов измерения и сканирования, путем создания 3D моделей на основании первоначальных эскизов объекта и редактирования результатов 3D сканирования. Завершающим этапом при реверс инжиниринге является оформление документации и производство воссоздаваемого объекта.

### **Методика и порядок выполнения работы**

1. Получить от преподавателя задание и приборное обеспечение.
2. Провести замеры детали, оформить эскиз.
3. Создать 3D модель воссоздаваемой детали в нескольких исполнениях.
4. Предложить изменение конструкции (конструктивные доработки; упрощение конструкции для повышения технологичности процесса изготовления)
5. Оформить рабочий чертеж детали
6. Подготовить отчет.

### **Содержание отчета и его форма**

1. Наименование практической работы.
2. Цель и содержание.
3. Краткое теоретическое обоснование.
4. 3D модель детали в нескольких исполнениях
5. Рабочий чертеж детали
6. Выводы по работе

## **Лабораторное занятие № 6**

### **Составление годового план-графика планово-предупредительного ремонта оборудования**

**Цель работы:** научиться рассчитывать периодичность работ по плановому ТО и ремонту, составлять годовой план – график ППР оборудования.

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения

работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

#### **Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

#### **Теоретическое обоснование**

Под системой ППР понимается совокупность организационных и технических мероприятий по эксплуатации, обслуживанию и ремонту оборудования, направленных на предупреждение преждевременного износа деталей, узлов и механизмов и на повышение надежности.

Благодаря этому предупреждается преждевременный износ оборудования, устраняются и предупреждаются аварии, системы противопожарной защиты поддерживаются в постоянной эксплуатационной готовности.

Система планово-предупредительного ремонта включает в себя следующие виды технического ремонта и обслуживания:

- еженедельное техническое обслуживание,

- ежемесячный текущий ремонт,
- ежегодный планово-предупредительный ремонт,

Ежегодный планово-предупредительный ремонт проводится в соответствии с годовым план-графиком ППР оборудования.

#### *Составление графика ППР*

Годовой график планово-предупредительного ремонта, на основе которого, определяется потребность в ремонтном персонале, в материалах, запасных частях, комплектующих изделиях. В него включается каждая единица, подлежащая капитальному и текущему ремонту.

Для составления годового графика планово-предупредительного ремонта (графика ППР) необходимо знать нормативы периодичности ремонта оборудования. Эти данные можно найти в паспортных данных завода-изготовителя, если завод это специально регламентирует, либо использовать справочник «Система технического обслуживания и ремонта».

#### **Методика и порядок выполнения работы**

1. В соответствии с вариантом выбрать парк оборудования из приложения 1

Таблица 1 – Задание

| Вариант | Номер оборудования |    |    |    |    |
|---------|--------------------|----|----|----|----|
| 1       | 1                  | 6  | 10 | 13 | 15 |
| 2       | 16                 | 2  | 7  | 11 | 14 |
| 3       | 20                 | 17 | 3  | 8  | 12 |
| 4       | 23                 | 21 | 18 | 4  | 9  |
| 5       | 25                 | 24 | 22 | 19 | 5  |
| 6       | 20                 | 9  | 12 | 1  | 24 |
| 7       | 1                  | 7  | 8  | 20 | 19 |
| 8       | 5                  | 17 | 9  | 6  | 21 |
| 9       | 3                  | 13 | 5  | 15 | 17 |
| 10      | 21                 | 1  | 9  | 17 | 3  |
| 11      | 6                  | 9  | 16 | 21 | 8  |
| 12      | 18                 | 23 | 10 | 22 | 8  |



|    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
| 13 | 3  | 5  | 15 | 2  | 3  |
| 14 | 5  | 10 | 2  | 19 | 1  |
| 15 | 11 | 2  | 15 | 2  | 15 |
| 16 | 21 | 12 | 11 | 22 | 20 |

2. Внести в пустую форму графика ППР выбранное оборудование (Приложение 4). В графе 1 указывается наименование оборудования, как правило, краткая и понятная информация об оборудовании. В графе 2 – кол-во оборудования.

3. Из приложения №1 «Нормативы периодичности, продолжительности и трудоемкости ремонта» выбирать значения периодичности ремонта и простоя при капитальном и текущем ремонтах, и записать их в свой график. (В графе 3-4 – указываются нормативы ресурса между капитальными ремонтами и текущими. (см приложение 2))

4. В дальнейшем, для выбранного оборудования необходимо определиться с количеством и видом ремонтов в предстоящем году. Для этого нам необходимо определить количество отработанных часов оборудования (Расчет условно ведется с января месяца). Заполнить графы 5-6 – трудоемкость одного ремонта (см. приложение 3) на основании ведомости дефектов. В графах 7-8 – указываются даты последних капитальных и текущих ремонтов (условно принимаем январь месяц текущего года). В графах 9-20 каждая из которых соответствует одному месяцу, условным обозначением указывают вид планируемого ремонта: К – капитальный, Т – текущий.

5. Определить годовой простой в ремонте. В графе годового фонда рабочего времени указать количество часов, которое данное оборудование будет находиться в работе за вычетом простоев в ремонте. В графах 21 и 22 соответственно записать годовой простой оборудования в ремонте и годовой фонд рабочего времени.

6. Сделать вывод

**Содержание отчета и его форма**

1. Наименование практической работы.
2. Цель и содержание.
3. В соответствии с вариантом заполнить план график ППР.
4. Выводы по работе.

**НОРМАТИВЫ ПЕРИОДИЧНОСТИ, ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ И  
ТРУДОЕМКОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И  
РЕМОНТА**

| п/п | Наименование<br>оборудования                        | Нормативы ресурса<br>между ремонтами |       | Время простоя<br>оборудования |    |
|-----|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------|-------------------------------|----|
|     |                                                     | Т                                    | К     | Т                             | К  |
| 1   | 2                                                   | 3                                    | 4     | 5                             | 6  |
| 1   | Кран мостовой Q=3.2т                                | 6000                                 | 24000 | 16                            | 32 |
| 2   | Токарно - винторезный<br>станок 1М63                | 6720                                 | 40320 | 8                             | 40 |
| 3   | Токарно - винторезный<br>станок 16К20               | 6720                                 | 40320 | 8                             | 40 |
| 4   | Наждак                                              | 12500                                | 37500 | 2                             | 4  |
| 5   | Машина листогибочная<br>ИБ 2144                     | 3000                                 | 9000  | 2                             | 6  |
| 6   | Пресс ножницы<br>комбинированные НБ<br>5221Б        | 3500                                 | 10500 | 4                             | 8  |
| 7   | Зигмашина ИБ 2716                                   | 20000                                | 40000 | 1                             | 2  |
| 8   | Ножницы кривошипные<br>Н3118                        | 1500                                 | 6000  | 4                             | 8  |
| 9   | Трансформатор сварочный                             | 1200                                 | 2400  | 16                            | 32 |
| 10  | Машина листогибочная<br>трехволковая ИБ 2216        | 4000                                 | 12000 | 16                            | 32 |
| 11  | Отделочно-расточной<br>вертикальный станок<br>2733П | 2800                                 | 11200 | 4                             | 8  |
| 12  | Зигмашина ВМ С76В                                   | 20000                                | 40000 | 1                             | 2  |
| 13  | Трансформатор сварочный<br>ТДМ 401-У2               | 1200                                 | 2400  | 16                            | 32 |
| 14  | Выпрямитель для дуговой<br>сварки ВДУ - 506С        | 1200                                 | 2400  | 8                             | 16 |
| 15  | Кран мостовой Q=1т                                  | 6000                                 | 24000 | 16                            | 32 |
| 16  | Вертикально - фрезерный<br>станок 6М13П             | 6720                                 | 40320 | 8                             | 32 |

|    |                                           |       |       |    |    |
|----|-------------------------------------------|-------|-------|----|----|
| 17 | Выпрямитель для дуговой сварки ВДУ - 506С | 1200  | 2400  | 8  | 16 |
| 18 | Вертикально - сверлильный станок ГС2112   | 6720  | 40320 | 8  | 32 |
| 19 | Вертикально-фрезерный станок 6М13П        | 6720  | 40320 | 8  | 32 |
| 20 | Полуавтомат сварочный                     | 1200  | 2400  | 16 | 32 |
| 21 | Кран мостовой Q=3.2т                      | 6000  | 24000 | 16 | 32 |
| 22 | Токарно - винторезный станок 1М63         | 6720  | 40320 | 8  | 32 |
| 23 | Токарно - винторезный станок 16К20        | 6720  | 40320 | 8  | 32 |
| 24 | Наждак                                    | 12500 | 37500 | 2  | 4  |
| 25 | Вертикально - фрезерный станок 6М13П      | 6720  | 40320 | 8  | 32 |

| Учет времени работы оборудования |                                          |            |             |      |        |     |      |      |        |              |         |        |         |
|----------------------------------|------------------------------------------|------------|-------------|------|--------|-----|------|------|--------|--------------|---------|--------|---------|
| №<br>п/<br>п                     | Наименование<br>оборудования             | Месяц года |             |      |        |     |      |      |        |              |         |        |         |
|                                  |                                          | январь     | феврал<br>ь | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябр<br>ь | октябрь | ноябрь | декабрь |
| 1                                | 2                                        | 3          | 4           | 5    | 6      | 7   | 8    | 9    | 10     | 11           | 12      | 13     | 14      |
| 1                                | Кран<br>мостовой<br>Q=3.2т               | 28         | 32          | 37   | 29     | 34  | 28   | 35   | 27     | 36           | 30      | 28     | 32      |
| 2                                | Токарно -<br>винторезный<br>станок 1М63  | 128        | 157         | 161  | 168    | 152 | 165  | 158  | 160    | 162          | 155     | 164    | 165     |
| 3                                | Токарно -<br>винторезный<br>станок 16К20 | 128        | 157         | 165  | 168    | 152 | 165  | 158  | 160    | 162          | 155     | 164    | 165     |
| 4                                | Наждак                                   | 35         | 38          | 50   | 57     | 44  | 56   | 48   | 45     | 40           | 35      | 44     | 48      |
| 5                                | Машина<br>листогибочная<br>ИБ 2144       | 68         | 70          | 84   | 80     | 70  | 80   | 75   | 82     | 68           | 74      | 78     | 76      |
| 6                                | Пресс<br>ножницы                         | 95         | 90          | 109  | 115    | 90  | 120  | 105  | 98     | 110          | 96      | 103    | 96      |

|    |                                               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|-----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|    | комбинированные НБ 5221Б                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 7  | Зигмашина ИВ 2716                             | 58  | 60  | 62  | 64  | 60  | 50  | 59  | 65  | 63  | 54  | 66  | 63  |
| 8  | Ножницы кривошипные НЗ118                     | 8   | 10  | 6   | 4   | 10  | 7   | 8   | 5   | 6   | 4   | 3   | 8   |
| 9  | Трансформатор сварочный                       | 120 | 125 | 140 | 140 | 125 | 120 | 130 | 140 | 135 | 123 | 125 | 120 |
| 10 | Машина листогибочная трехволковая ИБ 2216     | 68  | 70  | 84  | 80  | 70  | 80  | 75  | 78  | 82  | 76  | 80  | 74  |
| 11 | Отделочно-расточной вертикальный станок 2733П | 28  | 30  | 32  | 34  | 32  | 30  | 28  | 32  | 30  | 32  | 28  | 31  |
| 12 | Зигмашина ВМ С76В                             | 39  | 48  | 38  | 52  | 56  | 35  | 33  | 44  | 28  | 27  | 35  | 42  |
| 13 | Трансформатор сварочный ТДМ 401-У2            | 110 | 120 | 140 | 120 | 140 | 130 | 125 | 135 | 140 | 120 | 130 | 125 |

|    |                                                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 14 | Выпрямитель<br>для дуговой<br>сварки ВДУ -<br>506С | 155 | 160 | 168 | 162 | 168 | 180 | 182 | 170 | 174 | 182 | 180 | 160 |
| 15 | Кран<br>мостовой<br>Q=1т                           | 10  | 15  | 14  | 15  | 12  | 13  | 15  | 12  | 14  | 10  | 9   | 12  |
| 16 | Вертикально -<br>фрезерный<br>станок 6М13П         | 120 | 125 | 161 | 168 | 152 | 165 | 158 | 160 | 162 | 158 | 164 | 165 |
| 17 | Выпрямитель<br>для дуговой<br>сварки ВДУ -<br>506С | 155 | 160 | 168 | 162 | 168 | 180 | 182 | 170 | 174 | 182 | 180 | 160 |
| 18 | Вертикально -<br>сверлильный<br>станок ГС2112      | 68  | 77  | 75  | 67  | 72  | 65  | 70  | 74  | 85  | 98  | 68  | 35  |
| 19 | Вертикально-<br>фрезерный<br>станок 6М13П          | 120 | 125 | 161 | 168 | 152 | 165 | 158 | 160 | 162 | 158 | 164 | 165 |
| 20 | Полуавтомат<br>сварочный                           | 142 | 140 | 164 | 164 | 142 | 164 | 160 | 154 | 162 | 148 | 166 | 160 |

|    |                                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 21 | Кран<br>мостовой<br>Q=3.2т                 | 28  | 32  | 37  | 29  | 34  | 28  | 35  | 27  | 36  | 30  | 28  | 32  |
| 22 | Токарно -<br>винторезный<br>станок 1М63    | 128 | 157 | 161 | 168 | 152 | 165 | 158 | 160 | 162 | 155 | 164 | 165 |
| 23 | Токарно -<br>винторезный<br>станок 16K20   | 128 | 157 | 165 | 168 | 152 | 165 | 158 | 160 | 162 | 155 | 164 | 165 |
| 24 | Наждак                                     | 35  | 38  | 50  | 57  | 44  | 56  | 48  | 45  | 40  | 35  | 44  | 48  |
| 25 | Вертикально -<br>фрезерный<br>станок 6М13П | 120 | 125 | 161 | 168 | 152 | 165 | 158 | 160 | 162 | 158 | 164 | 165 |



**Трудоемкости ремонта и полного планового осмотра**

| Виды работ                     |                 | Наименование работ                 | Капитальный ремонт                           | Текущий ремонт | Осмотр | Осмотр перед капитальным ремонтом |
|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------------------|----------------|--------|-----------------------------------|
|                                |                 |                                    | Норма времени на единицу ремонтосложности, ч |                |        |                                   |
| При ремонте механической части | Станочные       | Изготовление заменяемых деталей    | 10,7                                         | 2,0            | 0,1    | 0,1                               |
|                                |                 | Восстановление деталей             | 3,0                                          | —              | —      | —                                 |
|                                |                 | Пригонка при сборке                | 0,3                                          | —              | —      | —                                 |
|                                |                 | Итого                              | 14,0                                         | 2,0            | 0,1    | 0,1                               |
|                                | Слесарные и др. | На изготовление заменяемых деталей | 1,1                                          | 0,2            | —      | —                                 |
|                                |                 | На восстановление деталей          | 0,8                                          | —              | —      | —                                 |

СОГЛАСОВАНО  
Главный механик

«\_\_» \_\_\_\_\_ г.

УТВЕРЖДЕНО  
Главный инженер

«\_\_» \_\_\_\_\_ г.

**ГОДОВОЙ ПЛАН-ГРАФИК  
планово-предупредительного ремонта оборудования на \_\_\_\_\_ г.**

\_\_\_\_\_  
(наименование предприятия)

| Наименование<br>оборудования | Количество<br>оборудования | Нормативы ресурса<br>между<br>капитальными |   | Трудоемкость<br>одного<br>ремонта,<br>чел.-ч. |   | Месяц<br>и<br>число последнего<br>ремонта |   | Условное обозначение ремонта<br>(числитель) месяц и время простоя в ремонте,<br>ч (знаменатель) |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         | Годовой простой<br>оборудования в ремонте | Годовой фонд<br>рабочего<br>времени |
|------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|---|-----------------------------------------------|---|-------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|-------------------------------------------|-------------------------------------|
|                              |                            |                                            |   |                                               |   |                                           |   |                                                                                                 |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |                                           |                                     |
|                              |                            | Т                                          | К | Т                                             | К | Т                                         | К | январь                                                                                          | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |                                           |                                     |
| 1                            | 2                          | 3                                          | 4 | 5                                             | 6 | 7                                         | 8 | 9                                                                                               | 10      | 11   | 12     | 13  | 14   | 15   | 16     | 17       | 18      | 19     | 20      | 21                                        | 22                                  |
|                              |                            |                                            |   |                                               |   |                                           |   |                                                                                                 |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |                                           |                                     |
|                              |                            |                                            |   |                                               |   |                                           |   |                                                                                                 |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |                                           |                                     |
|                              |                            |                                            |   |                                               |   |                                           |   |                                                                                                 |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |                                           |                                     |
|                              |                            |                                            |   |                                               |   |                                           |   |                                                                                                 |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |                                           |                                     |
|                              |                            |                                            |   |                                               |   |                                           |   |                                                                                                 |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |                                           |                                     |
|                              |                            |                                            |   |                                               |   |                                           |   |                                                                                                 |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |                                           |                                     |

Главный механик \_\_\_\_\_  
(подпись)

## **Лабораторное занятие № 7**

### **Составление дефектной ведомости**

**Цель работы:** Изучение методики составления и содержания дефектных ведомостей при ремонте оборудования, приобретение навыков оценки предремонтного состояния редуктора, выполнение измерительных операций, формулировка видов ремонта.

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения

работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

### **Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

Основным техническим документом, необходимым для производства плановых ремонтных работ, является дефектная ведомость. Перед ремонтом оборудования тщательно проверяют фактические отклонения размеров от паспортных данных и заносят их в акт проверки станка. За 2-3 месяца до начала ремонта составляют дефектную предварительную ведомость, по которой изготавливают детали вместо изношенных,- устанавливают характер и величины износа деталей. Дефектную окончательную ведомость,

являющуюся основным документом для проведения ремонта, составляют во время полной разборки оборудования.

В дефектной окончательной ведомости перечисляют все дефекты отдельных узлов и деталей и указывают методы их устранения. Дефектную ведомость составляет бригадир ремонтной бригады или техник ремонтных мастерских.

В дефектной ведомости перечисляют все дефекты отдельных деталей и узлов и указывают методы их устранения. Окончательная ведомость дефектов является документом, определяющим объем работ при ремонте.

Таблица 2– Дефектная ведомость (лицевая сторона)

| Дата | Вид<br>ремонта | Наименование<br>оборудования | Завод-<br>изготовитель | Модель<br>или<br>марка | Инвентарный<br>номер | Место для<br>установки<br>оборудования |
|------|----------------|------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------------|
|      |                |                              |                        |                        |                      |                                        |

Таблица 3 – Дефектная ведомость (обратная сторона)

| № | Наимено-<br>вание<br>узла<br>детали | №<br>детали | Количество<br>деталей |        | Снять<br>эскиз | Дефекты<br>узла и<br>детали | Перечень<br>ремонтных<br>работ  |                          | Марка<br>материала |
|---|-------------------------------------|-------------|-----------------------|--------|----------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------|
|   |                                     |             | замена                | ремонт |                |                             | краткий<br>перечень<br>операций | термо-<br>обра-<br>ботка |                    |
|   |                                     |             |                       |        |                |                             |                                 |                          |                    |

### Аппаратура и материалы

1. Деталь.
2. Штангенциркуль ШЦ 1-250-0,05 ГОСТ 166-80.

3. Микрометр МР-50-1 ГОСТ 6507-78.

### **Методика и порядок выполнения работы**

1. Получить от преподавателя задание.
2. Осмотреть деталь с целью определения изношенности
3. Составить дефектную ведомость.
4. Подготовить отчет.

### **Содержание отчета и его форма**

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цель и содержание.
3. Эскиз деталей, таблица результатов измерений.
4. Дефектная ведомость.
5. Выводы по работе.

### **Вопросы и задания по работе**

1. Для чего составляется дефектная ведомость?
2. Кто составляет дефектную ведомость?
3. Содержание дефектной ведомости?
4. Что относится к дефектам детали?
5. Виды износа деталей.
6. Дефекты корпуса редуктора.

## **Лабораторное занятие №8**

### **Определение объема ремонтных работ изношенного вала**

**Цель работы:** Изучение способов обнаружения износа деталей, восстановления деталей, ремонта повреждений и заделка трещин; приобретение навыков в организации ремонтных работ.

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения

работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

### **Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

Дефекты в деталях станков выявляют различными способами. Например, трещины, изломы в деталях обнаруживают при осмотре. Дефекты в резьбовых соединениях, зубчатых зацеплениях выявляют при помощи оптических приборов (микроскопа, лупы).

Износ деталей определяют методом измерений, сравнивая размеры изношенных деталей с их первоначальными размерами. Существуют следующие основные виды износа: окислительный, тепловой, абразивный, осповидный и износ в результате усталости металла.



### *Методы восстановления деталей.*

Существуют два основных метода восстановления деталей: восстановление до ремонтных размеров и восстановление до номинальных размеров. В первом случае геометрические размеры изношенных деталей исправляют механической обработкой, изменяя первоначальные (номинальные) размеры деталей в пределах установленных допусков ремонтных размеров. Ремонтные размеры могут быть больше или меньше номинальных размеров. Например, при обработке шейки вала его ремонтный размер становится меньше номинального, а при обработке рабочей поверхности отверстия – больше.

К недостаткам этого метода следует отнести уменьшение площади сечения детали и, как следствие, уменьшение предела допустимого износа.

Восстановление изношенных деталей до номинальных размеров является более прогрессивным, чем восстановление до ремонтных размеров, и заключается в наращивании слоя металла.

Восстановление деталей производят: сваркой и наплавкой, металлизацией, осталиванием, гальваническим покрытием, твердым никелированием.

Часто восстановление изношенных деталей производят давлением: осадкой, раздачей, обжатием, вдавливанием, правкой, накаткой.

### **Аппаратура и материалы**

1. Вал.
2. Штангенциркуль ШЦ1-250-0,05 ГОСТ 166-80.
3. Микрометр МР-50-1 ГОСТ6507-78.

### **Указания по технике безопасности**

Без разрешения преподавателя студентам категорически запрещается включать станок в сеть.

Перед включением станка в сеть мастер, работающий на станке, обязан проверить:

1. Исправность заземления.
2. Наличие масла в системе смазки.
3. Наличие кожуха защиты.

Студенты не должны находиться в зоне действия подвижных органов станка.

### **Методика и порядок выполнения работы**

1. Получить от преподавателя задание
2. Изучить теорию
3. Произвести осмотр вала.
4. Выполнить эскиз вала.
5. Произвести измерения вала.
6. Составить таблицу измерений (обозначение диаметра вала, номинальный размер с допуском, результаты замера, величина износа).
7. Составить график отклонений: диаметр - номер шейки вала.
8. Рекомендации по восстановлению вала (составить таблицу: обозначение диаметра вала, толщина восстанавливаемого слоя, метод восстановления).
9. Выводы по работе.

### **Содержание отчета и его форма**

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цель и содержание.
3. Эскиз вала.

4. Таблица результатов измерений.
5. График отклонений.
6. Таблица с рекомендациями методов восстановления.
7. Выводы по работе.

### **Вопросы для защиты работы**

1. Методы восстановления деталей.
2. Способы выявления дефектов.
3. Определение износа.
4. Виды износа деталей.
5. Способы восстановления деталей.
6. Восстановление деталей способом давления.

## **Лабораторное занятие №9**

### **Определение объема ремонтных работ по устранению несоосности передней и задней бабок**

**Целью работы** является приобретение навыков в решении конкретной производственной задачи по определению объема ремонтных работ и способа восстановления изношенных направляющих, а также закрепление теоретических знаний в этой области.

#### **Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и

технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

### **Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

Несоосность передней задней бабок определяется в основном износом направляющих. Чтобы проверить параллельность плоскостей можно пользоваться: непосредственными измерениями универсальными измерительными инструментами (штангенциркулем, штихмасом, масштабной линейкой); косвенным или комбинированным способом при помощи универсальных измерительных приборов (уровней, индикатором) с использованием линеек и плит.

Перпендикулярность плоскостей измеряют следующими методами: угольником с применением щупа, штихмассы или индикатора (точность проверки до 0,02 мм на 1000 мм длины); универсальным или рамным уровнем и отвесом (точность проверки до 0,02 мм на 1000 мм длины).

Спиральную изогнутость или извернутость направляющих проверяют при помощи универсального мостика. Для этой цели используют также каретку и уровень с определенной ценой деления шкалы, например 0,02 мм.

Несоосность передней и задней бабок станка можно определить при помощи контрольной оправки. На рисунке 5 показана схема контроля положения пиноли задней бабки.

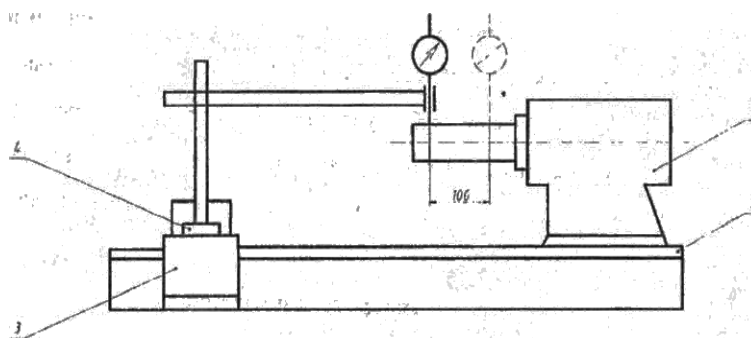


Рисунок 5 – Схема контроля положения пиноли задней бабки

На рисунке показаны: 1 – задняя бабка; 2 – станина; 3 – суппорт; 4 – слойка для индикатора. Индикатор устанавливают ножкой у торца пиноли, затем на расстоянии 100 мм в горизонтальном и вертикальном плоскостях.

На рисунке 6 показана схема контроля соосности при помощи контрольной оправки.

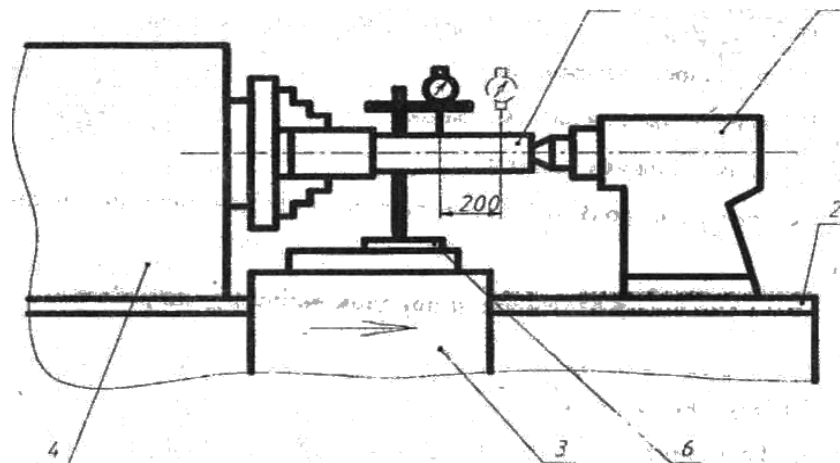


Рисунок 6 – Схема контроля соосности при помощи контрольной оправки

Контрольная оправка 5 закреплена в патроне передней бабки 4 и в центре пиноли задней бабки 1. Измерительная стойка 6 с закрепленным на ней индикатором установлена на суппорте 3, который перемещается по направляющим станины 2. Замеры производят в двух точках, расстояние между ними 100 мм. Замеры производят в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

### Аппаратура и материалы

1. Станок токарно-винторезный модели 16K20.
2. Индикатор с ценой деления 0,001 мм.
3. Контрольная оправка.

### Указания по технике безопасности

Без разрешения преподавателя студентам категорически запрещается включать станок в сеть.

Перед включением станка в сеть мастер, работающий на станке, обязан проверить:

1. Исправность заземления.
2. Наличие масла в системе смазки.
3. Наличие кожуха защиты.

Студенты не должны находиться в зоне действия подвижных органов станка.

### **Методика и порядок выполнения работы**

Изучение задания.

1. Теоретическая подготовка.
2. Наладка станков.
3. Выдвижение пиноли, замеры.
4. Установка контрольной оправки, замеры.
5. Таблица результатов замеров пиноли (горизонтальная и вертикальная плоскости).
6. Выполнение схем (рисунок 5 и 6).
7. Таблица результатов замеров контрольной оправки.
8. Построение графиков отклонений для пиноли и контрольной оправки (в горизонтальной и вертикальной плоскостях).
9. Обработка результатов. Содержание ремонтных операций.
10. Выводы по работе.

### **Содержание отчета и его форма**

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цели и содержание.
3. Схемы контроля пиноли и контрольной оправки.



4. Графики отклонений.
5. Таблица отклонений пиноли и контрольной оправки.
6. Содержание ремонтных операций.
7. Выводы по работе.

### **Вопросы для защиты работы**

1. Цели и содержание.
2. Методика определения отклонений пиноли и контрольной оправки.
3. Построение графиков отклонений.
4. Содержание ремонтных операций.
5. Порядок устранения несоосности путем исправления направляющих.
6. В чем заключается операция шабрение?

## **Лабораторное занятие №10**

### **Ремонт повреждений и заделка трещин деталей машин**

**Цель работы:** Закрепление теоретических знаний в области ремонта повреждений и заделки трещин на деталях, а также приобретение навыков решения конкретных производственных задач.

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и

технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

### **Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств: ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

### **Теоретическое обоснование**

Наличие невидимых трещин определяют керосиновой пробой. Детали погружают на 15-20 минут в керосин, затем вытирают и покрывают тонким слоем меловой обмазки. Где есть трещина, обмазка впитывает керосин и темнеет.

Если внутри детали, то ее просвечивают рентгеновскими лучами. Металл и пустоты по-разному поглощают лучи, где трещины – образуются белые полосы.

Трещины при закалке и шлифовании, а также раковины на глубине 10 мм обнаруживают при магнитной дефектоскопии детали. Деталь помещают в магнитный поток (магнитная проницаемость не везде одинакова), когда искатель прибора проходит через определенное место, возникает характерный звук.

Для определения расположения трещин, раковин и пустот в металле применяют люминесцентный метод. Детали погружают на 10-15 минут во флуоресцирующую жидкость. После этого ее просушивают сжатым воздухом и облучают ультрафиолетовыми лучами, выходящая из трещин на поверхность жидкость светится, и по зелено-желтому свечению выявляют форму трещин.

Дефекты, возникающие в деталях в результате действия внутренних напряжений, больших усилий или из-за механических повреждений (задиры, царапины и выкрашивания), устраняют слесарно-механической обработкой.

Трещины и пробоины запаиваются, заваривают, ставят штифты и заплаты. Заплаты применяют для заделки пробоин и больших трещин, соединяя заплату с основной деталью винтами или заклепками.

### **Аппаратура и материалы**

1. Вал.
2. Инструментальный микроскоп.
3. Лупа.

### **Указания по технике безопасности**

Без разрешения преподавателя студентам категорически запрещается включать станок в сеть.

Перед включением станка в сеть мастер, работающий на станке, обязан проверить:

1. Исправность заземления.
2. Наличие масла в системе смазки.
3. Наличие кожуха защиты.

Студенты не должны находиться в зоне действия подвижных органов станка.

### **Методика и порядок выполнения работы**

1. Ознакомление с заданием.
2. Теоретическая подготовка.
3. Изучение детали визуально и с применением микроскопа.
4. Определение характера и величины износа детали.
5. Ремонтные операции по устранению износа.
6. Выводы.

### **Содержание отчета и его форма**

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цели и содержание.
3. Эскизы деталей.
4. Характеристика износа.
5. Ремонтные операции по устранению износа.
6. Выводы по работе.

### **Вопросы для защиты работы**

1. Виды дефектов.

2. Обнаружение невидимых трещин.
3. Характеристика дефектов: задиры, царапины, выкрашивание и их устранение.
4. Обнаружение раковин на глубине до 10 мм.
5. В чем заключается люминесцентный метод обнаружения дефектов?
6. Обнаружение дефектов с помощью рентгеновских лучей.

#### **4. Рекомендуемая литература**

##### **4.1. Перечень основной литературы:**

1. Монтаж, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт технологического оборудования : учебное пособие / составители И. С. Бусаров, Р. Э. Кобыльский. — Омск : ОмГТУ, 2024. — 152 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/504271>

2. Ремонт машин. Современные технологии восстановления работоспособности деталей и сборочных единиц при ремонте машин и оборудования : учебное пособие / А. Т. Лебедев, А. В. Захарин, П. А. Лебедев [и др.]. — Ставрополь : СтГАУ, 2023. — 172 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/400331>

##### **4.2. Перечень дополнительной литературы:**

1. Шиловский, В. Н. Сервисное обслуживание и ремонт машин и оборудования : учебное пособие для вузов / В. Н. Шиловский, А. В. Питухин, В. М. Костюкевич. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — ISBN 978-5-507-44399-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/226478>

2. Евсеев, А. В. Диагностика, монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования : учебное пособие / А. В. Евсеев. — Тула : ТулГУ, 2022. — 112 с. — ISBN 978-5-7679-5048-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/264023>.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические указания**

по выполнению практических занятий по дисциплине

**«РЕМОНТ И МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ»**

для студентов направления подготовки

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств

направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ..4                                                                                   |    |
| 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ИЗДЕЛИЯ<br>РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ .....                                               | 12 |
| 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ<br>ОТКАЗОВ ИЗДЕЛИЯ.....                                                                 | 16 |
| 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ<br>ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ .....                                                     | 21 |
| 5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 ОЦЕНКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ИНТЕРКВАНТИЛЬНОЙ ШИРОТЫ<br>ВЫБОРКИ ОТКАЗОВ ИЗДЕЛИЙ .....                                                            | 28 |
| 6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЙ ЗНАЧЕНИЙ ВЫБОРКИ В<br>ПРЕДЕЛЫ ВЕРХНЕГО КВАНТИЛЯ .....                                                  | 35 |
| 7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7 ПРОВЕРКА ОСНОВНОЙ ГИПОТЕЗЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ<br>РАБОТЫ ИЗДЕЛИЯ.....                                                                 | 42 |
| 8. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8 ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ПО КРИТЕРИЮ<br>КОЛМОГОРОВА.....                                                                            | 46 |
| 9. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9 РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ МОНТАЖА СУППОРТА ТОКАРНО-<br>РЕВОЛЬВЕРНОГО АВТОМАТА.....                                                             | 51 |
| 10. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИНЫ<br>ИЗНОСА ОТ ВРЕМЕНИ ТИПА $y = ax + b$ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ.....                | 60 |
| 11. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ<br>ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА ОТ ВРЕМЕНИ ТИПА $y = ax^2 + bx + c$ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ..... | 67 |
| 12. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА<br>В ПРЕДЕЛЫ ПОЛУЧЕННОЙ ВЫБОРКИ.....                                                 | 72 |
| 13. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13 РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТА СТАНКА .....                                                                                                         | 75 |
| 14. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14 РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ БОЛТОВ СТАНКА .....                                                                                                | 80 |
| 15. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №15 РАСЧЕТ ДИАМЕТРА ИЗОГНУТОГО БОЛТА ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ<br>СТАНКА И ГЛУБИНЫ ЕГО ЗАДЕЛКИ В БЕТОН .....                                           | 84 |
| 16. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №16 ОПРЕДЕЛИТЬ ДИАМЕТР ФУНДАМЕНТНОГО БОЛТА С АНКЕРНОЙ<br>ПЛИТОЙ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ СТАНКА.....                                                  | 88 |
| 17. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №17 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ НА БОЛТ И ДИАМЕТРА<br>БОЛТА С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ СДВИГАЮЩЕЙ СИЛЫ .....                                     | 92 |
| 18. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №18 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ НА БОЛТ И ДИАМЕТРА<br>СЪЕМНОГО ФУНДАМЕНТНОГО БОЛТА.....                                                 | 96 |



## **ВВЕДЕНИЕ**

Практикум по дисциплине «Ремонт и монтаж оборудования» содержит методические рекомендации к выполнению восемнадцати практических занятий.

Практикум содержит сведения и рекомендации по изучению основ теории надежности, приобретения навыков использования рекомендаций и справочных материалов по оценке показателей надежности, ремонта и монтажа оборудования.

Выполнение практических занятий способствует освоению компетенций: ИД-2<sub>ПК-9</sub>, ИД-3<sub>ПК-9</sub>, ИД-4<sub>ПК-9</sub>.

## **1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЯ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
 типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
 пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-2<sub>ПК-9</sub>, ИД-3<sub>ПК-9</sub>, ИД-4<sub>ПК-9</sub>.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Одной из основных качественных характеристик надежности машин и их деталей является вероятность безотказной работы  $P(t)$ , т. е. то, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникает отказ машины или детали, плотность распределения отказов  $f(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .

Вероятность безотказной работы приближенно оценивают по формуле:

$$P(t) = 1 - \frac{N(t)}{N_i}, \quad (1.1)$$

где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы машины (детали) до момента времени или конца наработки  $t$ ;

$N(t)$  – число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки  $t$ ;

$N_i$  – число машин (деталей), подвергнутых испытанию.

Плотность распределения отказов  $f(t)$  приближенно оценивают по формуле:

$$f(t) = \frac{\Delta N(t_i) \cdot \Delta t_{\min}}{N_i \cdot \Delta t_i}, \quad (1.2)$$

где  $\Delta N(t_i)$  – число отказавших машин (деталей) в промежуток времени  $\Delta t_i$ ;

$\Delta t_{\min}$  – минимальный промежуток времени.

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  приближенно оценивают по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N(t_i) \cdot \Delta t_{\min}}{N_u \cdot \Delta t_i}, \quad (1.3)$$

где  $N_u$  – число исправных машин (деталей) в данный момент.

Исходные данные для выполнения работы приведены в таблице 1.2.

### **Пример выполнения работы.**

Всего проходили испытание 200 машин. Результаты испытаний приведены в таблице 1.1.

Таблица 7.1 – Результаты испытаний

| №               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $\Delta N(t_i)$ | 20 | 15 | 8  | 6  | 4  | 3  | 4  | 6  | 9  | 12 |
| $t_i$           | 10 | 18 | 28 | 36 | 45 | 56 | 62 | 69 | 76 | 84 |

1. Определение вероятности безотказной работы для каждого промежутка времени по формуле 1.1:

$$1\text{-ый: } P(t) = 1 - \frac{20}{200} = 0,9.$$

$$2\text{-ой: } P(t) = 1 - \frac{35}{200} = 0,825.$$

$$3\text{-ий: } P(t) = 1 - \frac{43}{200} = 0,785.$$

$$4\text{-ый: } P(t) = 1 - \frac{49}{200} = 0,755.$$

$$5\text{-ый: } P(t) = 1 - \frac{53}{200} = 0,735.$$

$$6\text{-ой: } P(t) = 1 - \frac{56}{200} = 0,72.$$

$$7\text{-ой: } P(t) = 1 - \frac{60}{200} = 0,7.$$

$$8\text{-ой: } P(t) = 1 - \frac{66}{200} = 0,67.$$

$$9\text{-ый: } P(t) = 1 - \frac{75}{200} = 0,625.$$

$$10\text{-ый: } P(t) = 1 - \frac{87}{200} = 0,565.$$

На основании полученных данных строится зависимость  $t - P(t)$  (рисунок 1.1).

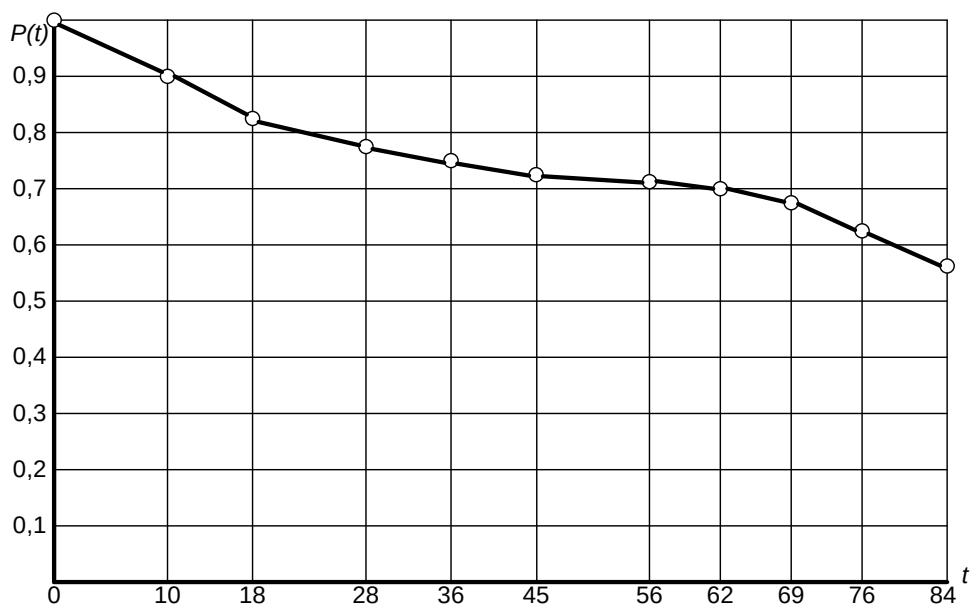


Рисунок 1.1 – Вероятность безотказной работы

2. Определение плотности распределения отказов для каждого промежутка времени по формуле 1.2 ( $\Delta t_{\min} = 6$ ):

$$1\text{-ый: } f(t) = \frac{20 \cdot 6}{200 \cdot 10} = 0,06.$$

$$2\text{-ой: } f(t) = \frac{15 \cdot 6}{200 \cdot 8} = 0,056.$$

$$3\text{-ий: } f(t) = \frac{8 \cdot 6}{200 \cdot 10} = 0,024.$$

$$4\text{-ый: } f(t) = \frac{6 \cdot 6}{200 \cdot 8} = 0,023.$$

$$5\text{-ый: } f(t) = \frac{4 \cdot 6}{200 \cdot 9} = 0,013.$$

$$6\text{-ой: } f(t) = \frac{3 \cdot 6}{200 \cdot 11} = 0,008.$$

$$7\text{-ой: } f(t) = \frac{4 \cdot 6}{200 \cdot 6} = 0,02.$$

$$8\text{-ой: } f(t) = \frac{6 \cdot 6}{200 \cdot 7} = 0,026.$$

$$9\text{-ый: } f(t) = \frac{9 \cdot 6}{200 \cdot 7} = 0,039.$$

$$10\text{-ый: } f(t) = \frac{12 \cdot 6}{200 \cdot 8} = 0,045.$$

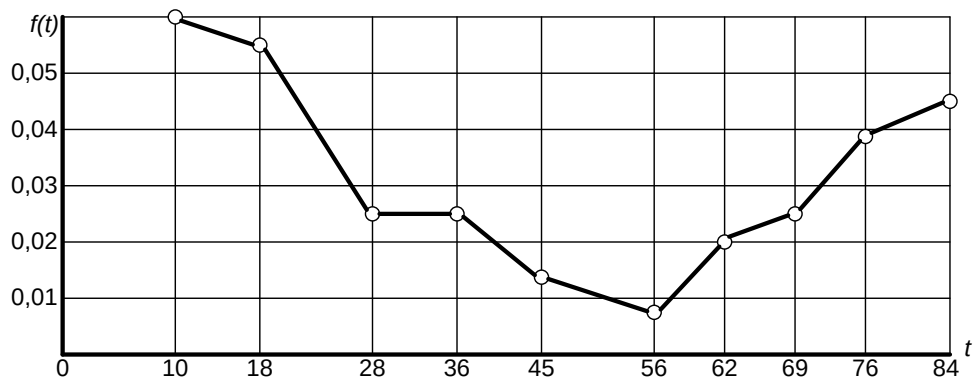


Рисунок 1.2 – Плотность распределения отказов

3. Определение интенсивности отказов для каждого промежутка времени по формуле 1.3 ( $\Delta t_{\min} = 6$ ):

$$1\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{20 \cdot 6}{180 \cdot 10} = 0,067.$$

$$2\text{-ой: } \lambda(t) = \frac{15 \cdot 6}{165 \cdot 8} = 0,068.$$

$$3\text{-ий: } \lambda(t) = \frac{8 \cdot 6}{157 \cdot 10} = 0,031.$$

$$4\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{6 \cdot 6}{151 \cdot 8} = 0,03.$$

$$5\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{4 \cdot 6}{147 \cdot 9} = 0,018.$$

$$6\text{-ой: } \lambda(t) = \frac{3 \cdot 6}{144 \cdot 11} = 0,011.$$

$$7\text{-ой: } \lambda(t) = \frac{4 \cdot 6}{140 \cdot 6} = 0,029.$$

$$8\text{-ой: } \lambda(t) = \frac{6 \cdot 6}{134 \cdot 7} = 0,038.$$

$$9\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{9 \cdot 6}{125 \cdot 7} = 0,062.$$

$$10\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{12 \cdot 6}{113 \cdot 8} = 0,08.$$

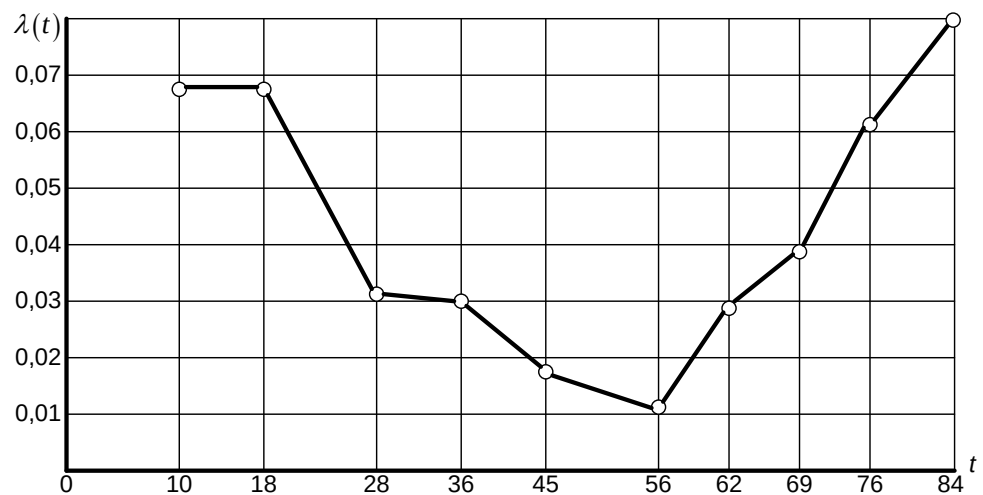


Рисунок 1.3 – Интенсивность отказов

Таблица 1.2 – Варианты заданий

| Вариант №1 ( $N_i = 180$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 32 | 24 | 12 | 7  | 6  | 4  | 4  | 6  | 15 | 24 |
| $t_i$                      | 12 | 19 | 30 | 37 | 44 | 55 | 64 | 70 | 77 | 85 |
| Вариант №2 ( $N_i = 220$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 30 | 26 | 14 | 6  | 5  | 3  | 5  | 7  | 14 | 28 |

|                            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_i$                      | 14 | 22 | 30 | 36 | 43 | 52 | 61 | 70 | 78 | 84 |
| Вариант №3 ( $N_i = 190$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 31 | 26 | 14 | 8  | 5  | 3  | 4  | 8  | 16 | 22 |
| $t_i$                      | 14 | 22 | 31 | 36 | 42 | 53 | 62 | 70 | 76 | 84 |
| Вариант №4 ( $N_i = 195$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 22 | 16 | 10 | 8  | 6  | 4  | 6  | 10 | 15 | 18 |
| $t_i$                      | 8  | 18 | 26 | 36 | 44 | 54 | 62 | 68 | 74 | 82 |
| Вариант №5 ( $N_i = 220$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 18 | 14 | 12 | 10 | 7  | 6  | 4  | 12 | 16 | 20 |
| $t_i$                      | 7  | 16 | 26 | 34 | 42 | 52 | 60 | 68 | 76 | 83 |
| Вариант №6 ( $N_i = 250$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 32 | 26 | 16 | 12 | 8  | 6  | 5  | 10 | 18 | 28 |
| $t_i$                      | 6  | 14 | 22 | 32 | 42 | 51 | 61 | 68 | 77 | 86 |
| Вариант №7 ( $N_i = 240$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 34 | 28 | 18 | 14 | 7  | 5  | 5  | 12 | 19 | 29 |
| $t_i$                      | 8  | 16 | 24 | 34 | 44 | 52 | 60 | 67 | 77 | 84 |
| Вариант №8 ( $N_i = 280$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 44 | 38 | 26 | 18 | 10 | 6  | 5  | 14 | 19 | 32 |
| $t_i$                      | 10 | 17 | 26 | 34 | 42 | 50 | 60 | 69 | 78 | 86 |
| Вариант №9 ( $N_i = 260$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$            | 40 | 34 | 28 | 16 | 12 | 8  | 6  | 16 | 22 | 36 |

|                             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_i$                       | 9  | 16 | 26 | 35 | 44 | 52 | 61 | 69 | 77 | 85 |
| Вариант №10 ( $N_i = 240$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 36 | 34 | 26 | 14 | 10 | 8  | 4  | 18 | 24 | 38 |
| $t_i$                       | 6  | 16 | 24 | 34 | 42 | 51 | 60 | 68 | 76 | 84 |
| Вариант №11 ( $N_i = 340$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 46 | 38 | 32 | 24 | 8  | 10 | 12 | 18 | 28 | 48 |
| $t_i$                       | 8  | 18 | 26 | 35 | 42 | 52 | 61 | 69 | 77 | 86 |
| Вариант №12 ( $N_i = 380$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 66 | 48 | 42 | 26 | 12 | 8  | 16 | 22 | 26 | 58 |
| $t_i$                       | 9  | 18 | 24 | 34 | 42 | 50 | 61 | 68 | 76 | 84 |
| Вариант №13 ( $N_i = 360$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 62 | 46 | 40 | 28 | 16 | 10 | 18 | 28 | 34 | 60 |
| $t_i$                       | 10 | 19 | 27 | 36 | 44 | 50 | 60 | 67 | 76 | 86 |
| Вариант №14 ( $N_i = 340$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 64 | 48 | 44 | 26 | 14 | 8  | 16 | 27 | 38 | 66 |
| $t_i$                       | 7  | 16 | 25 | 34 | 44 | 52 | 60 | 68 | 77 | 85 |
| Вариант №15 ( $N_i = 320$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 60 | 52 | 46 | 22 | 16 | 7  | 14 | 28 | 36 | 62 |
| $t_i$                       | 8  | 14 | 24 | 34 | 43 | 52 | 62 | 69 | 76 | 86 |
| Вариант №16 ( $N_i = 300$ ) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 54 | 50 | 44 | 32 | 14 | 8  | 16 | 26 | 32 | 60 |



|                             |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_i$                       | 6   | 15 | 24 | 32 | 40 | 50 | 58 | 66 | 76 | 84 |
| Вариант №17 ( $N_i = 400$ ) |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 74  | 60 | 56 | 34 | 16 | 8  | 18 | 24 | 38 | 68 |
| $t_i$                       | 10  | 18 | 26 | 34 | 42 | 50 | 57 | 64 | 72 | 84 |
| Вариант №18 ( $N_i = 420$ ) |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 76  | 63 | 58 | 36 | 17 | 9  | 20 | 26 | 48 | 78 |
| $t_i$                       | 10  | 18 | 26 | 34 | 42 | 50 | 57 | 64 | 72 | 84 |
| Вариант №19 ( $N_i = 440$ ) |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 78  | 66 | 56 | 46 | 27 | 12 | 21 | 28 | 46 | 76 |
| $t_i$                       | 10  | 18 | 26 | 34 | 42 | 50 | 57 | 64 | 72 | 84 |
| Вариант №20 ( $N_i = 460$ ) |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 82  | 68 | 58 | 48 | 29 | 18 | 27 | 38 | 48 | 78 |
| $t_i$                       | 9   | 17 | 26 | 36 | 44 | 52 | 58 | 66 | 75 | 84 |
| Вариант №21 ( $N_i = 560$ ) |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 102 | 88 | 68 | 56 | 34 | 19 | 28 | 48 | 58 | 96 |
| $t_i$                       | 12  | 19 | 28 | 38 | 48 | 56 | 68 | 76 | 85 | 94 |
| Вариант №22 ( $N_i = 540$ ) |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 100 | 85 | 66 | 58 | 38 | 18 | 26 | 44 | 56 | 98 |
| $t_i$                       | 10  | 18 | 28 | 36 | 44 | 55 | 64 | 76 | 84 | 94 |
| Вариант №23 ( $N_i = 560$ ) |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 106 | 88 | 69 | 59 | 36 | 19 | 28 | 48 | 57 | 99 |

|                             |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_i$                       | 9   | 18 | 26 | 34 | 44 | 53 | 62 | 70 | 80 | 90 |
| Вариант №24 ( $N_i = 500$ ) |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| №                           | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$             | 104 | 82 | 60 | 52 | 31 | 12 | 23 | 42 | 54 | 91 |
| $t_i$                       | 8   | 18 | 25 | 34 | 42 | 52 | 60 | 70 | 78 | 86 |

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется вероятность безотказной работы машины (детали)?
2. Как определяется плотность распределения отказов?
3. Как определяется интенсивность отказов?
4. Как определяется число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.
2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

## 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ИЗДЕЛИЯ РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
 типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
 пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Определение вероятности безотказной работы изделия расчетно-аналитическим методом проводят согласно приведенной ниже последовательности.

1. Параметр потока отказов в  $i$ -том интервале:

$$\omega_i = \frac{\Delta N(t_i)}{\Delta t_i}, \quad (2.1)$$

где  $\Delta N(t_i)$  – число отказавших машин (деталей) в промежуток времени  $\Delta t_i$ .

2. Средний параметр потока отказов:

$$\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i}{\sum_{i=1}^n i_n}, \quad (2.2)$$

где  $\sum_{i=1}^n i_n$  – суммарное количество интервалов.

3. Разность текущего и среднего параметров потока отказов:

$$\Delta \omega_i = \omega_i - \bar{\omega}. \quad (2.3)$$

4. Определение значения  $-0,001 \cdot \bar{\omega} \cdot t$  (где  $t$  – конечная граница интервала наработки).

5. Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-0,001\bar{\omega} \cdot t}, \quad (2.4)$$

Исходные данные для выполнения работы приведены в таблице 1.2.

### Пример выполнения работы.

Всего проходили испытание 200 машин. Результаты испытаний приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты испытаний

| №               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $\Delta N(t_i)$ | 20 | 15 | 8  | 6  | 4  | 3  | 4  | 6  | 9  | 12 |
| $t_i$           | 10 | 18 | 28 | 36 | 45 | 56 | 62 | 69 | 76 | 84 |

Полученные результаты сведем в таблицу 2.2.

| Параметр                        | Интервал наработки |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                 | 0 – 10             | 10 – 18 | 18 – 28 | 28 – 36 | 36 – 45 | 45 – 56 | 56 – 62 | 62 – 69 | 69 – 76 | 76 – 84 |
| $\omega_i$                      | 2,0                | 1,88    | 0,8     | 0,75    | 0,44    | 0,33    | 0,67    | 0,86    | 1,29    | 1,5     |
| $\sum_{i=1}^n \omega_i = 10,52$ |                    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| $\bar{\omega} = 1,052$          |                    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| $\Delta \omega_i$               | 0,948              | 0,828   | -0,252  | -0,302  | -0,612  | -0,722  | -0,382  | -0,192  | 0,238   | 0,448   |
| $-0,001\bar{\omega} \cdot t$    | -0,1052            | -0,19   | -0,30   | -0,38   | -0,47   | -0,59   | -0,65   | -0,73   | -0,80   | -0,88   |

|                                                       |     |       |       |       |       |      |      |      |       |       |
|-------------------------------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|
| $P(t)$                                                | 0,9 | 0,83  | 0,74  | 0,68  | 0,63  | 0,55 | 0,52 | 0,48 | 0,45  | 0,42  |
| Значения $P(t)$ , полученные в практической работе №7 |     |       |       |       |       |      |      |      |       |       |
| $P(t)$                                                | 0,9 | 0,825 | 0,785 | 0,755 | 0,735 | 0,72 | 0,7  | 0,67 | 0,625 | 0,565 |

Как видно из таблицы, с увеличением времени наработки происходит наращивание разницы между полученными результатами. Первый способ является упрощенным и поэтому его, как правило, используют для упрощенной оценки  $P(t)$ . Для более точной оценки  $P(t)$  используют расчетно-аналитический метод.

Для наглядности построим зависимости  $t - P(t)$  для обоих случаев (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Вероятность безотказной работы: 1 – упрощенный метод; 2 – расчетно-аналитический метод

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется параметр потока отказов в  $i$ -том интервале?
2. Как определяется средний параметр потока отказов?

3. Как определяется разность текущего и среднего параметров потока отказов?

4. Как определяется вероятность безотказной работы?

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.

2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

### **3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ИЗДЕЛИЯ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям,

скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. По заданным результатам выборки, без исключения грубых и систематических погрешностей, после создания вариационного ряда и разбивки выборки на интервалы (практические работы № 1 – 2) заполнить таблицы 3.1, 3.2.

Частость определяется по формуле:

$$\hat{p}_i = \frac{m_i}{n}. \quad (3.1)$$

Представить заданный статистический ряд в виде гистограммы в координатах «середина интервала-частость» (рисунок 3.1).

Определить среднеарифметическое  $\bar{a}$  и среднеквадратическое отклонения  $\sigma$ .

## ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Всего проходили испытание 200 машин; доверительная вероятность  $P = 0,95$ ; доверительная ошибка  $q = 0,05$ . Результаты испытаний приведены в таблице .

Таблица 3.3 – Результаты испытаний

| №               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $\Delta N(t_i)$ | 20 | 15 | 8  | 6  | 4  | 3  | 4  | 6  | 9  | 12 |
| $t_i$           | 10 | 18 | 28 | 36 | 45 | 56 | 62 | 69 | 76 | 84 |

Перед началом расчетов необходимо провести предварительные действия, т. е. представить исходные данные как результаты одинаковые по

продолжительности интервалы времени. Для этого приведем все результаты к наименьшему интервалу времени:  $\Delta N(\hat{t}_i) = \Delta N(t_i) \cdot \frac{\Delta t_{\min}}{\Delta t_i}$ .

Для нашего случая:  $\Delta t_1 = 10$ ;  $\Delta t_2 = 8$ ;  $\Delta t_3 = 10$ ;  $\Delta t_4 = 8$ ;  $\Delta t_5 = 9$ ;  $\Delta t_6 = 9$ ;  $\Delta t_7 = 6$ ;  $\Delta t_8 = 7$ ;  $\Delta t_9 = 7$ ;  $\Delta t_{10} = 8$ .

Таким образом:  $\Delta t_{\min} = \Delta t_7 = 6$ .

$$\begin{aligned} \Delta N(\hat{t}_1) &= 20 \cdot \frac{6}{10} = 12; & \Delta N(\hat{t}_2) &= 15 \cdot \frac{6}{8} = 11,25; & \Delta N(\hat{t}_3) &= 8 \cdot \frac{6}{10} = 4,8; & \Delta N(\hat{t}_4) &= 6 \cdot \frac{6}{8} = 4,5; \\ \Delta N(\hat{t}_5) &= 4 \cdot \frac{6}{9} = 2,67; & \Delta N(\hat{t}_6) &= 3 \cdot \frac{6}{9} = 2; & \Delta N(\hat{t}_7) &= 4 \cdot \frac{6}{6} = 4; & \Delta N(\hat{t}_8) &= 6 \cdot \frac{6}{7} = 5,14; \\ \Delta N(\hat{t}_9) &= 9 \cdot \frac{6}{7} = 7,71; & \Delta N(\hat{t}_{10}) &= 12 \cdot \frac{6}{8} = 9. \end{aligned}$$

Сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица 3.4 – Результаты испытаний

| №                                  | 1  | 2     | 3   | 4   | 5    | 6 | 7 | 8    | 9    | 10 |
|------------------------------------|----|-------|-----|-----|------|---|---|------|------|----|
| $\Delta N(\hat{t}_i)$              | 12 | 11,25 | 4,8 | 4,5 | 2,67 | 2 | 4 | 5,14 | 7,71 | 9  |
| $\sum \Delta N(\hat{t}_i) = 63,07$ |    |       |     |     |      |   |   |      |      |    |
| $\Delta t_i$                       | 10 | 8     | 10  | 8   | 9    | 9 | 6 | 7    | 7    | 8  |

Заполним таблицу 3.5. Для этого определим частоту по формуле 3.1:

$$\text{Для 1-го интервала: } \hat{p}_1 = \frac{\Delta N(\hat{t}_1)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{12}{63,07} = 0,19;$$

$$\text{Для 2-го интервала: } \hat{p}_2 = \frac{\Delta N(\hat{t}_2)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{11,25}{63,07} = 0,18;$$

$$\text{Для 3-го интервала: } \hat{p}_3 = \frac{\Delta N(\hat{t}_3)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{4,8}{63,07} = 0,08;$$

$$\text{Для 4-го интервала: } \hat{p}_4 = \frac{\Delta N(\hat{t}_4)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{4,5}{63,07} = 0,07;$$

$$\text{Для 5-го интервала: } \hat{p}_5 = \frac{\Delta N(\hat{t}_5)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{2,67}{63,07} = 0,04;$$



$$\text{Для 6-го интервала: } \hat{p}_6 = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{2}{63,07} = 0,03;$$

$$\text{Для 7-го интервала: } \hat{p}_7 = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{4}{63,07} = 0,06;$$

$$\text{Для 8-го интервала: } \hat{p}_8 = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{5,14}{63,07} = 0,08;$$

$$\text{Для 9-го интервала: } \hat{p}_9 = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{7,71}{63,07} = 0,12;$$

$$\text{Для 10-го интервала: } \hat{p}_{10} = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)}{\sum \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{9}{63,07} = 0,15.$$

Таблица 3.5 – Промежуточные значения интервального ряда

| №<br>п/п | Границы интервалов | Середины<br>интервалов $t_{ic}$ | Частота<br>попадания в<br>интервалы<br>$\Delta N(\hat{t}_i)$ | Статистическая<br>вероятность<br>(частость) $\hat{p}_i$ |
|----------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1        | 0 – 10             | 5                               | 12                                                           | 0,19                                                    |
| 2        | 10 – 18            | 14                              | 11,25                                                        | 0,18                                                    |
| 3        | 18 – 28            | 23                              | 4,8                                                          | 0,08                                                    |
| 4        | 28 – 36            | 32                              | 4,5                                                          | 0,07                                                    |
| 5        | 36 – 45            | 40,5                            | 2,67                                                         | 0,04                                                    |
| 6        | 45 – 56            | 50,5                            | 2                                                            | 0,03                                                    |
| 7        | 56 – 62            | 59                              | 4                                                            | 0,06                                                    |
| 8        | 62 – 69            | 65,5                            | 5,14                                                         | 0,08                                                    |
| 9        | 69 – 76            | 72,5                            | 7,71                                                         | 0,12                                                    |
| 10       | 76 – 84            | 80                              | 9                                                            | 0,15                                                    |
|          |                    | $\bar{t}=42$                    | $\sum 63,07$                                                 | $\sum 1,0$                                              |

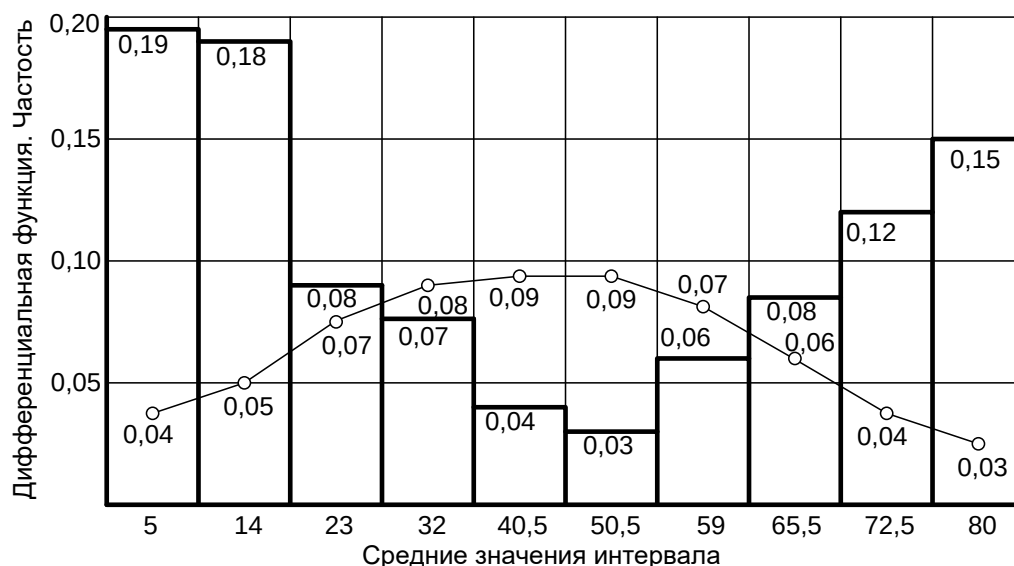


Рисунок 3.1 – Гистограмма результатов измерений кривая дифференциальной функции

Определим среднее арифметическое значение событий:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum t_i = \frac{10 + 18 + 28 + 36 + 45 + 56 + 62 + 69 + 76 + 84}{10} = 42$$

Определим среднее квадратическое средин интервалов:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (t_{ic} - \bar{t})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{9} \left[ (5-42)^2 + (14-42)^2 + (23-42)^2 + (32-42)^2 + (40,5-42)^2 + (50,5-42)^2 + (59-42)^2 + (65,5-42)^2 + (72,5-42)^2 + (80-42)^2 \right]} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{9} \left[ 1369 + 784 + 361 + 100 + 2,25 + 72,25 + 289 + 552,25 + 930,25 + 1444 \right]} = 25,6$$

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется частость?
2. Как приводятся все результаты к наименьшему интервалу времени?
3. Как определяется среднее арифметическое значение?
4. Как определяется среднее квадратическое значение?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.

2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

#### **4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Вычислить дифференциальную функцию распределения  $f(t)$  для середин интервалов. Для этого определить нормированные значения аргумента по формуле для каждого интервала и занести в таблицу 4.3:

$$t_i = \frac{a_{i0} - \bar{a}}{\sigma}. \quad (4.1)$$

Затем, пользуясь статистической таблицей 4.1, определить дифференциальную функцию  $f(|t_i|)$ .

Используя свойство нормального распределения  $f(a) = \frac{1}{\sigma \cdot f(|t_i|)}$ , находим значения дифференциальной функции в выбранных единицах. В случае использования интервалов применяют зависимость:

$$f(a) = \frac{h}{\sigma} \cdot f(|t_i|), \quad (4.2)$$

где  $h$  – ширина интервала (практическая работа № 1).

Полученные результаты занести в таблицу 4.3.

Значения нормальной функции распределения  $F(a) = F(t)$  находятся по таблице 4.2 или по формуле:

$$F(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{a_i} e^{-\frac{t_i^2}{2}} \cdot dt. \quad (4.3)$$

Полученные результаты занести в таблицу 4.3.

Для определения значений статистической функции распределения  $\hat{F}(a)$  используем формулы для дополнительных вычислений:

$$\hat{F}_1 = \hat{p}_1. \quad (4.4)$$

$$\hat{F}_{i+1}(a_{i+1}) = \hat{p}_{i+1} + \hat{F}_i(a_i). \quad (9.6)$$

где  $\hat{p}_i$  – статистическая вероятность (частость) попадания значений выборки в  $i$ -ый интервал;

$\hat{F}_i(a_i)$  – значения статистической функции распределения на  $i$ -ом интервале (суммарная статистическая вероятность (частость) попадания значений выборки до  $i$ -го интервала).

Полученные результаты занести в таблицу 4.3.

По найденным данным построить графики экспериментальной (эмпирической)  $y = \hat{F}(a)$  и теоретической  $y = F(a) = F(t)$  функции интегрального вида (рисунок 4.1).

По виду статистических кривых (эмпирической и теоретической) можно сделать вывод о получении нормального закона распределения экспериментальных результатов, но для окончательного заключения необходима проверка по критериям согласия (или приближенная идентификация по точечным числовым характеристикам), которые будут рассмотрены на следующих практических занятиях.

Таблица 4.1 – Функция стандартного нормального распределения  $F(|t|)$

| Значение $ t $ | Доверительная ошибка $q$ |        |        |        |        |
|----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                | 0,01                     | 0,02   | 0,05   | 0,10   | 0,20   |
| 1              | 2                        | 3      | 4      | 5      | 6      |
| 0              | 0,3989                   | 0,3989 | 0,3984 | 0,3972 | 0,3968 |
| 0,1            | 0,3965                   | 0,3961 | 0,3945 | 0,3914 | 0,3902 |
| 0,2            | 0,3902                   | 0,3894 | 0,3867 | 0,3822 | 0,3815 |
| 0,3            | 0,3802                   | 0,3790 | 0,3752 | 0,3697 | 0,3685 |
| 0,4            | 0,3668                   | 0,3653 | 0,3605 | 0,3538 | 0,3524 |
| 0,5            | 0,3503                   | 0,3485 | 0,3429 | 0,3352 | 0,3334 |
| 0,6            | 0,3312                   | 0,3292 | 0,3230 | 0,3144 | 0,3126 |
| 0,7            | 0,3101                   | 0,3079 | 0,3011 | 0,2920 | 0,2902 |
| 0,8            | 0,2874                   | 0,2850 | 0,2780 | 0,2685 | 0,2664 |
| 0,9            | 0,2637                   | 0,2613 | 0,2541 | 0,2444 | 0,2356 |
| 1,0            | 0,2396                   | 0,2371 | 0,2299 | 0,2203 | 0,2182 |
| 1,1            | 0,2155                   | 0,2131 | 0,2059 | 0,1965 | 0,1948 |
| 1,2            | 0,1919                   | 0,1895 | 0,1826 | 0,1736 | 0,1718 |
| 1,3            | 0,1691                   | 0,1669 | 0,1604 | 0,1518 | 0,1502 |
| 1,4            | 0,1476                   | 0,1456 | 0,1394 | 0,1315 | 0,1301 |
| 1,5            | 0,1276                   | 0,1257 | 0,1200 | 0,1127 | 0,1112 |
| 1,6            | 0,1092                   | 0,1074 | 0,1023 | 0,0957 | 0,0944 |
| 1,7            | 0,0925                   | 0,0909 | 0,0863 | 0,0804 | 0,0792 |
| 1,8            | 0,0775                   | 0,0761 | 0,0721 | 0,0669 | 0,0658 |
| 1,9            | 0,0644                   | 0,0632 | 0,0596 | 0,0551 | 0,0542 |
| 2,0            | 0,0529                   | 0,0519 | 0,0488 | 0,0449 | 0,0442 |

|     |        |        |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2,1 | 0,0431 | 0,0422 | 0,0396 | 0,0363 | 0,0358 |
| 2,2 | 0,0347 | 0,0339 | 0,0317 | 0,0290 | 0,0228 |
| 2,3 | 0,0277 | 0,0270 | 0,0252 | 0,0229 | 0,0222 |
| 2,4 | 0,0219 | 0,0213 | 0,0198 | 0,0180 | 0,0174 |
| 2,5 | 0,0171 | 0,0167 | 0,0154 | 0,0139 | 0,0136 |
| 2,6 | 0,0132 | 0,0129 | 0,0119 | 0,0107 | 0,0102 |
| 2,7 | 0,0101 | 0,0099 | 0,0091 | 0,0081 | 0,0079 |
| 2,8 | 0,0077 | 0,0075 | 0,0069 | 0,0061 | 0,0060 |
| 2,9 | 0,0056 | 0,0056 | 0,0051 | 0,0046 | 0,0044 |
| 3,0 | 0,0043 | 0,0042 | 0,0039 | 0,0034 | 0,0033 |
| 3,1 | 0,0032 | 0,0031 | 0,0028 | 0,0025 | 0,0024 |
| 3,2 | 0,0023 | 0,0022 | 0,0020 | 0,0018 | 0,0017 |
| 3,3 | 0,0017 | 0,0016 | 0,0015 | 0,0013 | 0,0012 |
| 3,4 | 0,0012 | 0,0012 | 0,0010 | 0,0009 | 0,0009 |
| 3,5 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0007 | 0,0006 | 0,0006 |
| 3,6 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 |
| 3,7 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 |
| 3,8 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 |
| 3,9 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 |

Таблица 4.2 – Интегральная функция нормированного нормального распределения  $F(t)$

| Значение $t$ | Доверительная ошибка $q$ |         |         |         |         |
|--------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
|              | 0,20                     | 0,10    | 0,05    | 0,02    | 0,01    |
| 1            | 2                        | 3       | 4       | 5       | 6       |
| -3,5         | 0,00017                  | 0,00018 | 0,00018 | 0,00019 | 0,00020 |
| -3,4         | 0,00024                  | 0,00025 | 0,00026 | 0,00027 | 0,00028 |
| -3,3         | 0,00035                  | 0,00036 | 0,00038 | 0,00039 | 0,00041 |
| -3,2         | 0,00050                  | 0,00052 | 0,00054 | 0,00056 | 0,00058 |
| -3,1         | 0,00072                  | 0,00074 | 0,00077 | 0,00079 | 0,00082 |
| -3,0         | 0,00102                  | 0,00104 | 0,00108 | 0,00111 | 0,00114 |
| -2,9         | 0,00138                  | 0,00140 | 0,00145 | 0,00150 | 0,00155 |
| -2,8         | 0,00195                  | 0,00200 | 0,00205 | 0,00210 | 0,00220 |
| -2,7         | 0,00265                  | 0,00270 | 0,00280 | 0,00290 | 0,00300 |
| -2,6         | 0,00360                  | 0,00370 | 0,00380 | 0,00390 | 0,00400 |
| -2,5         | 0,00480                  | 0,00490 | 0,00505 | 0,00520 | 0,00535 |
| -2,4         | 0,00640                  | 0,00660 | 0,00675 | 0,00690 | 0,00710 |
| -2,3         | 0,00855                  | 0,0087  | 0,00890 | 0,00910 | 0,00935 |
| -2,2         | 0,01110                  | 0,01130 | 0,01160 | 0,01190 | 0,01220 |
| -2,1         | 0,01425                  | 0,01460 | 0,01500 | 0,01540 | 0,01580 |
| -2,0         | 0,01835                  | 0,01880 | 0,01925 | 0,01970 | 0,02020 |
| -1,9         | 0,02385                  | 0,02390 | 0,02455 | 0,02500 | 0,02560 |
| -1,8         | 0,02940                  | 0,03010 | 0,03125 | 0,03140 | 0,03215 |
| -1,7         | 0,03655                  | 0,03750 | 0,03865 | 0,03920 | 0,04015 |
| -1,6         | 0,04525                  | 0,04650 | 0,04750 | 0,04850 | 0,04950 |

|      |         |         |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| -1,5 | 0,05605 | 0,05710 | 0,05825 | 0,05940 | 0,05988 |
| -1,4 | 0,0694  | 0,0721  | 0,0749  | 0,0778  | 0,0808  |
| -1,3 | 0,0838  | 0,0869  | 0,0901  | 0,0934  | 0,0968  |
| -1,2 | 0,1003  | 0,1038  | 0,1075  | 0,1112  | 0,1151  |
| -1,1 | 0,1190  | 0,1230  | 0,1271  | 0,1314  | 0,1357  |
| -1,0 | 0,1401  | 0,1446  | 0,1492  | 0,1539  | 0,1587  |
| -0,9 | 0,1635  | 0,1685  | 0,1736  | 0,1788  | 0,1841  |
| -0,8 | 0,1894  | 0,1949  | 0,2005  | 0,2061  | 0,2119  |
| -0,7 | 0,2177  | 0,2236  | 0,2297  | 0,2358  | 0,2420  |
| -0,6 | 0,2483  | 0,2546  | 0,2611  | 0,2676  | 0,2743  |
| -0,5 | 0,2810  | 0,2877  | 0,2946  | 0,3015  | 0,3085  |
| -0,4 | 0,3156  | 0,3228  | 0,3300  | 0,3372  | 0,3446  |
| -0,3 | 0,3520  | 0,3594  | 0,3669  | 0,3745  | 0,3821  |
| -0,2 | 0,3897  | 0,3974  | 0,4052  | 0,4129  | 0,4207  |
| -0,1 | 0,4286  | 0,4364  | 0,4443  | 0,4522  | 0,4600  |
| 0    | 0,5319  | 0,5239  | 0,5160  | 0,5080  | 0,5000  |
| 0,1  | 0,5714  | 0,5636  | 0,5557  | 0,5478  | 0,5398  |
| 0,2  | 0,6103  | 0,6026  | 0,5948  | 0,5871  | 0,5793  |
| 0,3  | 0,6480  | 0,6406  | 0,6331  | 0,6225  | 0,6179  |

Продолжение таблицы 4.2

| Значение $t$ | Доверительная ошибка $q$ |        |        |        |        |
|--------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
|              | 0,20                     | 0,10   | 0,05   | 0,02   | 0,01   |
| 1            | 2                        | 3      | 4      | 5      | 6      |
| 0,4          | 0,6844                   | 0,6772 | 0,6700 | 0,6628 | 0,6554 |
| 0,5          | 0,7190                   | 0,7123 | 0,7054 | 0,6985 | 0,6915 |
| 0,6          | 0,7517                   | 0,7454 | 0,7389 | 0,7324 | 0,7257 |
| 0,7          | 0,7823                   | 0,7764 | 0,7704 | 0,7642 | 0,7580 |
| 0,8          | 0,8106                   | 0,8051 | 0,7995 | 0,7939 | 0,7881 |
| 0,9          | 0,8365                   | 0,8315 | 0,8264 | 0,8212 | 0,8159 |
| 1,0          | 0,8599                   | 0,8554 | 0,8505 | 0,8461 | 0,8413 |
| 1,1          | 0,8810                   | 0,8770 | 0,8729 | 0,8686 | 0,8643 |
| 1,2          | 0,8997                   | 0,8962 | 0,8925 | 0,8888 | 0,8849 |
| 1,3          | 0,9162                   | 0,9131 | 0,9099 | 0,9066 | 0,9032 |
| 1,4          | 0,9306                   | 0,9279 | 0,9251 | 0,9222 | 0,9192 |
| 1,5          | 0,9429                   | 0,9406 | 0,9382 | 0,9357 | 0,9332 |
| 1,6          | 0,9535                   | 0,9515 | 0,9495 | 0,9474 | 0,9452 |
| 1,7          | 0,9625                   | 0,9608 | 0,9591 | 0,9573 | 0,9554 |
| 1,8          | 0,9699                   | 0,9686 | 0,9671 | 0,9656 | 0,9641 |
| 1,9          | 0,9761                   | 0,9750 | 0,9738 | 0,9726 | 0,9713 |
| 2,0          | 0,9812                   | 0,9803 | 0,9793 | 0,9783 | 0,9773 |
| 2,1          | 0,9854                   | 0,9846 | 0,9838 | 0,9830 | 0,9821 |
| 2,2          | 0,9887                   | 0,9881 | 0,9875 | 0,9868 | 0,9861 |
| 2,3          | 0,9913                   | 0,9909 | 0,9904 | 0,9898 | 0,9893 |

|     |         |         |         |         |         |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2,4 | 0,9934  | 0,9931  | 0,9927  | 0,9922  | 0,9918  |
| 2,5 | 0,9951  | 0,9948  | 0,9945  | 0,9941  | 0,9938  |
| 2,6 | 0,9963  | 0,9961  | 0,9959  | 0,9956  | 0,9953  |
| 2,7 | 0,9973  | 0,9971  | 0,9969  | 0,9967  | 0,9965  |
| 2,8 | 0,9980  | 0,9979  | 0,9977  | 0,9976  | 0,9974  |
| 2,9 | 0,9986  | 0,9985  | 0,9984  | 0,9983  | 0,9981  |
| 3,0 | 0,99896 | 0,99889 | 0,99882 | 0,99874 | 0,99865 |
| 3,1 | 0,99926 | 0,99921 | 0,99915 | 0,9991  | 0,99903 |
| 3,2 | 0,99948 | 0,99954 | 0,9994  | 0,99936 | 0,99931 |
| 3,3 | 0,99964 | 0,99961 | 0,99958 | 0,99955 | 0,99952 |
| 3,4 | 0,99975 | 0,99973 | 0,99971 | 0,99969 | 0,99966 |
| 3,5 | 0,99983 | 0,99981 | 0,9998  | 0,99978 | 0,99977 |

### ПРИМЕР

Вычислим значение нормированного аргумента  $t_i$  по формуле 9.2 для каждого интервала и занесем в таблицу 4.3:

$$\text{Для 1-го интервала: } t_1 = \frac{t_{1c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{5-42}{25,6} = -1,45;$$

$$\text{Для 2-го интервала: } t_2 = \frac{t_{2c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{14-42}{25,6} = -1,09;$$

$$\text{Для 3-го интервала: } t_3 = \frac{t_{3c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{23-42}{25,6} = -0,74;$$

$$\text{Для 4-го интервала: } t_4 = \frac{t_{4c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{32-42}{25,6} = -0,39;$$

$$\text{Для 5-го интервала: } t_5 = \frac{t_{5c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{40,5-42}{25,6} = -0,06;$$

$$\text{Для 6-го интервала: } t_6 = \frac{t_{6c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{50,5-42}{25,6} = 0,33;$$

$$\text{Для 7-го интервала: } t_7 = \frac{t_{7c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{59-42}{25,6} = 0,66;$$

$$\text{Для 8-го интервала: } t_8 = \frac{t_{8c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{65,5-42}{25,6} = 0,92;$$

$$\text{Для 9-го интервала: } t_9 = \frac{t_{9c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{72,5-42}{25,6} = 1,19;$$

$$\text{Для 10-го интервала: } t_{10} = \frac{t_{10c} - \bar{t}}{\sigma} = \frac{80-42}{25,6} = 1,48.$$



Находим значения  $f(|t_i|)$  по таблице 4.1,  $\frac{\Delta t_{\min}}{\sigma} \cdot f(|t_i|)$ ,  $F(x) = F(t)$  по таблице 4.2,  $\hat{F}(x)$  и занесем в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Вероятностные параметры распределения

| №<br>п/п | Середины<br>интервалов $t_{ic}$ | $t_i,  t_i $ | $f( t_i )$ | $\frac{\Delta t_{\min}}{\sigma} \cdot f( t_i )$ | $F(x) = F(t)$ | $\hat{F}(x)$ |
|----------|---------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------------------|---------------|--------------|
| 1        | 5                               | -1,45; 1,45  | 0,1297     | 0,04                                            | 0,05825       | 0,19         |
| 2        | 14                              | -1,09; 1,09  | 0,2059     | 0,05                                            | 0,1271        | 0,37         |
| 3        | 23                              | -0,74; 0,74  | 0,3011     | 0,07                                            | 0,2297        | 0,45         |
| 4        | 32                              | -0,39; 0,39  | 0,3605     | 0,08                                            | 0,3300        | 0,52         |
| 5        | 40,5                            | -0,06; 0,06  | 0,3945     | 0,09                                            | 0,4443        | 0,56         |
| 6        | 50,5                            | 0,33         | 0,3752     | 0,09                                            | 0,6331        | 0,59         |
| 7        | 59                              | 0,66         | 0,3011     | 0,07                                            | 0,7704        | 0,65         |
| 8        | 65,5                            | 0,92         | 0,2541     | 0,06                                            | 0,8264        | 0,73         |
| 9        | 72,5                            | 1,19         | 0,1826     | 0,04                                            | 0,8925        | 0,85         |
| 10       | 80                              | 1,48         | 0,1200     | 0,03                                            | 0,9382        | 1,0          |

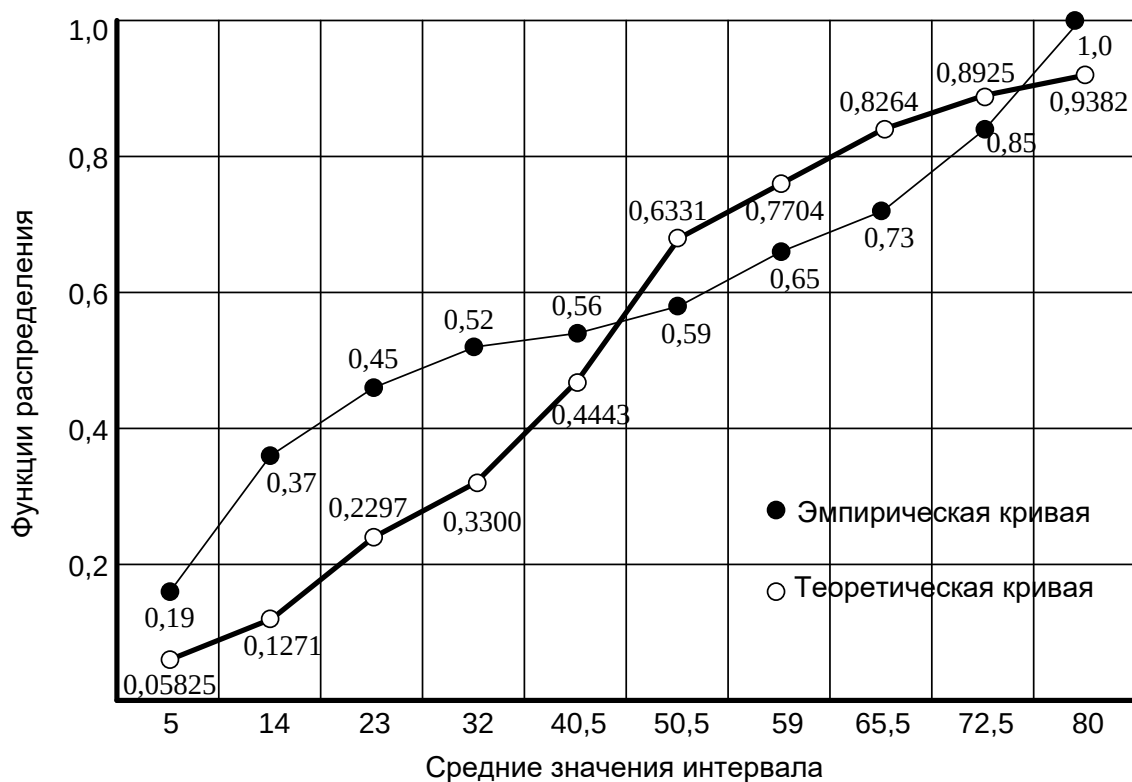


Рисунок 4.1 – Кривые интегральной функции распределения

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяются нормированные значения аргумента?
2. Как определяется дифференциальная функция  $f(|t_i|)$ ?
3. Как определяются значения дифференциальной функции в выбранных единицах?
4. Как определяются значения нормальной функции распределения?

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.
2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

## **5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 ОЦЕНКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ИНТЕРКВАНТИЛЬНОЙ ШИРОТЫ ВЫБОРКИ ОТКАЗОВ ИЗДЕЛИЙ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и

человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Для оценки теоретической интерквартильной широты выборки по предельным значениям при заданных доверительной вероятности  $P$  и количества результатов измерений в выборке  $n$  вначале выборку представляют в виде вариационного ряда:

$$a_{\min}, a_{\min+1}, a_{\min+2}, \dots, a_k \dots a_{\max-2}, a_{\max-1}, a_{\max}.$$

2. Далее определяют эмпирические значения верхнего  $U_{3/4,n}$  и нижнего  $U_{1/4,n}$  квартилей, которые определяются по соотношениям:

$$U_{1/4,n} = a_{(n/4)}, U_{3/4,n} = a_{(3 \cdot n/4)}. \quad (5.1)$$

3. Расчет теоретической интерквартильной широты выборки:

$$l = \frac{1}{2} (U_{3/4,n} - U_{1/4,n}). \quad (5.2)$$



Рисунок 5.1 – Выборка и предельные квантили результатов измерений

4. Из таблицы 5.1 определим значение  $z$  по соотношению:

$$2\Phi(z) = P. \quad (5.3)$$

5. Определение значения среднего квадратического отклонения:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}. \quad (5.4)$$

6. Определим допускаемое отклонение теоретической интерквантильной шириты выборки исходя из условия:

$$P \left( |l - L| < z \cdot 0,07867 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) = 2\Phi(z). \quad (5.5)$$

Следовательно теоретическую интерквантильную широту выборки можно записать в виде:

$$L \approx l \pm z \cdot 0,07867 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (5.6)$$

7. Определение максимального значения выборки.

По таблице 5.2 распределения Стьюдента при заданном значении  $P$  и числе степеней свободы  $k = n - 1$  определяется  $t_p$  и среднее арифметическое значение выборки:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i. \quad (5.7)$$

Максимальное значение выборки определяется из формулы:

$$n_{max} = \bar{x} + t \cdot \sigma. \quad (5.8)$$

Таблица 5.1 – Значения интегральной функции вероятности  $\Phi(z)$

| $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ |
|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| 1    | 2         | 3    | 4         | 5    | 6         | 7    | 8         |
| 0,01 | 0,0040    | 0,31 | 0,1217    | 0,72 | 0,2642    | 1,80 | 0,4641    |
| 0,02 | 0,0080    | 0,32 | 0,1255    | 0,74 | 0,2703    | 1,85 | 0,4672    |
| 0,03 | 0,0120    | 0,33 | 0,1293    | 0,76 | 0,2764    | 1,90 | 0,4713    |
| 0,04 | 0,0160    | 0,34 | 0,1331    | 0,78 | 0,2823    | 1,95 | 0,4744    |
| 0,05 | 0,0199    | 0,35 | 0,11368   | 0,80 | 0,2881    | 2,00 | 0,4772    |
| 0,06 | 0,0239    | 0,36 | 0,1406    | 0,82 | 0,2939    | 2,10 | 0,4821    |
| 0,07 | 0,0279    | 0,37 | 0,1443    | 0,84 | 0,2995    | 2,20 | 0,4861    |
| 0,08 | 0,0319    | 0,38 | 0,1480    | 0,86 | 0,3051    | 2,30 | 0,4893    |
| 0,09 | 0,0359    | 0,39 | 0,1517    | 0,88 | 0,3106    | 2,40 | 0,4918    |
| 0,10 | 0,0398    | 0,40 | 0,1554    | 0,90 | 0,3159    | 2,50 | 0,4938    |
| 0,11 | 0,0438    | 0,41 | 0,1591    | 0,92 | 0,3212    | 2,60 | 0,4853    |
| 0,12 | 0,0472    | 0,42 | 0,1628    | 0,94 | 0,3264    | 2,70 | 0,4965    |

|      |        |      |        |      |        |      |           |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|-----------|
| 0,13 | 0,0517 | 0,43 | 0,1664 | 0,96 | 0,3315 | 2,80 | 0,4974    |
| 0,14 | 0,0557 | 0,44 | 0,1700 | 0,98 | 0,3365 | 2,90 | 0,4981    |
| 0,15 | 0,0596 | 0,45 | 0,1736 | 1,00 | 0,3413 | 3,00 | 0,49865   |
| 0,16 | 0,0636 | 0,46 | 0,1772 | 1,05 | 0,3531 | 3,20 | 0,49931   |
| 0,17 | 0,0675 | 0,47 | 0,1808 | 1,10 | 0,3643 | 3,40 | 0,49966   |
| 0,18 | 0,0714 | 0,48 | 0,1844 | 1,15 | 0,3749 | 3,60 | 0,49984   |
| 0,19 | 0,0753 | 0,49 | 0,1879 | 1,20 | 0,3849 | 3,80 | 0,499928  |
| 0,20 | 0,0793 | 0,50 | 0,1915 | 1,25 | 0,3944 | 4,00 | 0,499968  |
| 0,21 | 0,0832 | 0,52 | 0,1985 | 1,30 | 0,4032 | 4,10 | 0,499972  |
| 0,22 | 0,0871 | 0,54 | 0,2054 | 1,35 | 0,4115 | 4,20 | 0,499978  |
| 0,23 | 0,0910 | 0,56 | 0,2123 | 1,40 | 0,4192 | 4,30 | 0,499982  |
| 0,24 | 0,0948 | 0,58 | 0,2190 | 1,45 | 0,4265 | 4,40 | 0,499986  |
| 0,25 | 0,0987 | 0,60 | 0,2257 | 1,50 | 0,4332 | 4,50 | 0,499997  |
| 0,26 | 0,1020 | 0,62 | 0,2324 | 1,55 | 0,4394 | 4,60 | 0,4999976 |
| 0,27 | 0,1064 | 0,64 | 0,2389 | 1,60 | 0,4452 | 4,70 | 0,4999984 |
| 0,28 | 0,1103 | 0,66 | 0,2454 | 1,65 | 0,4505 | 4,80 | 0,4999988 |
| 0,29 | 0,1141 | 0,68 | 0,2517 | 1,70 | 0,4554 | 4,90 | 0,4999992 |
| 0,30 | 0,1179 | 0,70 | 0,2580 | 1,75 | 0,4599 | 5,00 | 0,4999997 |

Таблица 5.2 – Критерий Стьюдента  $t_p$  (квантили Стьюдента)

| Довери-<br>тельная<br>вероят-<br>ность $P$ | Число степеней свободы $k$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                            | 2                          | 4    | 5    | 6    | 8    | 10   | 12   | 18   | 20   | 30   | 40   | 60   | 120  | 300  |
| 0,80                                       | 1,64                       | 1,53 | 1,48 | 1,44 | 1,40 | 1,37 | 1,36 | 1,33 | 1,33 | 1,31 | 1,30 | 1,30 | 1,29 | 1,28 |
| 0,90                                       | 2,35                       | 2,13 | 2,01 | 1,94 | 1,86 | 1,81 | 1,78 | 1,73 | 1,72 | 1,70 | 1,68 | 1,67 | 1,66 | 1,64 |
| 0,95                                       | 3,18                       | 2,78 | 2,57 | 2,45 | 2,31 | 2,23 | 2,18 | 2,10 | 2,07 | 2,04 | 2,02 | 2,00 | 1,98 | 1,96 |
| 0,98                                       | 4,54                       | 3,75 | 3,65 | 3,14 | 3,00 | 2,76 | 2,68 | 2,55 | 2,52 | 2,46 | 2,42 | 2,39 | 2,36 | 2,34 |
| 0,99                                       | 5,84                       | 4,60 | 4,03 | 3,71 | 3,36 | 3,17 | 3,06 | 2,98 | 2,82 | 2,75 | 2,70 | 2,86 | 2,62 | 2,58 |

8. Определение вероятности попадания значения выборки в пределы:  $n_{min} \leq U_{1/4,n}$ .

Определим размахи варьирования:

- для всего интервала выборки:

$$R_{max} = n_{max} - n_{min}; \quad (5.9)$$

- для нижнего квантиля  $U_{1/4,n}$ :

$$R_{U_{1/4,n}} = U_{1/4,n} - n_{min}; \quad (5.10)$$

- средний размах интервала выборки для нижнего квантиля  $U_{1/4,n}$ :

$$R_{cp} = \frac{R_{U_{1/4,n}} - R_{max}}{2}. \quad (5.11)$$

Определение среднего квадратического отклонения для нижнего квантиля  $U_{1/4,n}$  по формуле:

$$\sigma_{U_{1/4,n}} = \frac{1}{6} \sqrt{R_{max}^2 - R_{U_{1/4,n}}^2}. \quad (5.12)$$

Определение предела интегрирования для нижнего квантиля  $U_{1/4,n}$  по формуле:

$$z = \frac{R_{cp}}{\sigma_{U_{1/4,n}}}. \quad (5.13)$$

При  $z < 0$  вероятность попадания значения выборки в пределы  $n_{min} \leq U_{1/4,n}$  определяется по формуле:

$$P_{n_{min} \leq U_{1/4,n}} = 0,5 - \Phi(z). \quad (5.14a)$$

При  $z > 0$  вероятность попадания значения выборки в пределы  $n_{min} \leq U_{1/4,n}$  определяется по формуле:

$$P_{n_{min} \leq U_{1/4,n}} = 0,5 + \Phi(z). \quad (5.14b)$$

### ПРИМЕР

1. Для проведения работы используем ранее полученные значения (практическая работа №3).

Всего проходили испытание 200 машин; доверительная вероятность  $P = 0,95$ ; доверительная ошибка  $q = 0,05$ . Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица 5.1 – Результаты испытаний

| №               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $\Delta N(t_i)$ | 20 | 15 | 8  | 6  | 4  | 3  | 4  | 6  | 9  | 12 |
| $t_i$           | 10 | 18 | 28 | 36 | 45 | 56 | 62 | 69 | 76 | 84 |

Таблица 5.2 – Приведенные результаты испытаний

| №                     | 1  | 2     | 3   | 4   | 5    | 6 | 7 | 8    | 9    | 10 |
|-----------------------|----|-------|-----|-----|------|---|---|------|------|----|
| $\Delta N(\bar{t}_i)$ | 12 | 11,25 | 4,8 | 4,5 | 2,67 | 2 | 4 | 5,14 | 7,71 | 9  |

|                                                                      |    |      |    |     |     |      |      |   |       |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|------|----|-----|-----|------|------|---|-------|----|
| $\sum \Delta N(\hat{t}_i) = 63,07$                                   |    |      |    |     |     |      |      |   |       |    |
| $\Delta t_i$                                                         | 10 | 8    | 10 | 8   | 9   | 9    | 6    | 7 | 7     | 8  |
| Приведенные значения $\Delta N(\hat{t}_i)$ в виде вариационного ряда |    |      |    |     |     |      |      |   |       |    |
| №                                                                    | 1  | 2    | 3  | 4   | 5   | 6    | 7    | 8 | 9     | 10 |
| $\Delta N(\hat{t}_i)$                                                | 2  | 2,67 | 4  | 4,5 | 4,8 | 5,14 | 7,71 | 9 | 11,25 | 12 |

2. Определяем эмпирические значения верхнего  $U_{3/4,10}$  и нижнего  $U_{1/4,10}$  квартилей по соотношениям 5.1:

$$U_{3/4,10} = \Delta N(\hat{t}_i)_{3 \cdot n/4} = \Delta N(\hat{t}_i)_{7,5}, \text{ т.е. } U_{3/4,10} = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)_7 + \Delta N(\hat{t}_i)_8}{2} = \frac{7,71 + 9}{2} = 8,36$$

$$U_{1/4,10} = \Delta N(\hat{t}_i)_{1 \cdot n/4} = \Delta N(\hat{t}_i)_{2,5}, \text{ т.е. } U_{1/4,10} = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)_2 + \Delta N(\hat{t}_i)_3}{2} = \frac{2,67 + 4}{2} = 3,34$$

3. Определим теоретическую интерквартильную широту выборки результатов измерений по формуле 5.2:

$$l = \frac{1}{2}(U_{3/4,10} - U_{1/4,10}) = \frac{1}{2}(8,36 - 3,34) = 2,51.$$

4. Из таблицы распределения Лапласа (таблица 5.1) определим значение  $z$  из соотношения 5.3:

$$\text{Если } 2\Phi(z) = 0,95, \text{ то при } \Phi(z) = 0,475: z = 1,96.$$

5. В практической работе №3 было определено среднее квадратическое средин интервалов:

$$\sigma = 25,6.$$

6. Рассчитаем допускаемое отклонение теоретической интерквартильной широты выборки исходя из условий 5.5, 5.6:

$$z \cdot 0,07867 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1,96 \cdot 0,07867 \frac{25,6}{\sqrt{10}} = 1,2,$$

$$L \approx l \pm z \cdot 0,07867 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,51 \pm 1,2.$$

7. Определим максимальное значение выборки.

Для этого по таблице 5.2 при  $P = 0,95$  и числе степеней свободы  $k = n - 1 = 9$  определяем критерий Стьюдента:  $t_{0,95;9} = 2,27$ .

Вычислим среднее арифметическое значение выборки по формуле 5.7:

$$\overline{\Delta N}(\hat{t}_i) = \frac{\sum \Delta N(\hat{t}_i)}{n} = \frac{63,07}{10} = 6,3.$$

Тогда общее максимальное количество значений выборки равно:

$$\overline{\Delta N}(\hat{t}_i) = \overline{\Delta N}(\hat{t}_i) + t \cdot \sigma = 6,3 + 2,27 \cdot 25,6 = 64,4.$$

8. Определим вероятности попаданий значений выборки в пределы:

$$\Delta N(\hat{t}_i)_{min} = 2 \leq U_{1/4,10} = 3,34.$$

Определим размахи варьирования:

- для всего интервала выборки (формула 5.9):

$$R_{max} = \Delta N(\hat{t}_i)_{max} - \Delta N(\hat{t}_i)_{min} = 12 - 2 = 10;$$

- для нижнего квантиля  $U_{1/4,n}$  (формула 5.10):

$$R_{U_{1/4,10}} = U_{1/4,10} - \Delta N(\hat{t}_i)_{min} = 3,34 - 2 = 1,34;$$

- средний размах интервала выборки для нижнего квантиля  $U_{1/4,n}$  (формула 5.11):

$$R_{cp} = \frac{R_{U_{1/4,10}} - R_{max}}{2} = \frac{1,34 - 10}{2} = -4,33.$$

Определяем среднее квадратическое отклонение для нижнего квантиля  $U_{1/4,n}$  по формуле 5.12:

$$\sigma_{U_{1/4,10}} = \frac{1}{6} \sqrt{R_{max}^2 - R_{U_{1/4,10}}^2} = \frac{1}{6} \sqrt{10^2 - 1,34^2} = 1,65.$$

Определяем предел интегрирования для нижнего квантиля  $U_{1/4,n}$  по формуле (5.13):

$$z = \frac{R_{cp}}{\sigma_{U_{1/4,10}}} = \frac{-4,33}{1,65} = -2,62$$

Т. к.  $z < 0$ , то для определения вероятности попадания значения выборки в пределы  $n_{min} \leq U_{1/4,n}$  используем зависимость 5.14а:

$$P_{n_{min} \leq U_{1/4,10}} = 0,5 - \Phi(z) = 0,5 - \Phi(-2,62) = 0,5 - 0,4853 = 0,0147.$$

Таким образом, на основании произведенных расчетов для заданной выборки с вероятностью 95% можно считать, что количество значений, попадающих в интервал  $n_{min} = 2 \leq U_{1/4,10} = 3,34$  не будет превышать 1,47%.



## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяются эмпирические значения квартилей?
2. Как определяется теоретическая интерквартильная широта выборки?
3. Как определяется размах варьирования?
4. Как определяется вероятность попадания значений выборки в пределы квартилей?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.
2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

### **6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЙ ЗНАЧЕНИЙ ВЫБОРКИ В ПРЕДЕЛЫ ВЕРХНЕГО КВАНТИЛЯ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Для оценки теоретической интерквантильной шириты выборки по предельным значениям при заданных доверительной вероятности  $P$  и количества результатов измерений в выборке  $n$  вначале выборку представляют в виде вариационного ряда:

$$a_{min}, a_{min+1}, a_{min+2}, \dots a_k \dots a_{max-2}, a_{max-1}, a_{max}.$$

2. Далее определяют эмпирические значения верхнего  $U_{3/4,n}$  и нижнего  $U_{1/4,n}$  квантилей, которые определяются по соотношениям:

$$U_{1/4,n} = a_{(n/4)}, U_{3/4,n} = a_{(3 \cdot n/4)}. \quad (6.1)$$

3. Расчет теоретической интерквантильной шириты выборки:

$$l = \frac{1}{2} (U_{3/4,n} - U_{1/4,n}). \quad (6.2)$$



Рисунок 5.1 – Выборка и предельные квантили результатов измерений

4. Из таблицы 5.1 определим значение  $z$  по соотношению:

$$2\Phi(z) = P. \quad (6.3)$$

5. Определение значения среднего квадратического отклонения:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}. \quad (6.4)$$

6. Определим допускаемое отклонение теоретической интерквантильной широты выборки исходя из условия:

$$P \left( |l - L| < z \cdot 0,07867 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) = 2\Phi(z). \quad (6.5)$$

Следовательно теоретическую интерквантильную широту выборки можно записать в виде:

$$L \approx l \pm z \cdot 0,07867 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (6.6)$$

7. Определение максимального значения выборки.

По таблице 5.2 распределения Стьюдента при заданном значении  $P$  и числе степеней свободы  $k = n - 1$  определяется  $t_p$  и среднее арифметическое значение выборки:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i. \quad (6.7)$$

Максимальное значение выборки определяется из формулы:

$$n_{max} = \bar{X} + t \cdot \sigma. \quad (6.8)$$

8. Определение вероятности попадания значения выборки в пределы:  $n_{min} \leq U_{1/4,n}$ .

Определим размахи варьирования:

- для всего интервала выборки:

$$R_{max} = n_{max} - n_{min}; \quad (6.9)$$

9. Определение вероятности попадания значения выборки в пределы для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$ :

$$U_{3/4,n} \leq n_{max}. \quad (6.10)$$

Вычисление размахов варьирования для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$ :

- для всего интервала выборки (формула 6.9);

- для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$ :

$$R_{U_{3/4,n}} = n_{max} - U_{3/4,n}; \quad (6.11)$$

- средний размах интервала выборки для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$ :

$$R_{cp} = \frac{R_{U_{3/4,n}} - R_{max}}{2}. \quad (6.12)$$

Расчет среднего квадратического отклонения для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$  по зависимости:

$$\sigma_{U_{3/4,n}} = \frac{1}{6} \sqrt{R_{max}^2 - R_{U_{3/4,n}}^2}. \quad (6.13)$$

Вычисление предела интегрирования для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$  по формуле:

$$z = \frac{R_{cp}}{\sigma_{U_{3/4,n}}}. \quad (6.14)$$

При  $z < 0$  вероятность попадания значения выборки в пределы  $U_{3/4,n} \leq n_{max}$  определяется по формуле:

$$P_{n_{max} \geq U_{3/4,n}} = 0,5 - \Phi(z). \quad (6.15)$$

При  $z > 0$  вероятность попадания значения выборки в пределы  $U_{3/4,n} \leq n_{max}$  определяется по формуле:

$$P_{n_{max} \geq U_{3/4,20}} = 0,5 - \Phi(z). \quad (6.16)$$

### ПРИМЕР

1. Для проведения работы используем ранее полученные значения (практическая работа №8).

Всего проходили испытание 200 машин; доверительная вероятность  $P = 0,95$ ; доверительная ошибка  $q = 0,05$ . Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица 6.1 – Результаты испытаний

| №               | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|
| $\Delta N(t_i)$ | 20 | 15 | 8 | 6 | 4 | 3 | 4 | 6 | 9 | 12 |

|       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_i$ | 10 | 18 | 28 | 36 | 45 | 56 | 62 | 69 | 76 | 84 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Таблица 6.2 – Приведенные результаты испытаний

|                                                                      |    |       |     |     |      |      |      |      |       |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|-------|-----|-----|------|------|------|------|-------|----|
| №                                                                    | 1  | 2     | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9     | 10 |
| $\Delta N(\hat{t}_i)$                                                | 12 | 11,25 | 4,8 | 4,5 | 2,67 | 2    | 4    | 5,14 | 7,71  | 9  |
| $\sum \Delta N(\hat{t}_i) = 63,07$                                   |    |       |     |     |      |      |      |      |       |    |
| $\Delta t_i$                                                         | 10 | 8     | 10  | 8   | 9    | 9    | 6    | 7    | 7     | 8  |
| Приведенные значения $\Delta N(\hat{t}_i)$ в виде вариационного ряда |    |       |     |     |      |      |      |      |       |    |
| №                                                                    | 1  | 2     | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9     | 10 |
| $\Delta N(\hat{t}_i)$                                                | 2  | 2,67  | 4   | 4,5 | 4,8  | 5,14 | 7,71 | 9    | 11,25 | 12 |

2. Определяем эмпирические значения верхнего  $U_{3/4,10}$  и нижнего  $U_{1/4,10}$  квартилей по соотношениям 6.1:

$$U_{3/4,10} = \Delta N(\hat{t}_i)_{3 \cdot n/4} = \Delta N(\hat{t}_i)_{7,5}, \text{ т.е. } U_{3/4,10} = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)_7 + \Delta N(\hat{t}_i)_8}{2} = \frac{7,71 + 9}{2} = 8,36$$

$$U_{1/4,10} = \Delta N(\hat{t}_i)_{1 \cdot n/4} = \Delta N(\hat{t}_i)_{2,5}, \text{ т.е. } U_{1/4,10} = \frac{\Delta N(\hat{t}_i)_2 + \Delta N(\hat{t}_i)_3}{2} = \frac{2,67 + 4}{2} = 3,34$$

3. Определим теоретическую интерквартильную широту выборки результатов измерений по формуле 6.2:

$$l = \frac{1}{2}(U_{3/4,10} - U_{1/4,10}) = \frac{1}{2}(8,36 - 3,34) = 2,51.$$

4. Из таблицы распределения Лапласа (таблица 5.1) определим значение  $z$  из соотношения 6.3:

$$\text{Если } 2\Phi(z) = 0,95, \text{ то при } \Phi(z) = 0,475: z = 1,96.$$

5. В практической работе №8 было определено среднее квадратическое средин интервалов:

$$\sigma = 25,6.$$

6. Рассчитаем допускаемое отклонение теоретической интерквартильной широты выборки исходя из условий 6.5, 6.6:

$$z \cdot 0,07867 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1,96 \cdot 0,07867 \frac{25,6}{\sqrt{10}} = 1,2,$$

$$L \approx l \pm z \cdot 0,07867 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,51 \pm 1,2.$$

7. Определим максимальное значение выборки.

Для этого по таблице 5.2 при  $P = 0,95$  и числе степеней свободы  $k = n - 1 = 9$  определяем критерий Стьюдента:  $t_{0,95;9} = 2,27$ .

Вычислим среднее арифметическое значение выборки по формуле 6.7:

$$\overline{\Delta N}(\hat{t}_i) = \frac{\sum \Delta N(\hat{t}_i)}{n} = \frac{63,07}{10} = 6,3.$$

Тогда общее максимальное количество значений выборки равно:

$$\overline{\Delta N}(\hat{t}_i) = \overline{\Delta N}(\hat{t}_i) + t \cdot \sigma = 6,3 + 2,27 \cdot 25,6 = 64,4.$$

8. Определим вероятности попаданий значений выборки в пределы:

$$\Delta N(\hat{t}_i)_{min} = 2 \leq U_{1/4,10} = 3,34.$$

Определим размахи варьирования:

- для всего интервала выборки (формула 6.9):

$$R_{max} = \Delta N(\hat{t}_i)_{max} - \Delta N(\hat{t}_i)_{min} = 12 - 2 = 10$$

9. Определяем вероятность попадания значений выборки в пределы для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$  (условие 6.5):

$$U_{3/4,10} = 8,36 \leq \Delta N(\hat{t}_i)_{max} = 12.$$

Вычислим размахи варьирования:

- для всего интервала выборки (формула 6.9):

$$R_{max} = \Delta N(\hat{t}_i)_{max} - \Delta N(\hat{t}_i)_{min} = 12 - 2 = 10;$$

- для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$  (формула 6.10):

$$R_{U_{3/4,10}} = n_{max} - U_{3/4,10} = 12 - 8,36 = 3,64;$$

- средний размах интервала выборки для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$  (формула 6.11):

$$R_{cp} = \frac{R_{U_{3/4,10}} - R_{max}}{2} = \frac{3,64 - 10}{2} = -3,18$$

Определяем среднее квадратическое отклонение для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$  по формуле 6.12:

$$\sigma_{U_{3/4,10}} = \frac{1}{6} \sqrt{R_{max}^2 - R_{U_{3/4,10}}^2} = \frac{1}{6} \sqrt{10^2 - 3,64^2} = 1,55.$$

Рассчитываем предел интегрирования для верхнего квантиля  $U_{3/4,n}$  по формуле 6.13:

$$z = \frac{R_{cp}}{\sigma_{U_{3/4,10}}} = \frac{-1,82}{1,55} = -1,17.$$

В связи с тем, что  $z < 0$ , то для вычисления вероятности попадания значений выборки в пределы:  $U_{3/4,10} = 8,36 \leq n_{max} = 12$  используем формулу 6.14:

$$P_{n_{max} \geq U_{3/4,10}} = 0,5 - \Phi(z) = 0,5 - \Phi(-1,17) = 0,5 - 0,3849 = 0,1151.$$

Таким образом, на основании произведенных расчетов для заданной выборки с вероятностью 95% можно считать, что количество значений, попадающих в интервал  $U_{3/4,10} = 8,36 \leq n_{max} = 12$  будет не больше, чем 11,51%.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 1 Какие преимущества использования квантилей выборки?
- 2 Что называется интерквартильной шириной?
- 3 Что называется вариационным рядом?
- 4 Какой вариационный ряд называется непрерывным?
- 5 Какой вариационный ряд называется простым?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяк, Л. Н. Обработка результатов наблюдений : учеб. пособие / Л.Н.Третьяк. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.
2. Третьяк, Л. Н. Обработка прямых измерений с многократными наблюдениями : учеб. пособие / Л. Н. Третьяк. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2002. – 60 с.
3. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Изд-во Наука, 1968. – 288 с.

## **7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7 ПРОВЕРКА ОСНОВНОЙ ГИПОТЕЗЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ РАБОТЫ ИЗДЕЛИЯ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Для проверки основной гипотезы распределения результатов однородных измерений необходимы такие же данные, как и в предыдущих практических работах в данном учебном пособии:

- выборка результатов измерений;
- доверительная вероятность  $P$ ;
- число степеней свободы  $k=1,0$ ;



- доверительная ошибка  $q$ .

1. Определяются моменты распределения 1 – 4-го порядков и вычисленные результаты заносятся в таблицу 7.3.

2. Расчет среднего арифметического:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum m_i \cdot a_i. \quad (7.1)$$

3. Определение среднего квадратического отклонения:

$$\sigma = \frac{1}{n-1} \left[ \sum m_i \cdot a_i^2 - \frac{(\sum m_i \cdot a_i)^2}{n} \right] - \frac{R_n^2}{12}. \quad (7.2)$$

4. Расчет дисперсии:

$$S = \sqrt{\sigma}. \quad (7.3)$$

5. Определение асимметрии выборки:

$$A = \frac{1}{\sigma^2} \left[ \frac{\sum m_i \cdot a_i^3}{n} - \frac{3 \sum m_i \cdot a_i^2 \sum m_i \cdot a_i}{n^2} + \frac{2(\sum m_i \cdot a_i)^3}{n^3} \right], \quad (7.4)$$

6. Определение эксцесса выборки:

$$E = \frac{1}{S} \frac{\sum m_i a_i^4}{n^4}. \quad (7.5)$$

7. Сравним в качестве первого критерия согласия найденные значения асимметрии и эксцесса и их допускаемые теоретические значения:

$$D(A) = \frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}; \quad (7.6)$$

$$[A] = \sqrt{D(A)}; \quad (7.7)$$

$$D(E) = \frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)(n+2)(n+3)}; \quad (7.8)$$

$$[E] = \sqrt{D(E)}. \quad (7.9)$$

## ПРИМЕР

Всего проходили испытание 200 машин; доверительная вероятность  $P = 0,95$ ; доверительная ошибка  $q = 0,05$ ; среднее квадратическое  $\sigma = 25,6$  (практическая работа №4). Результаты испытаний приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты испытаний

|                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| №               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $\Delta N(t_i)$ | 20 | 15 | 8  | 6  | 4  | 3  | 4  | 6  | 9  | 12 |
| $t_i$           | 10 | 18 | 28 | 36 | 45 | 56 | 62 | 69 | 76 | 84 |

В работе №3 – 6 получены приведенные результаты испытаний (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Приведенные результаты испытаний

|                                                                                  |      |          |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| №                                                                                | 1    | 2        | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          |
| $\Delta N(\hat{t}_i)$                                                            | 12   | 11,25    | 4,8         | 4,5         | 2,67        | 2           | 4           | 5,14        | 7,71        | 9           |
| $\sum \Delta N(\hat{t}_i) = 63,07, \quad \overline{\Delta N}(\hat{t}_i) = 31,54$ |      |          |             |             |             |             |             |             |             |             |
| $\Delta t_i$                                                                     | 10   | 8        | 10          | 8           | 9           | 9           | 6           | 7           | 7           | 8           |
| $\Delta N$                                                                       | 0-12 | 12-23,25 | 23,25-28,05 | 28,05-32,55 | 32,55-35,22 | 35,22-37,22 | 37,22-41,22 | 41,22-46,36 | 46,36-54,07 | 54,07-63,07 |
| Середина интервала, $a_{io}$                                                     | 6    | 17,63    | 25,65       | 30,30       | 33,89       | 36,22       | 39,22       | 43,79       | 50,22       | 58,57       |
| Частота $m_i$                                                                    | 12   | 11,25    | 4,8         | 4,5         | 2,67        | 2           | 4           | 5,14        | 7,71        | 9           |

Таблица 7.3 – Расчетные данные результатов измерений

| Номер интервала | $a_{io}$ | $m_i$ | $a_{io} \cdot m_i$ | $a_{io}^2 \cdot m_i$ | $a_{io}^3 \cdot m_i$ | $a_{io}^4 \cdot m_i$ |
|-----------------|----------|-------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1               | 6        | 12    | 72                 | 432                  | 2592                 | 15552                |
| 2               | 17,63    | 11,25 | 198,3              | 3496                 | 62928                | 1132704              |
| 3               | 25,65    | 4,8   | 123,1              | 3158                 | 82108                | 2134808              |
| 4               | 30,30    | 4,5   | 136,4              | 4133                 | 123990               | 3719700              |
| 5               | 33,89    | 2,67  | 90,5               | 3067                 | 104278               | 3545452              |
| 6               | 36,22    | 2     | 72,4               | 2622                 | 94392                | 3398112              |
| 7               | 39,22    | 4     | 156,9              | 6154                 | 240006               | 9360234              |
| 8               | 43,79    | 5,14  | 225,1              | 9857                 | 433708               | 19083152             |
| 9               | 50,22    | 7,71  | 387,2              | 19445                | 972250               | 48612500             |
| 10              | 58,57    | 9     | 527,1              | 30872                | 1821448              | 107465432            |
| $\sum$          |          | 63    | 1989               | 83236                | 3937700              | 198467646            |

2. Определение расчетного значения асимметрии выборки (формула 7.4):

$$A = \frac{1}{25,6^2} \left[ \frac{3937700}{63} - \frac{3 \cdot 83236 \cdot 1989}{63^2} + \frac{2 \cdot 1989^3}{63^3} \right] = 0,47.$$

3. Определение расчетного значения эксцесса выборки результатов (формула 7.5):

$$E = \frac{1}{5,06} \cdot \frac{198467646}{63^4} = 2,5.$$

4. Теоретические (допускаемые) значения асимметрии и эксцесса определяются по формулам 7.6 – 7.9:

$$D(A) = \frac{6n(n-1)}{(n+1)(n+3)} = \frac{6(63-1)}{(63+1)(63+3)} = 5,67;$$

$$D(E) = \frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)(n+2)(n+3)} = \frac{24 \cdot 63(63-2)(63-3)}{(63+1)(63+2)(63+3)} = 20,2;$$

$$[A] = \sqrt{D(A)} = \sqrt{5,67} = 2,4;$$

$$[E] = \sqrt{D(E)} = \sqrt{20,2} = 4,5.$$

Как видно, найденные значения асимметрии и эксцесса меньше, чем их допускаемые величины:

$$A = 0,47 < \sqrt{D(A)} = 2,4; E = 2,5 < \sqrt{D(E)} = 4,5.$$

Следовательно, условие выполнено и заданное распределение можно считать нормальным.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется дисперсия выборки?
2. Как определяется эксцесс выборки?
3. Как определяется асимметрия выборки?
4. Какие применяют критерия согласия асимметрии и эксцесса?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяк, Л. Н. Обработка результатов наблюдений : учеб. пособие / Л.Н.Третьяк. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.
2. Третьяк, Л. Н. Обработка прямых измерений с многократными наблюдениями : учеб. пособие / Л. Н. Третьяк. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2002. – 60 с.

3. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Изд-во Наука, 1968. – 288 с.

## **8. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8 ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ПО КРИТЕРИЮ КОЛМОГОРОВА**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Для проверки нормального закона распределения с помощью критериев Колмогорова необходимо составить таблицу 8.2.

В таблице 8.2 колонки 1 – 3 заполняются по уже известным данным (номер интервала, середина интервала  $a_{io}$ , частота  $m_i$ ).

Четвертая колонка содержит теоретические числа  $np_i$  попаданий в соответствующие интервалы выборки и значение  $p_i$  определяется по соотношению:

$$p_i = P\{\alpha_i \leq \xi \leq \beta_i\} = \Phi\left(\frac{\beta_i - \bar{a}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha_i - \bar{a}}{\sigma}\right), \quad (8.1)$$

где  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  – соответственно значения результатов нижней и верхней границ  $i$ -го интервала;

$\Phi(a)$  – значения функции Лапласа (таблица 8.4).

Пятая колонка заполняется путем суммирования частоты  $m_i$  из третьей колонки соответственно, т. е. путем сложения частот  $m_i$  из  $i$ -го интервала и всех для него предыдущих:

$$mF_i(a) = \sum_1^i m_i. \quad (8.2)$$

Шестую колонку также получают, как сумму значений из четвертой колонки, путем накопления  $i$ -тых значений величины  $np_i$ , т. е. суммированием значений из предыдущих интервалов:

$$nF_i(a) = \sum_1^i np_i. \quad (8.3)$$

Седьмая колонка заполняется результатами алгебраической разности значений 5-й и 6-й колонок:

$$mD = |mF_i(a) - nF_i(a)|. \quad (8.4)$$

Для использования критерия Колмогорова выбирается наибольшее по модулю значение в колонке 7, которое равно, как указывалось выше:  $m \cdot D = m \cdot |F_m(a) - F(a)|_{\max}$

Величина значения расчетного критерия Колмогорова  $\lambda$  определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{mD}{\sqrt{n}}. \quad (8.5)$$

Величина допускаемого значения критерия Колмогорова выбирается по таблице 8.4.

Условие о выполнении нормального закона распределения исследуемых значений выборки согласно критерию Колмогорова выполняется, если справедливым является соотношение:

$$\lambda < \lambda_p. \quad (8.6)$$

### ПРИМЕР

Всего проходили испытание 200 машин; доверительная вероятность  $P = 0,95$ ; доверительная ошибка  $q = 0,05$ ; среднее квадратическое  $\sigma = 25,6$  (практическая работа №5). Результаты испытаний приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты испытаний

| №               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $\Delta N(t_i)$ | 20 | 15 | 8  | 6  | 4  | 3  | 4  | 6  | 9  | 12 |
| $t_i$           | 10 | 18 | 28 | 36 | 45 | 56 | 62 | 69 | 76 | 84 |

В работе №5 получены приведенные результаты испытаний (таблица 8.2).

Таблица 8.2 – Приведенные результаты испытаний

| №                                                                                | 1  | 2     | 3   | 4   | 5    | 6 | 7 | 8    | 9    | 10 |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|-------|-----|-----|------|---|---|------|------|----|
| $\Delta N(\hat{t}_i)$                                                            | 12 | 11,25 | 4,8 | 4,5 | 2,67 | 2 | 4 | 5,14 | 7,71 | 9  |
| $\sum \Delta N(\hat{t}_i) = 63,07, \quad \overline{\Delta N}(\hat{t}_i) = 31,54$ |    |       |     |     |      |   |   |      |      |    |
| $\Delta t_i$                                                                     | 10 | 8     | 10  | 8   | 9    | 9 | 6 | 7    | 7    | 8  |

Из полученного определим интервалы накопления отказов:

| 1    | 2        | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          |
|------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0-12 | 12-23,25 | 23,25-28,05 | 28,05-32,55 | 32,55-35,22 | 35,22-37,22 | 37,22-41,22 | 41,22-46,36 | 46,36-54,07 | 54,07-63,07 |

Заполним таблицу 8.3.

Таблица 8.3 – Исходные данные для оценки по критериям Колмогорова и Пирсона

| Номер интервала | Середина интервала $a_i$ | Частота $m_i$ | $np_i$ | $mF_i(a)$ | $nF_i(a)$ | $ mF_i(a) - nF_i(a) $ | $\frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$ |
|-----------------|--------------------------|---------------|--------|-----------|-----------|-----------------------|-------------------------------|
| 1               | 6                        | 12            | 7,44   | 12        | 7,44      | 4,56                  |                               |
| 2               | 17,63                    | 11,25         | 9,52   | 23,25     | 16,96     | 6,29                  |                               |
| 3               | 25,65                    | 4,8           | 4,4    | 28,05     | 21,36     | 6,69                  |                               |
| 4               | 30,30                    | 4,5           | 4,52   | 32,55     | 25,88     | 6,67                  |                               |
| 5               | 33,89                    | 2,67          | 2,5    | 35,22     | 28,38     | 6,84                  |                               |
| 6               | 36,22                    | 2             | 1,98   | 37,22     | 30,36     | 6,86                  |                               |
| 7               | 39,22                    | 4             | 3,84   | 41,22     | 34,2      | 7,02                  |                               |
| 8               | 43,79                    | 5,14          | 4,48   | 46,36     | 38,68     | 7,68                  |                               |
| 9               | 50,22                    | 7,71          | 5,78   | 54,07     | 44,46     | 9,61                  |                               |
| 10              | 58,57                    | 9             | 5,29   | 63,07     | 49,75     | 13,32                 |                               |
|                 |                          |               |        |           |           |                       | $\Sigma =$                    |

Столбцы 1 – 3 таблицы 8.3 заполняются по уже известным ранее данным (номер интервала, середина интервала  $a_{io}$ , частота  $m_i$ ).

Четвертый столбец характеризует количество попаданий теоретических чисел  $mp_i$  в соответствующие интервалы выборки и величину  $p_i$  определяем по соотношению 8.1.

Для 1-го интервала: нижняя граница  $\alpha = 0$ ; верхняя граница  $\beta = 12$ . Используя таблицу значений функции Лапласа (таблица 8.5)

Определим  $p_1$  согласно зависимости 8.1:

$$p_1 = \Phi\left(\frac{12 - 31,54}{25,6}\right) - \Phi\left(\frac{0 - 31,54}{25,6}\right) = \Phi(-0,76) - \Phi(-1,23) = \\ = \Phi(-0,76) + \Phi(1,23) = -0,2764 + 0,3944 = 0,1180$$

После умножения получим:

$$np_1 = 63,07 \cdot 0,1180 = 7,44.$$

Аналогично определяем значения  $np_i$  для остальных интервалов.

Заполняем 5-ый столбец результатами суммирования и накопления частот  $m_i$  из третьей колонки.

6-ой столбец заполняется путем суммирования и накопления результатов четвертого столбца  $np_i$ .

Значения седьмого столбца получаем как алгебраическую разность между величинами 5-го и 6-го столбцов.

Для оценки по критерию Колмогорова определяем в столбце 7 значение с максимальной величиной (для нашего случая это значение из 10-го интервала равное:  $|mF_2(a) - nF_2(a)| = 13,32$ ).

Определяем величину значения расчетного критерия Колмогорова  $\lambda$  (формула 12.5):

$$\lambda = \frac{|mF_2(a) - nF_2(a)|_{\max}}{\sqrt{n}} = \frac{13,32}{\sqrt{63,07}} = 1,68.$$

Определяем из таблицы 8.4 величину допускаемого значения критерия Колмогорова:  $\lambda_p = 1,36$ .

Следовательно:  $\lambda = 1,68 < \lambda_p = 1,36$  – условие 8.6 не выполняется и заданная выборка не соответствует нормальному закону распределения по критерию Колмогорова.

Таблица 12.4 – Квантили распределения Колмогорова  $\lambda_p$

|           |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|
| $P$       | 0,80 | 0,90 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| $\lambda$ | 1,07 | 1,22 | 1,36 | 1,52 | 1,63 |

Таблица 12.5 – Значения интегральной функции вероятности  $\Phi(z)$

| $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ |
|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| 1    | 2         | 3    | 4         | 5    | 6         | 7    | 8         |
| 0,01 | 0,0040    | 0,31 | 0,1217    | 0,72 | 0,2642    | 1,80 | 0,4641    |
| 0,02 | 0,0080    | 0,32 | 0,1255    | 0,74 | 0,2703    | 1,85 | 0,4672    |
| 0,03 | 0,0120    | 0,33 | 0,1293    | 0,76 | 0,2764    | 1,90 | 0,4713    |
| 0,04 | 0,0160    | 0,34 | 0,1331    | 0,78 | 0,2823    | 1,95 | 0,4744    |
| 0,05 | 0,0199    | 0,35 | 0,11368   | 0,80 | 0,2881    | 2,00 | 0,4772    |
| 0,06 | 0,0239    | 0,36 | 0,1406    | 0,82 | 0,2939    | 2,10 | 0,4821    |
| 0,07 | 0,0279    | 0,37 | 0,1443    | 0,84 | 0,2995    | 2,20 | 0,4861    |
| 0,08 | 0,0319    | 0,38 | 0,1480    | 0,86 | 0,3051    | 2,30 | 0,4893    |
| 0,09 | 0,0359    | 0,39 | 0,1517    | 0,88 | 0,3106    | 2,40 | 0,4918    |



|      |        |      |        |      |        |      |           |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|-----------|
| 0,10 | 0,0398 | 0,40 | 0,1554 | 0,90 | 0,3159 | 2,50 | 0,4938    |
| 0,11 | 0,0438 | 0,41 | 0,1591 | 0,92 | 0,3212 | 2,60 | 0,4853    |
| 0,12 | 0,0472 | 0,42 | 0,1628 | 0,94 | 0,3264 | 2,70 | 0,4965    |
| 0,13 | 0,0517 | 0,43 | 0,1664 | 0,96 | 0,3315 | 2,80 | 0,4974    |
| 0,14 | 0,0557 | 0,44 | 0,1700 | 0,98 | 0,3365 | 2,90 | 0,4981    |
| 0,15 | 0,0596 | 0,45 | 0,1736 | 1,00 | 0,3413 | 3,00 | 0,49865   |
| 0,16 | 0,0636 | 0,46 | 0,1772 | 1,05 | 0,3531 | 3,20 | 0,49931   |
| 0,17 | 0,0675 | 0,47 | 0,1808 | 1,10 | 0,3643 | 3,40 | 0,49966   |
| 0,18 | 0,0714 | 0,48 | 0,1844 | 1,15 | 0,3749 | 3,60 | 0,49984   |
| 0,19 | 0,0753 | 0,49 | 0,1879 | 1,20 | 0,3849 | 3,80 | 0,499928  |
| 0,20 | 0,0793 | 0,50 | 0,1915 | 1,25 | 0,3944 | 4,00 | 0,499968  |
| 0,21 | 0,0832 | 0,52 | 0,1985 | 1,30 | 0,4032 | 4,10 | 0,499972  |
| 0,22 | 0,0871 | 0,54 | 0,2054 | 1,35 | 0,4115 | 4,20 | 0,499978  |
| 0,23 | 0,0910 | 0,56 | 0,2123 | 1,40 | 0,4192 | 4,30 | 0,499982  |
| 0,24 | 0,0948 | 0,58 | 0,2190 | 1,45 | 0,4265 | 4,40 | 0,499986  |
| 0,25 | 0,0987 | 0,60 | 0,2257 | 1,50 | 0,4332 | 4,50 | 0,499997  |
| 0,26 | 0,1020 | 0,62 | 0,2324 | 1,55 | 0,4394 | 4,60 | 0,4999976 |
| 0,27 | 0,1064 | 0,64 | 0,2389 | 1,60 | 0,4452 | 4,70 | 0,4999984 |
| 0,28 | 0,1103 | 0,66 | 0,2454 | 1,65 | 0,4505 | 4,80 | 0,4999988 |
| 0,29 | 0,1141 | 0,68 | 0,2517 | 1,70 | 0,4554 | 4,90 | 0,4999992 |
| 0,30 | 0,1179 | 0,70 | 0,2580 | 1,75 | 0,4599 | 5,00 | 0,4999997 |

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется величина расчетного критерия Колмогорова?
2. Как влияет заданная величина вероятности на табличное значение критерия Колмогорова?
3. Какое условие выполнения критерия Колмогорова?
4. Какая область применения критерия Колмогорова?

## **9. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9 РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ МОНТАЖА СУППОРТА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНОГО АВТОМАТА**

Цель: научиться определять погрешность монтажа суппорта токарно-револьверного автомата

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций или их части:**

**Знать:** Регламенты проведения технического обслуживания оборудования машиностроительного производства; материалы и оборудование и другие средства технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов; типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания.

**Уметь:** использовать материалы и оборудование, и другие средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; выбирать типовые организационные структуры ремонтных хозяйств машиностроительных производств; выбирать средства автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; прогнозировать отказы и нарушения работоспособности оборудования и факторы влияющие на износ оборудования.

**Владеть:** навыками выбора материалов и оборудование и других средств технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов; методикой выбора типовых организационных структур ремонтного хозяйства машиностроительных производств; методикой выбора средств автоматизации процесса планирования ремонтов и технического обслуживания; навыками устранения отказов и нарушения работоспособности оборудования; навыками устранения факторов влияющих на износ оборудования.

### **Актуальность темы**

Техническое обслуживание производства является составной и важнейшей частью системы обслуживания производственного процесса в целом и включает функции по обеспечению технического состояния (готовности) средств производства и движения предметов труда в процессе производства (изготовления продукции). Для технического обслуживания основного производства предприятия могут иметь целый комплекс так называемых вспомогательных служб, или хозяйств:

ремонтное, инструментальное, энергетическое, транспортное, снабженческо-складское и др.

Ремонтные цехи и службы обеспечивают рабочее состояние технологического оборудования путем его ремонта и модернизации. Качественный ремонт оборудования увеличивает сроки его службы, снижает потери от простоев и значительно повышает общую эффективность работы предприятия.

## **2 Теоретическая часть**

В последнее время для передачи движения от кулачков распределительного вала к целевым механизмам автомата находят применение шариковые передаточные механизмы.

На рис. 10.1 показана принципиальная схема шарикового передаточного механизма, предложенного проф. Г.А. Шаумяном. Шариковый передаточный механизм ШПМ предназначен для передачи прямолинейного движения целевым механизмам автомата. Он состоит из двух толкателей 2 и 6, замыкающих цепочку шариков 4 и цилиндрических втулок 3, расположенных в калиброванной трубке (трубопроводе) 5. Движение, сообщаемое одному толкателю 2 кулачком 1, передается через цепочку шариков и втулок другому толкателю 6, а им – исполнительному механизму 7. Пружина 8 служит для возврата исполнительного механизма в исходное положение.

Применение ШПМ позволяет значительно упростить конструкцию автомата за счет устранения плоских и пространственных многозвенных передаточных механизмов, которые заменяются трубопроводами. Распределительный вал при использовании ШПМ заменяется быстросменными оправками-валами длиной 150–200 мм, а это значительно сокращает время переналадки автомата и позволяет

применять широкую унификацию обрабатываемых изделий, создавая магазины наладок.

Для ШПМ применяют шарики степени точности I и II, группы II (по ГОСТ 3722-60), диаметром 6, 8 и 10 мм. В зависимости от диаметра применяемого шарика в трубопроводе к толкателю ШПМ можно приложить наибольшее допускаемое усилие соответственно 800, 1800 и 2500 Н.

Трубопровод выполняют из труб размерами 8×1, 10×1 и 12×1 мм из латуни Л62. Сферические втулки обычно изготавливают из латуни ЛС59-1. На рис. 10.2 приведена конструкция ШПМ.

Рабочий ход предварительно устанавливают подбором количества шариков 2 и втулок 3 и окончательно подгоняют регулировочными шайбами 5.

Длину трубопровода 1 устанавливают в зависимости от расположения кулачка и исполнительного механизма; наибольшая длина трубопровода не превышает 2 м. Пространство между шариками и втулками заполняется консистентно смазкой ЦИАТИМ-201 или ЦИАТИМ-203. Ход толкателя должен быть плавным, без заеданий и рывков.

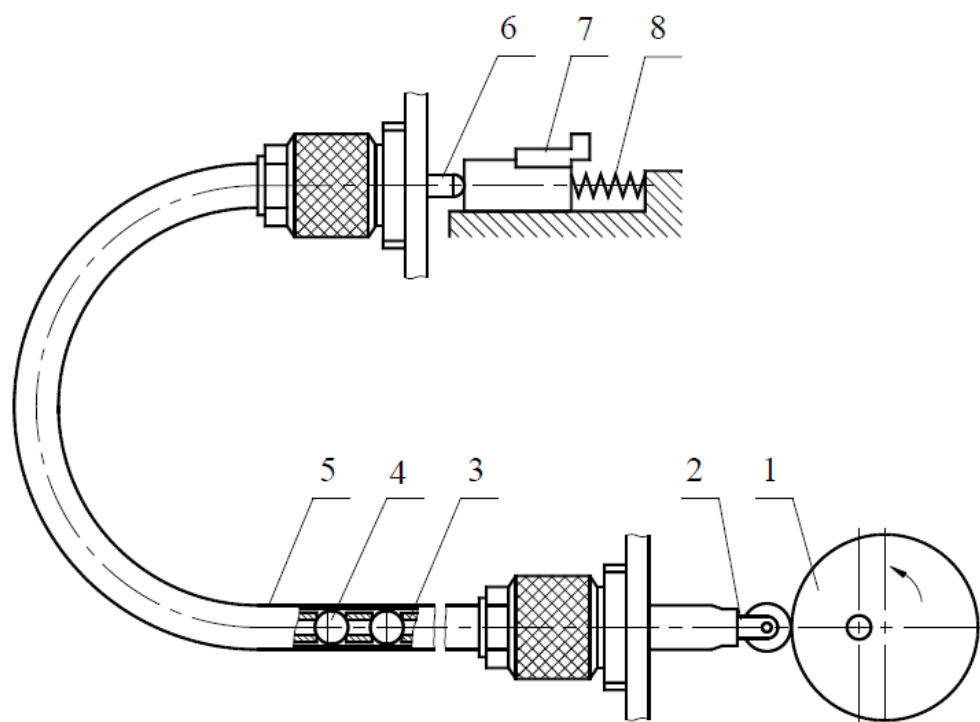


Рисунок 10.1 – Схема шарикового передаточного механизма (ШПМ)

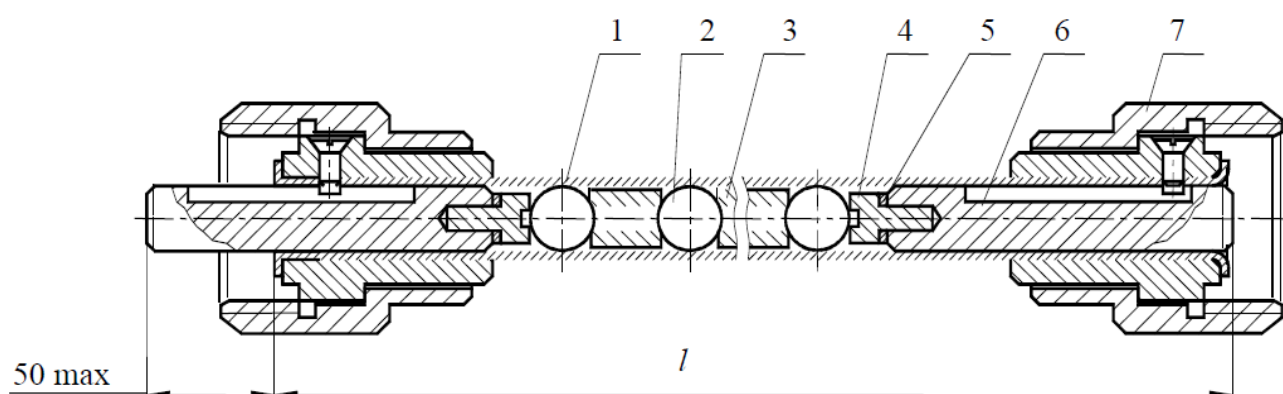


Рисунок 10.2 – Конструкция шарикового передаточного механизма:  
1 – трубопровод; 2 – шарики; 3 – втулки; 4 – головка толкателя;  
5 – регулировочная шайба, 6 – толкателя, 7 – установочный винт

### 3 Вопросы и задания

В качестве задания каждому студенту выдается индивидуальный вариант (таблица 10.1).

Таблица 10.1 – Варианты заданий

| Данные                                      | № варианта   |               |             |             |              |               |               |               |               |              |
|---------------------------------------------|--------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
|                                             | 1            | 2             | 3           | 4           | 5            | 6             | 7             | 8             | 9             | 10           |
| Обрабатываемый диаметр                      | 20           | 22            | 24          | 26          | 28           | 30            | 32            | 34            | 36            | 38           |
| Обработанный диаметр                        | 18           | 21            | 22          | 23          | 24           | 27            | 30            | 30            | 32            | 34           |
| Обрабатываемый материал                     | Ст. 3        | Ст. 5         | Сталь 10    | Сталь 20    | Сталь 30     | Сталь 40      | Сталь 45      | Сталь 50      | Сталь 55      | 15Х          |
| Твёрдость, НВ                               | 140 - 160    | 140 - 160     | 160 - 180   | 180 - 200   | 200 - 220    | 210 - 230     | 220 - 240     | 230 - 250     | 240 - 260     | 200 - 220    |
| Прямые участки: $l_1$ , $l_2$ , $l_3$ , мм  | 80, 100, 120 | 120, 110, 140 | 60, 80, 100 | 70, 120, 80 | 90, 110, 120 | 100, 110, 140 | 120, 100, 140 | 140, 110, 120 | 100, 100, 110 | 60, 130, 120 |
| Углы колен: $\alpha_1$ , $\alpha_2$ , град. | 20, 30       | 25, 35        | 40, 35      | 30, 40      | 10, 35       | 15, 25        | 40, 20        | 25, 30        | 50, 10        | 20, 30       |
| Радиусы изгиба колен: $R_1$ , $R_2$ , мм    | 100, 112     | 110, 120      | 120, 115    | 110, 140    | 105, 80      | 100, 140      | 90, 120       | 140, 110      | 150, 100      | 100, 80      |

Продолжение таблицы 10.1

| Данные                                      | № варианта    |               |             |             |               |               |               |               |               |              |
|---------------------------------------------|---------------|---------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
|                                             | 11            | 12            | 13          | 14          | 15            | 16            | 17            | 18            | 19            | 20           |
| Обрабатываемый диаметр                      | 40            | 42            | 44          | 46          | 48            | 50            | 52            | 54            | 56            | 58           |
| Обработанный диаметр                        | 38            | 40            | 41          | 42          | 45            | 48            | 50            | 50            | 52            | 55           |
| Обрабатываемый материал                     | 20Х           | 30Х           | 35Х         | 40Х         | 50Х           | 18ХГТ         | 30ХГТ         | Ст.3          | Ст.5          | Сталь 10     |
| Твёрдость, НВ                               | 140 - 160     | 140 - 160     | 160 - 180   | 180 - 200   | 200 - 220     | 210 - 230     | 220 - 240     | 230 - 250     | 240 - 260     | 200 - 220    |
| Прямые участки: $l_1$ , $l_2$ , $l_3$ , мм  | 100, 100, 120 | 100, 110, 140 | 80, 80, 100 | 90, 120, 80 | 100, 110, 120 | 120, 110, 140 | 140, 100, 140 | 160, 110, 120 | 110, 100, 110 | 80, 130, 120 |
| Углы колен: $\alpha_1$ , $\alpha_2$ , град. | 40, 30        | 35, 35        | 50, 35      | 50, 40      | 30, 35        | 35, 25        | 50, 20        | 45, 30        | 30, 10        | 60, 30       |
| Радиусы изгиба колен: $R_1$ , $R_2$ , мм    | 120, 110      | 140, 120      | 150, 115    | 140, 140    | 165, 80       | 150, 140      | 70, 120       | 100, 110      | 120, 100      | 150, 80      |

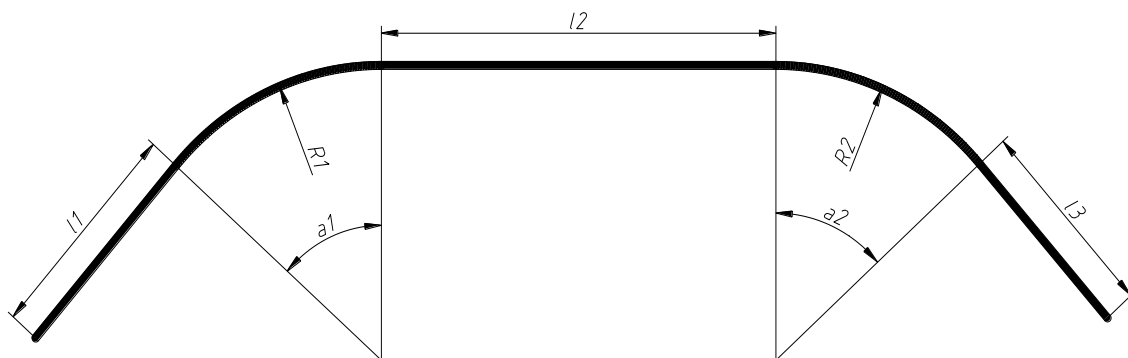


Рисунок 10.3 – Схема трубопровода

Пример выполнения работы.

Исходные данные:

Операция 010 Точить с  $d=23$  мм до  $d=21$  мм по  $l=65$  мм; обрабатываемый материал ст.3, твёрдость 140...160 НВ; прямые участки:  $l_1=100$  мм,  $l_2=120$  мм,  $l_3=150$  мм; углы колен:  $\alpha_1=25^\circ$ ,  $\alpha_2=30^\circ$ ; радиусы изгиба колен:  $R_1=120$  мм,  $R_2=125$  мм.

1. Определить силу резания, которая является усилием для перемещения механизма:

Глубина резания  $t=2$  мм, подача при размерах державки резца 16х25 принимается  $S=0,45$  мм [2].

Скорость резания рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (10.1)$$

где  $T$  – стойкость резца,

$C_v=350$  – коэффициент учитывающий скорость резания,

$x=0,15$ ,  $y=0,35$ ,  $m=0,2$  – показатели степени,

В свою очередь коэффициент  $K_v$  состоит из ряда коэффициентов

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{uV} \cdot K_{nV}, \quad (10.2)$$

$K_{MV}$  – коэффициент учитывающий материал заготовки,

$$K_{MV} = K_\Gamma \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v},$$

$$K_{MV} = 1 \left( \frac{750}{150} \right)^1 = 5.$$

$K_{им}=0,65$  коэффициент зависящий от свойств инструментального материала,

$K_{пв}=0,9$  – коэффициент зависящий от состояния поверхности заготовки.

Подставляя полученные выше значения коэффициентов получаем:

$$K_v = 5 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 2,925 \text{ .}$$

$$\text{откуда } V = \frac{350}{45^{0,2} 2^{0,35} 0,45^{0,35}} \cdot 2,925 = 56,865 \frac{\text{м}}{\text{мин}} \text{ .}$$

Сила резания:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \text{ ,}$$

где  $x=1$ ,  $y=0,75$ ,  $n=-0,15$  – показатели степени,

$K_p$  – коэффициент, учитывающий силу резания, определяется по формуле:

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp} \text{ ,} \quad (10.3)$$

где  $K_{MP} = K_{\Gamma} \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^N = \left( \frac{150}{750} \right)^{0,75} = 0,3$  – коэффициент учитывающий материал заготовки,

$K_{\varphi p}=0,89$  – коэффициент зависящий от угла в плане,

$K_{\gamma p}=1$  – коэффициент зависящий от переднего угла,

$K_{rp}=1$  – коэффициент зависящий от радиуса скругления режущей кромки.

Подставляя получаем

$$K_p = 0,3 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 = 0,27 \text{ .}$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 0,45^{0,75} \cdot 56,865^{-0,15} \cdot 0,27 = 34,36 \text{ Н .}$$

2. Определение значения движущих сил:

$$Q_{n1} = K_{n1} \cdot P = 1,02 \cdot 34,36 = 35,0472 \text{ Н ,} \quad (10.4)$$

$$Q_{u1} = K_1 \cdot Q_{n1} = 1,1 \cdot 35,047 = 38,551 \text{ Н ,} \quad (10.5)$$

$$Q_{n2} = K_{n2} \cdot Q_{u1} = 1,03 \cdot 38,551 = 39,707 \text{ Н ,} \quad (10.6)$$

$$Q_{u2} = K_{u2} \cdot Q_{n2} = 1,07 \cdot 39,707 = 42,486 \text{ Н ,} \quad (10.7)$$



$$Q_{n3} = K_{n3} \cdot Q_{u2} = 1,04 \cdot 42,486 = 44,185 \text{ Н} , \quad (10.8)$$

$$Q_{u2} = Q_{n3} = 44,185 \text{ Н} .$$

Значения коэффициентов преобразования по рекомендациям для прямых участков:  $K_{п1}=1,02$ ,  $K_{п2}=1,03$ ,  $K_{п3}=1,04$ ; для криволинейных:  $K_{и1}=1,1$ ,  $K_{и2}=1,07$ .

3. Из условия  $Q < 800 \text{ Н}$  принимаем диаметр шарика  $\alpha = 6 \text{ мм}$ .

4. Определение значения коэффициента возрастания радиальных сил для каждого колена по формуле:

$$K_{pi} = \frac{F}{Q_{ui}} , \quad (10.9)$$

где  $F = 200 \text{ Н}$  – допустимое значение радиальной силы действующей на трубопровод, для латунной трубки.

$$K_{p1} = \frac{200}{38,551} = 5,187 ,$$

$$K_{p2} = \frac{200}{42,486} = 4,707 .$$

5. Определение значения общего коэффициента возрастания осевых сил

$$K = K_{n1} \cdot K_{u1} \cdot K_{n2} \cdot K_{u2} \cdot K_{n3} , \quad (10.10)$$

$$K = 1,02 \cdot 1,03 \cdot 1,04 \cdot 1,1 \cdot 1,07 = 1,286 .$$

6. Общая длина трубопровода

$$L = l_1 + \frac{\alpha_1 \cdot r_1}{360} + l_2 + \frac{\alpha_2 \cdot r_2}{360} + l_3 , \quad (10.11)$$

$$L = 100 + \frac{25 \cdot 120}{360} + 120 + \frac{30 \cdot 125}{360} + 150 = 388,75 \text{ мм} .$$

7. Определение величины погрешности перемещения исполнительного механизма

$$\Delta S = C \cdot L \cdot P_3 \frac{K^2 - 1}{2 \cdot K} + C \cdot L (P - P_3) \frac{K + 1}{2} , \quad (10.12)$$

где  $C$  – удельная податливость шарикового передаточного механизма,

$L$  – общая длина трубопровода,

$P_3$  – усилие замыкающей пружины ( $P_3 = 50 \text{ Н}$ ).

$$\Delta S = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 388,75 \cdot 50 \frac{1,286^2 - 1}{2 \cdot 1,286} + 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 388,75 (34,36 - 50) \frac{1,286 + 1}{2} = 0,20 \text{ мм}$$

8. Расчет погрешности монтажа суппорта токарно-револьверного автомата

По системе допусков и посадок определяем для обработанного размера 21 мм квалитет точности, обеспечивающий погрешность 0,2 мм.

Для 11-го квалитета допуск составляет 0,13 мм (не подходит), для 12-го 0,21 мм (подходит). Следовательно при полученной погрешности монтажа суппорта токарно-револьверного автомата обеспечивается точность получения размеров от 12-го квалитета точности и выше.

### **Вопросы**

1. Схема шарикового передаточного механизма (ШПМ).
2. Конструкция шарикового передаточного механизма.
3. Как определяется сила резания?
4. Расчет погрешности монтажа суппорта токарно-револьверного автомата.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Третьяк, Л. Н. Обработка результатов наблюдений : учеб. пособие / Л.Н.Третьяк. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.
2. Третьяк, Л. Н. Обработка прямых измерений с многократными наблюдениями : учеб. пособие / Л. Н. Третьяк. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2002. – 60 с.
3. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Изд-во Наука, 1968. – 288 с.

### **10. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА ОТ ВРЕМЕНИ ТИПА $y = ax + b$ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

***Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:***  
типовые расчеты основных показателей надежности.

***Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:***  
пользование справочной литературой.

***Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:*** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

***Формируемые компетенции:*** ИД-2ПК-9, ИД-3<sub>ПК-9</sub>, ИД-4<sub>ПК-9</sub>.

***Актуальность темы:*** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Метод наименьших квадратов (МНК) — математический метод, применяемый для решения различных задач, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от искомых переменных. Он может использоваться для «решения» переопределенных систем уравнений (когда количество уравнений превышает количество неизвестных), для поиска решения в случае обычных (не переопределенных) нелинейных систем уравнений, для аппроксимации точечных значений некоторой функции. МНК является одним из базовых методов

регрессионного анализа для оценки неизвестных параметров регрессионных моделей по выборочным данным.

Методом наименьших квадратов можно найти зависимость типа:

$$y = ax + b. \quad (10.1)$$

Для определения зависимости необходимо решить систему:

$$\begin{cases} a\sum x_i + bn = \sum y_i \\ a\sum x_i^2 + b\sum x_i = \sum x_i y_i \end{cases}, \quad (10.2)$$

где  $n$  – количество результатов.

### ПРИМЕР

Получены результаты 20 измерений искомой величины. Результаты измерений по возрастанию значений и частота их проявления показаны в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Результаты наблюдений

| №     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $x$   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| $y$   | 23,0 | 23,1 | 23,2 | 23,3 | 23,4 | 23,5 | 23,6 | 23,7 |
| $m_i$ | 1    | 5    | 6    | 3    | 2    | 1    | 1    | 1    |

Составим расчетную таблицу (частота не учитывается).

Таблица 10.2 – Расчетная таблица

| №     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     | 8     | $\Sigma$ |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|----------|
| $x$   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     | 8     | 36       |
| $y$   | 23,0 | 23,1 | 23,2 | 23,3 | 23,4 | 23,5 | 23,6  | 23,7  | 186,8    |
| $x^2$ | 1    | 4    | 9    | 16   | 25   | 36   | 49    | 64    | 204      |
| $xy$  | 23,0 | 46,2 | 69,6 | 93,2 | 117  | 141  | 165,2 | 189,6 | 844,8    |

Получаем систему:

$$\begin{cases} 36a + 8b = 186,8 \\ 204a + 36b = 844,8 \end{cases}$$

Решая систему, находим:  $a = 0,1$ ;  $b = 22,9$ .

Получаем функцию:  $y = 0,1x + 22,9$ .

Определяем точки для построения опытной и теоретической кривых и заносим в таблицу 10.3.

Таблица 10.3 – Точки для построения опытной и теоретической кривых

| $x$   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $y_o$ | 23,0 | 23,1 | 23,2 | 23,3 | 23,4 | 23,5 | 23,6 | 23,7 |
| $y_m$ | 23,0 | 23,1 | 23,2 | 23,3 | 23,4 | 23,5 | 23,6 | 23,7 |

Как видно из таблицы 10.3 точки для построения опытной и теоретической кривых совпали по значениям. Следовательно, функция  $y = 0,1x + 22,9$ , найденная при помощи метода наименьших квадратов определена верно.

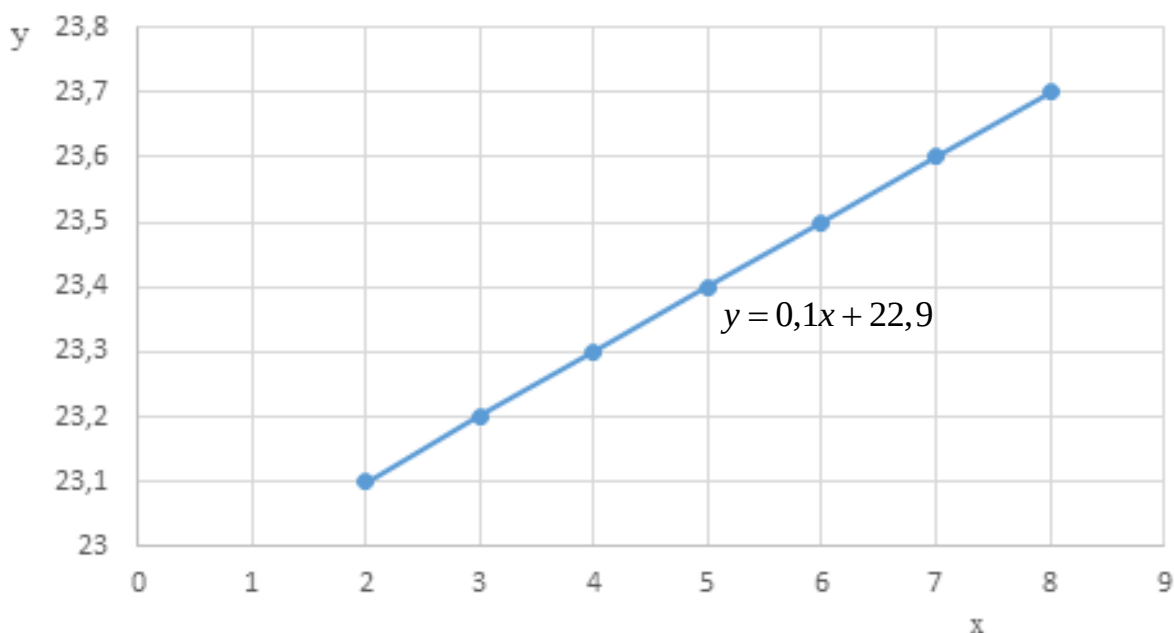


Рисунок 10.1 – Опытная и теоретическая кривые

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. На чем основан метод наименьших квадратов?

2. Какие принципы решения системы уравнений?
3. Область применения метода наименьших квадратов.
4. Что такое регрессионный анализ?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяк, Л. Н. Обработка результатов наблюдений : учеб. пособие / Л.Н.Третьяк. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.
2. Третьяк, Л. Н. Обработка прямых измерений с многократными наблюдениями : учеб. пособие / Л. Н. Третьяк. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2002. – 60 с.
3. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Изд-во Наука, 1968. – 288 с.

Таблица 10.4 – Исходные данные для выполнения практических работ (варианты 1 – 15)

| № варианта                                |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1                                         | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             | 10            | 11            | 12            | 13            | 14            | 15            |
| Доверительная ошибка (уровень значимости) |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| $q =$<br>0,20                             | $q =$<br>0,10 | $q =$<br>0,05 | $q =$<br>0,02 | $q =$<br>0,01 | $q =$<br>0,20 | $q =$<br>0,10 | $q =$<br>0,05 | $q =$<br>0,02 | $q =$<br>0,01 | $q =$<br>0,20 | $q =$<br>0,10 | $q =$<br>0,05 | $q =$<br>0,02 | $q =$<br>0,01 |
| Доверительная вероятность                 |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| $P =$<br>0,80                             | $P =$<br>0,90 | $P =$<br>0,95 | $P =$<br>0,98 | $P =$<br>0,99 | $P =$<br>0,80 | $P =$<br>0,90 | $P =$<br>0,95 | $P =$<br>0,98 | $P =$<br>0,99 | $P =$<br>0,80 | $P =$<br>0,90 | $P =$<br>0,95 | $P =$<br>0,98 | $P =$<br>0,99 |
| Значения результатов выборки              |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 1,22                                      | 2,88          | 3,46          | 4,31          | 5,14          | 6,02          | 7,78          | 8,50          | 9,82          | 0,36          | 1,62          | 2,46          | 3,08          | 4,64          | 5,50          |
| 1,28                                      | 2,92          | 3,60          | 4,30          | 5,19          | 6,04          | 7,85          | 8,58          | 9,88          | 0,48          | 1,70          | 2,48          | 3,10          | 4,66          | 5,56          |
| 1,20                                      | 2,78          | 3,48          | 4,44          | 5,20          | 6,06          | 7,83          | 8,52          | 9,89          | 0,50          | 1,68          | 2,52          | 3,14          | 4,68          | 5,58          |
| 1,32                                      | 2,80          | 3,47          | 4,38          | 5,28          | 6,03          | 7,82          | 8,56          | 9,90          | 0,46          | 1,66          | 2,54          | 3,18          | 4,72          | 5,64          |
| 1,34                                      | 2,84          | 3,52          | 4,39          | 5,22          | 6,16          | 7,92          | 8,57          | 9,96          | 0,48          | 1,64          | 2,60          | 3,22          | 4,78          | 5,62          |
| 1,28                                      | 2,82          | 3,54          | 4,40          | 5,21          | 6,14          | 7,80          | 8,64          | 9,94          | 0,42          | 1,76          | 2,58          | 3,20          | 4,76          | 5,60          |
| 1,26                                      | 2,86          | 3,56          | 4,42          | 5,26          | 6,12          | 7,84          | 8,62          | 9,92          | 0,43          | 1,72          | 2,59          | 3,19          | 4,66          | 5,62          |
| 1,24                                      | 2,84          | 3,55          | 4,36          | 5,29          | 6,10          | 7,85          | 8,60          | 9,84          | 0,45          | 1,74          | 2,54          | 3,16          | 4,70          | 5,58          |
| 1,26                                      | 2,86          | 3,50          | 4,35          | 5,22          | 6,09          | 7,86          | 8,55          | 9,90          | 0,44          | 1,72          | 2,55          | 3,20          | 4,73          | 5,56          |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1,28 | 2,90 | 3,49 | 4,32 | 5,23 | 6,08 | 7,88 | 8,54 | 9,89 | 0,42 | 1,69 | 2,53 | 3,10 | 4,74 | 5,55 |
| 1,28 | 2,84 | 3,52 | 4,33 | 5,26 | 6,07 | 7,90 | 8,53 | 9,88 | 0,45 | 1,70 | 2,53 | 3,13 | 4,73 | 5,52 |
| 1,30 | 2,85 | 3,53 | 4,36 | 5,21 | 6,10 | 7,86 | 8,57 | 9,86 | 0,44 | 1,68 | 2,52 | 3,14 | 4,66 | 5,54 |
| 1,26 | 2,87 | 3,55 | 4,34 | 5,24 | 6,08 | 7,84 | 8,58 | 9,84 | 0,43 | 1,64 | 2,50 | 3,15 | 4,68 | 5,56 |
| 1,30 | 2,89 | 3,54 | 4,36 | 5,25 | 6,07 | 7,86 | 8,56 | 9,88 | 0,38 | 1,65 | 2,49 | 3,16 | 4,72 | 5,55 |
| 1,28 | 2,91 | 3,56 | 4,35 | 5,20 | 6,06 | 7,88 | 8,60 | 9,90 | 0,40 | 1,66 | 2,53 | 3,14 | 4,73 | 5,54 |
| 1,26 | 2,85 | 3,58 | 4,38 | 5,21 | 6,09 | 7,84 | 8,56 | 9,89 | 0,44 | 1,68 | 2,54 | 3,15 | 4,75 | 5,52 |
| 1,26 | 2,84 | 3,56 | 4,37 | 5,22 | 6,10 | 7,85 | 8,57 | 9,86 | 0,43 | 1,67 | 2,56 | 3,17 | 4,74 | 5,60 |
| 1,24 | 2,83 | 3,55 | 4,39 | 5,24 | 6,08 | 7,83 | 8,58 | 9,84 | 0,45 | 1,64 | 2,54 | 3,18 | 4,72 | 5,58 |
| 1,26 | 2,86 | 3,54 | 4,38 | 5,23 | 6,07 | 7,84 | 8,56 | 9,86 | 0,44 | 1,68 | 2,55 | 3,14 | 4,74 | 5,56 |
| 1,24 | 2,85 | 3,50 | 4,37 | 5,22 | 6,09 | 7,86 | 8,55 | 9,87 | 0,42 | 1,69 | 2,53 | 3,16 | 4,73 | 5,54 |

Таблица 10.5 – Исходные данные для выполнения практических работ  
(варианты 16 – 25)

| № варианта                                |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 16                                        | 17            | 18            | 19            | 20            | 21            | 22            | 23            | 24            | 25            |
| Доверительная ошибка (уровень значимости) |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| $q =$<br>0,20                             | $q =$<br>0,10 | $q =$<br>0,05 | $q =$<br>0,02 | $q =$<br>0,01 | $q =$<br>0,20 | $q =$<br>0,10 | $q =$<br>0,05 | $q =$<br>0,02 | $q =$<br>0,01 |
| Доверительная вероятность                 |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| $P =$<br>0,80                             | $P =$<br>0,90 | $P =$<br>0,95 | $P =$<br>0,98 | $P =$<br>0,99 | $P =$<br>0,80 | $P =$<br>0,90 | $P =$<br>0,95 | $P =$<br>0,98 | $P =$<br>0,99 |
| Значения результатов выборки              |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 14,34                                     | 22,06         | 36,62         | 45,48         | 58,82         | 63,32         | 77,54         | 85,76         | 94,02         | 102,12        |
| 14,36                                     | 22,10         | 36,68         | 45,52         | 58,90         | 63,38         | 77,62         | 85,78         | 94,06         | 102,26        |
| 14,40                                     | 22,14         | 36,72         | 45,64         | 58,88         | 63,34         | 77,56         | 85,90         | 94,04         | 102,18        |
| 14,50                                     | 22,22         | 36,78         | 45,58         | 58,86         | 63,40         | 77,62         | 85,84         | 94,16         | 102,20        |
| 14,48                                     | 22,20         | 36,70         | 45,62         | 58,89         | 63,45         | 77,58         | 85,81         | 94,10         | 102,12        |
| 14,36                                     | 22,18         | 36,68         | 45,60         | 58,84         | 63,36         | 77,60         | 85,92         | 94,14         | 102,26        |
| 14,42                                     | 22,14         | 36,72         | 45,56         | 58,92         | 63,40         | 77,65         | 85,90         | 94,15         | 102,28        |
| 14,44                                     | 22,12         | 36,70         | 45,54         | 58,90         | 63,44         | 77,70         | 85,84         | 94,18         | 102,23        |
| 14,46                                     | 22,16         | 36,74         | 45,56         | 58,98         | 63,46         | 77,60         | 85,88         | 94,14         | 102,14        |
| 14,42                                     | 22,14         | 36,76         | 45,52         | 58,88         | 63,48         | 77,64         | 85,78         | 94,08         | 102,20        |

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 14,44 | 22,18 | 36,76 | 45,54 | 58,96 | 63,38 | 77,56 | 85,80 | 94,12 | 102,18 |
| 14,38 | 22,20 | 36,64 | 45,58 | 58,88 | 63,44 | 77,68 | 85,83 | 94,06 | 102,20 |
| 14,40 | 22,08 | 36,72 | 45,62 | 58,90 | 63,40 | 77,61 | 85,88 | 94,04 | 102,21 |
| 14,42 | 22,09 | 36,74 | 45,60 | 58,83 | 63,42 | 77,64 | 85,86 | 94,10 | 102,16 |
| 14,44 | 22,14 | 36,64 | 45,49 | 58,94 | 63,36 | 77,58 | 85,80 | 94,12 | 102,22 |
| 14,46 | 22,12 | 36,72 | 45,51 | 58,90 | 63,40 | 77,68 | 85,84 | 94,07 | 102,20 |
| 14,48 | 22,18 | 36,73 | 45,56 | 58,86 | 63,38 | 77,66 | 85,82 | 94,12 | 102,16 |
| 14,44 | 22,15 | 36,76 | 45,54 | 58,90 | 63,39 | 77,62 | 85,86 | 94,10 | 102,22 |
| 14,42 | 22,12 | 36,71 | 45,50 | 58,94 | 63,42 | 77,64 | 85,84 | 94,04 | 102,20 |
| 14,42 | 22,14 | 36,74 | 45,54 | 58,90 | 63,40 | 77,62 | 85,84 | 94,10 | 102,14 |

Таблица 10.6 – Исходные данные для выполнения практических работ  
(варианты 26 – 35)

| № варианта                                |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 26                                        | 27            | 28            | 29            | 30            | 31            | 32            | 33            | 34            | 35            |
| Доверительная ошибка (уровень значимости) |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| $q =$<br>0,20                             | $q =$<br>0,10 | $q =$<br>0,05 | $q =$<br>0,02 | $q =$<br>0,01 | $q =$<br>0,20 | $q =$<br>0,10 | $q =$<br>0,05 | $q =$<br>0,02 | $q =$<br>0,01 |
| Доверительная вероятность                 |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| $P =$<br>0,80                             | $P =$<br>0,90 | $P =$<br>0,95 | $P =$<br>0,98 | $P =$<br>0,99 | $P =$<br>0,80 | $P =$<br>0,90 | $P =$<br>0,95 | $P =$<br>0,98 | $P =$<br>0,99 |
| Значения результатов выборки              |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 23,82                                     | 34,44         | 48,38         | 5,41          | 3,22          | 4,35          | 6,03          | 7,53          | 8,27          | 9,77          |
| 23,88                                     | 34,46         | 48,40         | 5,42          | 3,24          | 4,48          | 6,05          | 7,55          | 8,37          | 9,78          |
| 23,84                                     | 34,48         | 48,52         | 5,46          | 3,32          | 4,41          | 6,17          | 7,67          | 8,28          | 9,92          |
| 23,92                                     | 34,48         | 48,46         | 5,49          | 3,30          | 4,44          | 6,11          | 7,61          | 8,37          | 9,85          |
| 23,90                                     | 34,52         | 48,50         | 5,46          | 3,36          | 4,43          | 6,14          | 7,57          | 8,29          | 9,90          |
| 23,96                                     | 34,51         | 48,44         | 5,44          | 3,27          | 4,50          | 6,16          | 7,62          | 8,35          | 9,89          |
| 23,88                                     | 34,60         | 48,50         | 5,46          | 3,30          | 4,36          | 6,12          | 7,60          | 8,39          | 9,80          |
| 23,90                                     | 34,58         | 48,42         | 5,45          | 3,25          | 4,42          | 6,06          | 7,65          | 8,32          | 9,84          |
| 23,95                                     | 34,57         | 48,46         | 5,48          | 3,38          | 4,43          | 6,11          | 7,67          | 8,36          | 9,87          |
| 23,90                                     | 34,52         | 48,54         | 5,46          | 3,32          | 4,46          | 6,10          | 7,69          | 8,34          | 9,87          |
| 23,98                                     | 34,52         | 48,52         | 5,46          | 3,29          | 4,51          | 6,08          | 7,65          | 8,43          | 9,93          |
| 23,84                                     | 34,54         | 48,42         | 5,40          | 3,30          | 4,37          | 6,19          | 7,58          | 8,30          | 9,90          |



|       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 23,86 | 34,52 | 48,46 | 5,54 | 3,33 | 4,43 | 6,12 | 7,60 | 8,34 | 9,84 |
| 23,91 | 34,50 | 48,40 | 5,52 | 3,26 | 4,41 | 6,16 | 7,60 | 8,35 | 9,85 |
| 23,94 | 34,52 | 48,44 | 5,44 | 3,34 | 4,43 | 6,11 | 7,63 | 8,30 | 9,88 |
| 23,96 | 34,54 | 48,52 | 5,50 | 3,31 | 4,44 | 6,15 | 7,61 | 8,34 | 9,82 |
| 23,90 | 34,58 | 48,46 | 5,52 | 3,36 | 4,38 | 6,08 | 7,62 | 8,35 | 9,86 |
| 23,86 | 34,52 | 48,50 | 5,44 | 3,31 | 4,43 | 6,15 | 7,64 | 8,36 | 9,85 |
| 23,92 | 34,56 | 48,48 | 5,44 | 3,35 | 4,38 | 6,10 | 7,61 | 8,41 | 9,82 |
| 23,94 | 34,56 | 48,46 | 5,45 | 3,33 | 4,46 | 6,14 | 7,60 | 8,40 | 9,88 |

# **11. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА ОТ ВРЕМЕНИ ТИПА $y = ax^2 + bx + c$ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и

проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Метод наименьших квадратов (МНК) — математический метод, применяемый для решения различных задач, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от искомых переменных. Он может использоваться для «решения» переопределенных систем уравнений (когда количество уравнений превышает количество неизвестных), для поиска решения в случае обычных (не переопределенных) нелинейных систем уравнений, для аппроксимации точечных значений некоторой функции. МНК является одним из базовых методов регрессионного анализа для оценки неизвестных параметров регрессионных моделей по выборочным данным.

Теоретическое уравнение регрессии  $Y$  на  $X$  будем искать в виде  $y = ax^2 + bx + c$ . Неизвестные параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  будем находить из системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} a\sum x_i^4 + b\sum x_i^3 + c\sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i \\ a\sum x_i^3 + b\sum x_i^2 + c\sum x_i = \sum x_i y_i \\ a\sum x_i^2 + b\sum x_i + cn = \sum y_i \end{cases} \quad (11.1)$$

## ПРИМЕР

Всего проходили испытание 20 машин. Результаты испытаний представлены в виде вариационного ряда: 3,36; 3,38; 3,39; 3,39; 3,40; 3,40; 3,40; 3,42; 3,42; 3,42; 3,42; 3,42; 3,44; 3,44; 3,44; 3,46; 3,46; 3,47; 3,48; 3,50.

Разобьем выборку на 5 интервалов и определим величину интервала:

$$R_n = \frac{a_{max} - a_{min}}{5} = \frac{3,50 - 3,36}{5} = 0,028$$

Занесем данные в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Результаты наблюдений

| № интервала        | 1            | 2             | 3             | 4             | 5            |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| $x$                | 3,36 – 3,388 | 3,388 – 3,416 | 3,416 – 3,444 | 3,444 – 3,472 | 3,472 – 3,50 |
| Середина интервала | 3,374        | 3,402         | 3,430         | 3,458         | 3,486        |
| Частота $m_i$      | 2            | 5             | 8             | 3             | 2            |

Таблица 11.2 – Данные для определения теоретической функции

|                          |   |    |    |     |     |
|--------------------------|---|----|----|-----|-----|
| $x$                      | 1 | 2  | 3  | 4   | 5   |
| $\sum x = 15$            |   |    |    |     |     |
| $y$                      | 2 | 5  | 8  | 3   | 2   |
| $\sum y = 20$            |   |    |    |     |     |
| $x^2$                    | 1 | 4  | 9  | 16  | 25  |
| $\sum x^2 = 55$          |   |    |    |     |     |
| $x^3$                    | 1 | 8  | 27 | 64  | 125 |
| $\sum x^3 = 225$         |   |    |    |     |     |
| $x^4$                    | 1 | 16 | 81 | 256 | 625 |
| $\sum x^4 = 979$         |   |    |    |     |     |
| $x \cdot y$              | 2 | 10 | 24 | 12  | 10  |
| $\sum x \cdot y = 58$    |   |    |    |     |     |
| $x^2 \cdot y$            | 2 | 20 | 72 | 48  | 50  |
| $\sum x^2 \cdot y = 192$ |   |    |    |     |     |

В результате получим систему:

$$\begin{cases} 979a + 225b + 55c = 192 \\ 225a + 55b + 15c = 58 \\ 55a + 15b + 5c = 20 \end{cases}$$

После решения системы определим коэффициенты:

$$\begin{cases} a = -1,1 \\ b = 6,4 \\ c = -3,1 \end{cases}$$

Получили теоретическое уравнение регрессии:

$$y = -1,1x^2 + 6,4x - 3,1.$$

Таблица 11.3 – Точки для построения опытной и теоретической кривых

| $x$   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $y_o$ | 2   | 5   | 8   | 3   | 2   |
| $y_m$ | 2,2 | 5,3 | 6,2 | 3,9 | 1,4 |

Как видно значения опытной и теоретической кривых различаются. Для оценки адекватности полученной формулы используем критерий Фишера.

1. Определить среднее арифметическое выборок:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (11.2)$$

где  $x_i$  –  $i$ -ое значение величины;

$n$  – количество значений.

Среднее арифметическое опытных значений:

$$\bar{X}_o = \frac{2+5+8+3+2}{5} = 4.$$

Среднее арифметическое теоретических значений:

$$\bar{X}_T = \frac{2,2+5,3+6,2+3,9+1,4}{5} = 3,8.$$

2. Определить выборочные дисперсии:

$$S^2 = \frac{1}{f} [\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2], \quad (11.3)$$

где  $f$  – число степеней свободы,  $f = n - 1$ .

Выборочная дисперсия опытных значений:

$$S_o^2 = \frac{(2-4)^2 + (5-4)^2 + (8-4)^2 + (3-4)^2 + (2-4)^2}{5-1} = 6,5.$$

Выборочная дисперсия теоретических значений:

$$S_T^2 = \frac{(2,2-3,8)^2 + (5,3-3,8)^2 + (6,2-3,8)^2 + (3,9-3,8)^2 + (1,4-3,8)^2}{5-1} = 3,84.$$

3. Определить расчетный критерий Фишера (в числителе должно быть большее значение  $S$ :  $S_1^2 > S_2^2$ ):

$$F_p = \frac{S_1^2}{S_2^2}. \quad (11.4)$$

Для нашего случая:  $F_p = \frac{S_O^2}{S_T^2} = \frac{6,5}{3,84} = 1,69$ .

4. По таблице 11.4 квантили распределения Фишера  $F$  определить допустимое значение критерия Фишера:  $F(f_1, f_2)$ .

Сделать вывод о подтверждении нулевой гипотезы по выполнению условия:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = F_p \leq F(f_1, f_2) = [F].$$

Для нашего случая:

$$f_1 = f_2 = 5 - 1 = 4.$$

По таблице 11.4 находим  $F(4, 4) = 6,39$ .

$$F_p = 1,69 < F(4, 4) = 6,39 - \text{условие выполняется.}$$

Строим опытную и теоретическую кривые (рисунок 11.1).

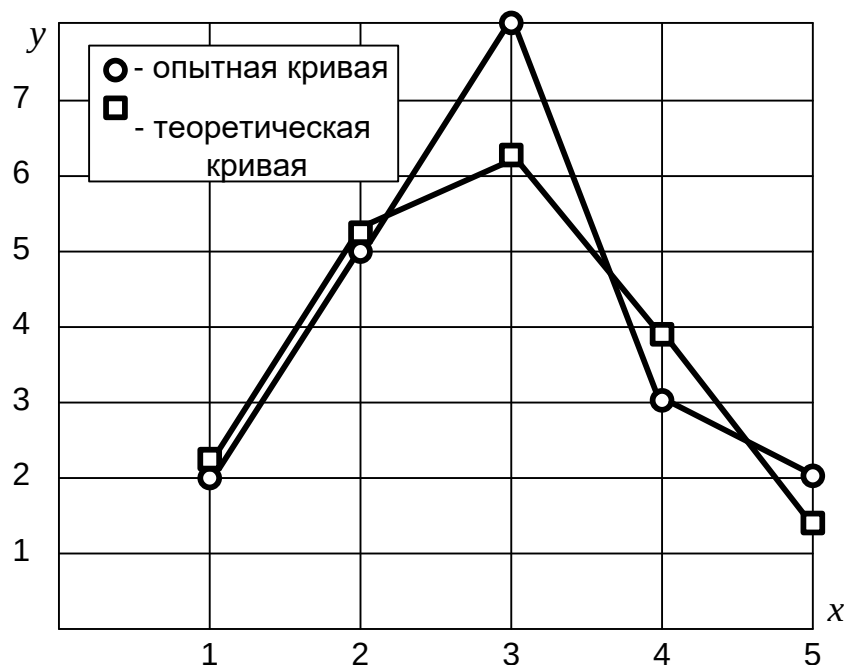


Рисунок 11.1 – Опытная и теоретическая кривые

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. На чем основан метод наименьших квадратов?
2. Какие принципы решения системы уравнений?
3. Область применения метода наименьших квадратов.
4. Что такое регрессионный анализ?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяк, Л. Н. Обработка результатов наблюдений : учеб. пособие / Л.Н.Третьяк. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.
2. Третьяк, Л. Н. Обработка прямых измерений с многократными наблюдениями : учеб. пособие / Л. Н. Третьяк. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2002. – 60 с.
3. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Изд-во Наука, 1968. – 288 с.

## **12. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОПАДАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА В ПРЕДЕЛЫ ПОЛУЧЕННОЙ ВЫБОРКИ**

### *Теоретическая часть*

1. Для вычисления статистических характеристик распределения предварительно заполнить вспомогательную таблицу 12.2 для вычисления среднего арифметического  $\bar{X}$  и среднего квадратического  $\sigma$  выборки.

5. Определить аргументы функции Лапласа по формулам:

$$Z_1 = \frac{H - \bar{X}}{\sigma}, \quad Z_2 = \frac{B - \bar{X}}{\sigma}. \quad (12.1)$$

где  $H$  и  $B$  – нижний и верхний пределы. Принимаем  $H = X_{\min}$ ,  $B = X_{\max}$ .

6. Определить вероятность попадания результатов измерений в поле допускаемых значений физической величины (значения  $\Phi(z)$  находятся по таблице 15.3) по формуле:

$$P(x_{\max} < x < x_{\min}) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1), \quad (12.2)$$

где  $\Phi(-z) = -\Phi(z)$ .

7. Сделать вывод.

### ПРИМЕР

Для примера используем исходные данные практической работы № 13.

Таблица 12.1 – Промежуточные значения интервального ряда

| №<br>п/п | Границы интервалов | Средины<br>интервалов $x_{io}$ | Частота<br>попадания в<br>интервалы $m_i$ | Статистическая<br>вероятность<br>(частость) $\hat{p}_i$ |
|----------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1        | 3,36 – 3,388       | 3,374                          | 2                                         | 0,10                                                    |
| 2        | 3,388 – 3,416      | 3,402                          | 5                                         | 0,25                                                    |
| 3        | 3,416 – 3,444      | 3,430                          | 8                                         | 0,40                                                    |
| 4        | 3,444 – 3,472      | 3,458                          | 3                                         | 0,15                                                    |
| 5        | 3,472 – 3,50       | 3,486                          | 2                                         | 0,10                                                    |
|          | $\Sigma$           |                                | 20                                        | 1,0                                                     |

Таблица 12.2 – Вспомогательная таблица

| Середина<br>интервала $X_i$ | Частость $m_i$ | $X_i \cdot m_i$ | $X_i - \bar{X}$ | $(X_i - \bar{X})^2$ | $m_i(X_i - \bar{X})^2$ |
|-----------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| 3,374                       | 0,10           | 0,3374          | -0,0532         | 0,0028              | 0,00028                |
| 3,402                       | 0,25           | 0,8505          | -0,0252         | 0,0006              | 0,00015                |
| 3,430                       | 0,40           | 1,372           | 0,0028          | 0,000008            | 0,000003               |
| 3,458                       | 0,15           | 0,5187          | 0,0308          | 0,0009              | 0,00014                |
| 3,486                       | 0,10           | 0,3486          | 0,0588          | 0,0035              | 0,00035                |
| $\bar{X} = \Sigma = 3,4272$ |                |                 |                 | $\Sigma = 0,000923$ |                        |

1. По полученным ранее результатам (середина интервала, частость) заполняем вспомогательную таблицу 12.2 для определения среднего арифметического  $\bar{X}$  и среднего квадратического  $\sigma$  значений результатов выборки, которые определяются соответственно как суммы третьего и шестого столбца:

$$\bar{X} = \sum X_i \cdot m_i = 3,4272;$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ m_i (X_i - \bar{X})^2 \right]} = \sqrt{0,000923} = 0,03.$$

2. Определяем аргументы функции Лапласа по формулам 12.1:

$$Z_1 = \frac{H - \bar{X}}{\sigma} = \frac{X_{\min} - \bar{X}}{\sigma} = \frac{3,36 - 3,4272}{0,03} = -2,24;$$

$$Z_2 = \frac{B - \bar{X}}{\sigma} = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{\sigma} = \frac{3,5 - 3,4272}{0,03} = 2,43.$$

3. Предварительно находим значения функции Лапласа из таблицы 12.3:

$$\Phi(z_1) = \Phi(-2,24) = -0,4878;$$

$$\Phi(z_2) = \Phi(2,43) = 0,4926.$$

Определяем вероятность попадания результатов величин износа в границы полученной при измерениях выборки по формуле 12.2:

$$P(x_{\min} < x < x_{\max}) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1) = \Phi(2,43) - \Phi(-2,24) = \Phi(2,43) + \Phi(2,24) = 0,4926 + 0,4878 = 0,9804.$$

7. Таким образом, вероятность получения величин износа в пределах границ выборки составляет 98,04 %.

Таблица 12.3 – Значения интегральной функции вероятности  $\Phi(z)$

| $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ | $z$  | $\Phi(z)$ |
|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| 0,01 | 0,0040    | 0,31 | 0,1217    | 0,72 | 0,2642    | 1,80 | 0,4641    |
| 0,02 | 0,0080    | 0,32 | 0,1255    | 0,74 | 0,2703    | 1,85 | 0,4672    |
| 0,03 | 0,0120    | 0,33 | 0,1293    | 0,76 | 0,2764    | 1,90 | 0,4713    |
| 0,04 | 0,0160    | 0,34 | 0,1331    | 0,78 | 0,2823    | 1,95 | 0,4744    |
| 0,05 | 0,0199    | 0,35 | 0,11368   | 0,80 | 0,2881    | 2,00 | 0,4772    |
| 0,06 | 0,0239    | 0,36 | 0,1406    | 0,82 | 0,2939    | 2,10 | 0,4821    |
| 0,07 | 0,0279    | 0,37 | 0,1443    | 0,84 | 0,2995    | 2,20 | 0,4861    |
| 0,08 | 0,0319    | 0,38 | 0,1480    | 0,86 | 0,3051    | 2,30 | 0,4893    |
| 0,09 | 0,0359    | 0,39 | 0,1517    | 0,88 | 0,3106    | 2,40 | 0,4918    |
| 0,10 | 0,0398    | 0,40 | 0,1554    | 0,90 | 0,3159    | 2,50 | 0,4938    |
| 0,11 | 0,0438    | 0,41 | 0,1591    | 0,92 | 0,3212    | 2,60 | 0,4853    |
| 0,12 | 0,0472    | 0,42 | 0,1628    | 0,94 | 0,3264    | 2,70 | 0,4965    |
| 0,13 | 0,0517    | 0,43 | 0,1664    | 0,96 | 0,3315    | 2,80 | 0,4974    |
| 0,14 | 0,0557    | 0,44 | 0,1700    | 0,98 | 0,3365    | 2,90 | 0,4981    |
| 0,15 | 0,0596    | 0,45 | 0,1736    | 1,00 | 0,3413    | 3,00 | 0,49865   |
| 0,16 | 0,0636    | 0,46 | 0,1772    | 1,05 | 0,3531    | 3,20 | 0,49931   |
| 0,17 | 0,0675    | 0,47 | 0,1808    | 1,10 | 0,3643    | 3,40 | 0,49966   |
| 0,18 | 0,0714    | 0,48 | 0,1844    | 1,15 | 0,3749    | 3,60 | 0,49984   |
| 0,19 | 0,0753    | 0,49 | 0,1879    | 1,20 | 0,3849    | 3,80 | 0,499928  |



|      |        |      |        |      |        |      |           |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|-----------|
| 0,20 | 0,0793 | 0,50 | 0,1915 | 1,25 | 0,3944 | 4,00 | 0,499968  |
| 0,21 | 0,0832 | 0,52 | 0,1985 | 1,30 | 0,4032 | 4,10 | 0,499972  |
| 0,22 | 0,0871 | 0,54 | 0,2054 | 1,35 | 0,4115 | 4,20 | 0,499978  |
| 0,23 | 0,0910 | 0,56 | 0,2123 | 1,40 | 0,4192 | 4,30 | 0,499982  |
| 0,24 | 0,0948 | 0,58 | 0,2190 | 1,45 | 0,4265 | 4,40 | 0,499986  |
| 0,25 | 0,0987 | 0,60 | 0,2257 | 1,50 | 0,4332 | 4,50 | 0,499997  |
| 0,26 | 0,1020 | 0,62 | 0,2324 | 1,55 | 0,4394 | 4,60 | 0,4999976 |
| 0,27 | 0,1064 | 0,64 | 0,2389 | 1,60 | 0,4452 | 4,70 | 0,4999984 |
| 0,28 | 0,1103 | 0,66 | 0,2454 | 1,65 | 0,4505 | 4,80 | 0,4999988 |
| 0,29 | 0,1141 | 0,68 | 0,2517 | 1,70 | 0,4554 | 4,90 | 0,4999992 |
| 0,30 | 0,1179 | 0,70 | 0,2580 | 1,75 | 0,4599 | 5,00 | 0,4999997 |

### **13. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13 РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТА СТАНКА**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению основ теории надежности.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
типовые расчеты основных показателей надежности.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов основных показателей надежности.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Недостаточная надежность машин и их деталей приводит к снижению производительности машин, их простоям, внеплановому ремонту, браку изготавливаемой продукции, аварии и, в конечном итоге, к большим экономическим потерям, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому надежности машин и их деталей уделяется самое большое внимание.

Надежность деталей машины зависит в основном от качества их изготовления и оттого, насколько режимы их работы по напряжениям, скоростям, температурам соответствуют условиям, принятым при расчетах и

проектировании. Поэтому расчеты и проектирование деталей машин должны наиболее точно отражать действительные условия работы и качество изготовления их должно быть достаточно высоким.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Одной из основных качественных характеристик надежности машин и их деталей является вероятность безотказной работы  $P(t)$ , т. е. то, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникает отказ машины или детали, плотность распределения отказов  $f(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .

Вероятность безотказной работы приближенно оценивают по формуле:

$$P(t) = 1 - \frac{N(t)}{N_i}, \quad (13.1)$$

где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы машины (детали) до момента времени или конца наработки  $t$ ;

$N(t)$  – число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки  $t$ ;

$N_i$  – число машин (деталей), подвергнутых испытанию.

Плотность распределения отказов  $f(t)$  приближенно оценивают по формуле:

$$f(t) = \frac{\Delta N(t_i) \cdot \Delta t_{\min}}{N_i \cdot \Delta t_i}, \quad (13.2)$$

где  $\Delta N(t_i)$  – число отказавших машин (деталей) в промежуток времени  $\Delta t_i$ ;

$\Delta t_{\min}$  – минимальный промежуток времени.

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  приближенно оценивают по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N(t_i) \cdot \Delta t_{\min}}{N_u \cdot \Delta t_i}, \quad (13.3)$$

где  $N_u$  – число исправных машин (деталей) в данный момент.

Исходные данные для выполнения работы приведены в таблице 13.2.

### Пример выполнения работы.

Исходные данные для выполнения задания приведены в таблице 13.1

Таблица 13.1 – Исходные данные

| Данные        | № варианта |        |          |               |                         |                           |                      |        |          |       |
|---------------|------------|--------|----------|---------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|--------|----------|-------|
|               | 1          | 2      | 3        | 4             | 5                       | 6                         | 7                    | 8      | 9        | 10    |
| Модель станка | 1Е165П     | 1М10В  | 1Б225-6К | 1Б284         | 1Г325П                  | 1516Ф1                    | 16Б16А               | 1Б732  | 2Н135    | 2М57  |
| Грунт         | Скальные   | Галька | Гравий   | Пески крупные | Пески средней крупности | Пески мелкие, маловлажные | Пески мелкие с водой | Супеси | Суглинки | Глины |

| Данные        | № варианта |        |           |               |                         |                           |                      |        |          |       |
|---------------|------------|--------|-----------|---------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|--------|----------|-------|
|               | 11         | 12     | 13        | 14            | 15                      | 16                        | 17                   | 18     | 19       | 20    |
| Модель станка | 2Д450      | 2636Ф1 | 2204ВМ Ф4 | 2Е78П         | 3М150                   | 3Д180                     | 3К229В               | 3Д754  | 5304В    | 5Т23В |
| Грунт         | Скальные   | Галька | Гравий    | Пески крупные | Пески средней крупности | Пески мелкие, маловлажные | Пески мелкие с водой | Супеси | Суглинки | Глины |

Исходные данные: модель станка 6С12, грунт – скальный.

1. Расчет фундамента состоит в определении его геометрических размеров, обеспечивающих нагрузку на грунт в пределах допускаемого предельного давления как при статической, так и при динамической нагрузках. При этом динамическая составляющая нагрузки учитывается введением специального коэффициента  $\alpha$  в формулу для статического расчета давления подошвы фундамента на основание. Определяем фактическое давление станка вместе с фундаментом на грунт:

$$P = 10^{-3} \cdot \frac{G_M + G_\Phi}{\alpha \cdot F} \leq R_H [\text{МПа}] \quad (13.1)$$

где  $P$  – фактическое давление на грунт, МПа;

$G_M$  – вес станка, кН;

$G_\Phi$  – вес фундамента, кН;

$F$  – площадь основания фундамента, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий динамическую составляющую нагрузки на фундамент. Величина коэффициента для консольно-фрезерного вертикального станка модели 6С12:  $\alpha = 0.5$  (таблица 13.3).

$R_H$  - допускаемое давление на грунт, МПа. Для скального грунта  $R_H = 0,6$  МПа (таблица 13.2).

Таблица 13.2 – Допускаемое удельное давление на различные грунты

| Грунт                     | Допускаемое удельное давление на различные грунты |
|---------------------------|---------------------------------------------------|
| Скальные                  | 0,6                                               |
| Галька                    | 0,6                                               |
| Гравий                    | 0,5                                               |
| Пески крупные             | 0,4 – 0,5                                         |
| Пески средней крупности   | 0,3 – 0,4                                         |
| Пески мелкие, маловлажные | 0,2 – 0,3                                         |
| Пески мелкие с водой      | 0,1 – 0,2                                         |
| Супеси                    | 0,1 – 0,3                                         |
| Суглинки                  | 0,1 – 0,3                                         |
| Глины                     | 0,1                                               |

## 2. Определение веса станка:

$$G_M = m_{\text{ст}} \cdot g, \quad (13.2)$$

где  $m_{\text{ст}}$  – масса станка (по паспорту для модели 6С12  $m_{\text{ст}} = 2280$  кг);

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>.

$$G_M = 2280 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 22,3 \text{ кН}$$

3. При определении площади подошвы фундамента размеры принимают в зависимости от габаритов рамы или станины с добавлением со всех сторон 0,1...0,15 м. Для модели 6С12 габаритные размеры имеют значения: длина  $L = 3,19$  м, ширина  $S = 1,65$  м. Таким образом, получаем:

$$F = L \cdot S = (3,19 + 0,1) \cdot (1,65 + 0,1) = 5,8 \text{ м}^2.$$

## 8. Расчет объема фундамента:

$$V = F \cdot H, \quad (13.3)$$

где  $H$  – общая высота фундамента, м.

Глубина заложения фундамента в землю в общем случае зависит от уровня грунтовых вод, состояния и глубины промерзания грунта и т.д.

В зависимости от группы станка определяем  $H$  по формуле, указанной в таблице 13.3.

Таблица 13.3 – Высота фундаментов  $H$  под металлорежущие станки нормальной и повышенной точности

| Виды станков                                | Высота фундамента $H$ , м | Коэффициент, учитывающий динамическую составляющую нагрузки на фундамент $\alpha$ |
|---------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Токарные, протяжные, строгальные, фрезерные | $0,3\sqrt{L}$             | 0,5                                                                               |
| Шлифовальные                                | $0,2\sqrt{L}$             | 0,6                                                                               |
| Зуборезные, расточные                       | $0,6\sqrt{L}$             | 0,7                                                                               |
| Сверлильные                                 | 1,0                       | 0,8                                                                               |
| Долбежные                                   | 1,4                       | 1,0                                                                               |

$$H = 0,3\sqrt{L} = 0,3\sqrt{3,29} = 0,5 \text{ м}$$

$$V = 5,8 \cdot 0,5 = 2,9 \text{ м}^3.$$

5. Расчет веса фундамента:

$$G_{\Phi} = V \cdot \rho_{\Phi}, \quad (13.4)$$

где  $\rho_{\Phi}$  – плотность фундамента. Принимаем  $\rho_{\Phi} = 2000 \text{ кг/м}^3$ .

$$G_{\Phi} = 2,9 \cdot 2000 = 5,8 \text{ кН}.$$

6. Производим проверку по условию 13.1:

$$P = \frac{22,3 + 5,8}{0,5 \cdot 5,8} \cdot 10^{-3} = 0,08 \leq R_H = 0,6 - \text{условие выполнено.}$$

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется вероятность безотказной работы машины (детали)?
2. Как определяется плотность распределения отказов?
3. Как определяется интенсивность отказов?
4. Как определяется число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.

2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

#### **14. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14 РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ БОЛТОВ СТАНКА**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению расчета фундаментных болтов станка.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты фундаментных болтов станка.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов фундаментных болтов станка.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Монтаж оборудования – это процесс его сборки и установки. Он состоит из подготовки, монтажа, определённых действий специалистов по его запуску, изучению документации, обучению технического состава. От этого зависит насколько надёжно, долговечно и качественно будет работать установка. При установке часто приходится решать трудные задачи. Чтобы решить их верно, нужны опыт и знания, которыми обладают высококвалифицированные специалисты.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Диаметр и число болтов выбирают по рекомендациям при выборе станка. Координаты болтов уточняются из паспортных данных станка (рисунок 14.1). В этом случае болтовое соединение включает группу

неравномерно нагруженных болтов, установленных с зазором. При расчете определяется нагрузка наиболее загруженного болта и все остальные болты данной группы принимают такими же.

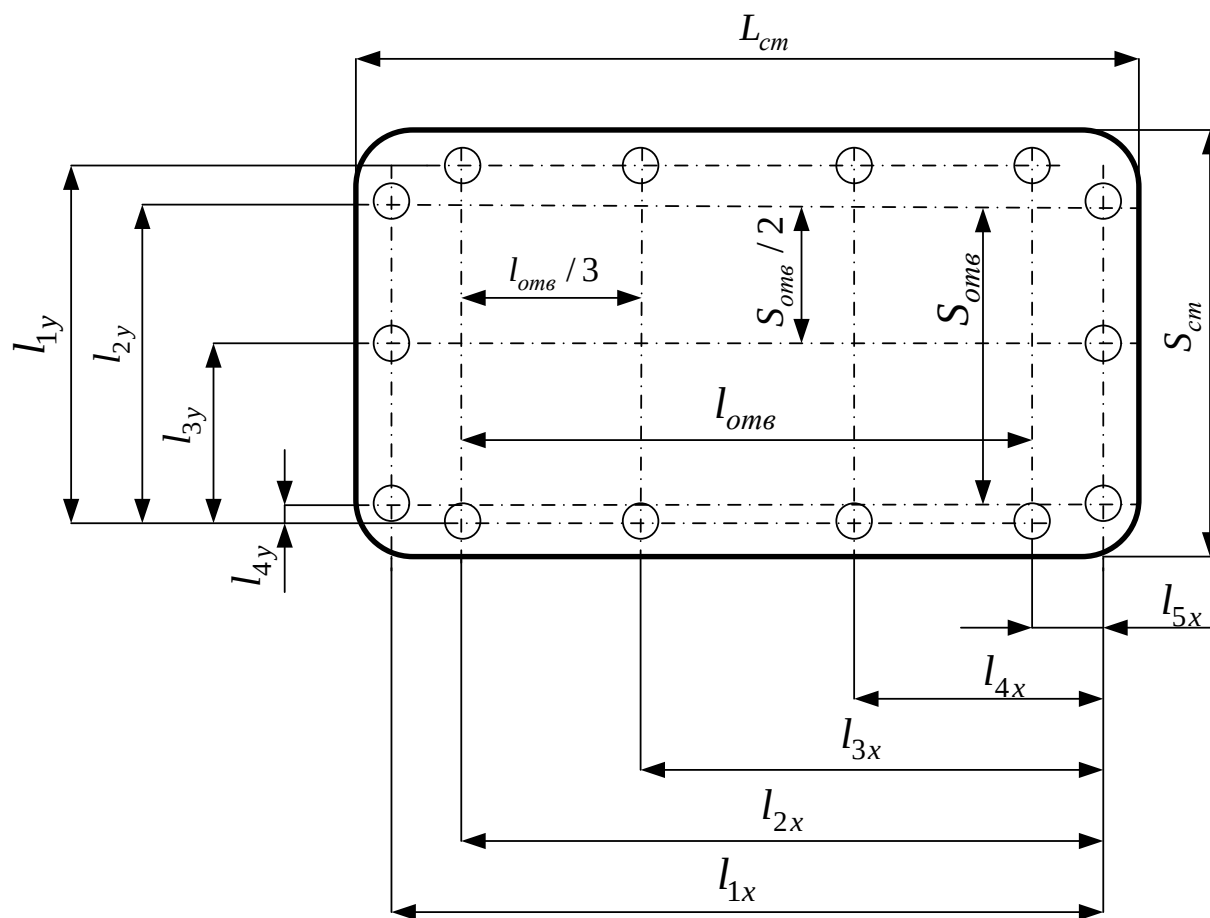


Рисунок 14.1 – Схема расположения фундаментных болтов станка

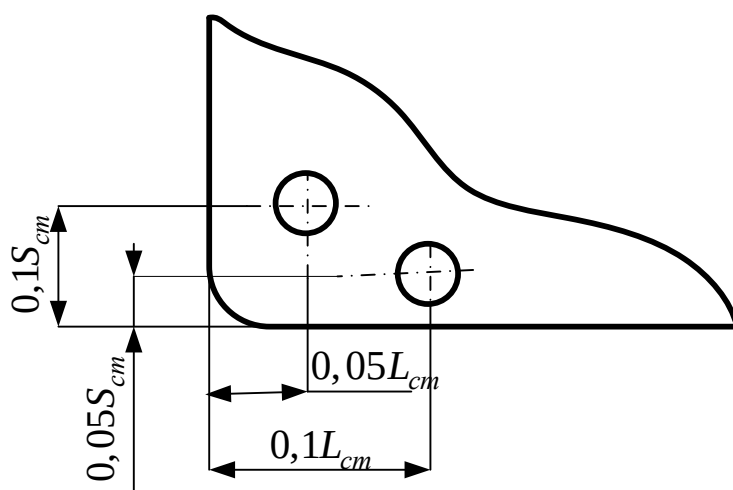


Рисунок 14.2 – Привязка координат отверстий под фундаментные болты и габаритов станка

### Пример выполнения работы.

Исходные данные: модель станка 6С12.

Для модели 6С12 габаритные размеры имеют значения: длина  $L_{cm} = 3,19$  м, ширина  $S_{cm} = 1,65$  м.

#### 1. Расчет конструктивных размеров (рисунки 14.1, 14.2):

по длине:

$$\begin{aligned}- l_{отв} &= L_{ст} - 2 \cdot 0,1 \cdot L_{ст} = 3,19 - 0,638 = 2,552 \text{ м}; \\- l_{1x} &= L_{ст} - 2 \cdot 0,05 \cdot L_{ст} = 3,19 - 0,319 = 2,871 \text{ м}; \\- l_{2x} &= L_{ст} - 0,1 \cdot L_{ст} - 0,05 \cdot L_{ст} = 3,19 - 0,319 - 0,16 = 2,711 \text{ м}; \\- l_{3x} &= l_{2x} - \frac{l_{отв}}{3} = 2,711 - \frac{2,552}{3} = 2,711 - 0,85 = 1,861 \text{ м}; \\- l_{4x} &= l_{3x} - \frac{l_{отв}}{3} = 1,861 - \frac{2,552}{3} = 1,861 - 0,85 = 1,011 \text{ м}; \\- l_{5x} &= l_{4x} - \frac{l_{отв}}{3} = 1,011 - \frac{2,552}{3} = 1,011 - 0,85 = 0,161 \text{ м}.\end{aligned}$$

по ширине:

$$\begin{aligned}- S_{отв} &= S_{ст} - 2 \cdot 0,1 \cdot S_{ст} = 1,65 - 0,33 = 1,32 \text{ м}; \\- l_{1y} &= S_{ст} - 2 \cdot 0,05 \cdot S_{ст} = 1,65 - 0,165 = 1,485 \text{ м}; \\- l_{2y} &= S_{ст} - 0,1 \cdot S_{ст} - 0,05 \cdot S_{ст} = 1,65 - 0,165 = 1,402 \text{ м}; \\- l_{3y} &= l_{2y} - \frac{S_{отв}}{2} = 1,402 - \frac{1,32}{2} = 1,402 - 0,66 = 0,742 \text{ м}; \\- l_{4y} &= l_{3y} - \frac{S_{отв}}{3} = 0,742 - \frac{1,32}{2} = 0,742 - 0,66 = 0,082 \text{ м}.\end{aligned}$$

#### 2. Определение крутящих моментов, действующих на фундаментные болты:

Вначале по паспорту станка определяем мощность электродвигателя главного привода станка  $N_{гл.пр.} = 5,5$  кВт с числом оборотов  $n_{гл.пр.} = 1450$  мин<sup>-1</sup> и минимальной частотой вращения шпинделя  $n_{min} = 31,5$  мин<sup>-1</sup>.

- на быстроходном валу:

$$T_B = 9550 \frac{N_{гл.пр.}}{n_{гл.пр.}} = 9550 \frac{5,5}{1450} = 36,2 \text{ Н·м};$$

- на тихоходном валу:

$$T_T = 9550 \cdot \eta \frac{N_{гл.пр.}}{n_{шп}} = 9550 \cdot 0,7 \frac{5,5}{31,5} = 1167,2 \text{ Н·м};$$



- момент от силы тяжести станка ( $G_M$  – вес станка;  $G_M = 22300$  Н (практическая работа №13)):

$$T_G = \frac{G_M}{n_{\text{г.л.пр.}}} \left( \frac{l_{4x} - l_{5x}}{2} + l_{5x} \right) = \frac{22300}{1450} \left( \frac{1,011 - 0,161}{2} + 0,161 \right) = 9 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- суммарный момент:

$$T_{\Sigma} = T_B + T_T + T_G = 36,2 + 1167,2 + 9 = 1212,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

3. Расчет нагрузки на наиболее нагруженный болт:

- по длине:

$$Q_x = \frac{T_{\Sigma} \cdot l_{1x}}{l_{2x} + l_{3x} + l_{4x} + l_{5x}} = \frac{1212,4 \cdot 2,871}{2,711 + 1,861 + 1,011 + 0,161} = \frac{3481}{5,7} = 611 \text{ Н}.$$

- по ширине:

$$Q_y = \frac{T_{\Sigma} \cdot l_{1y}}{l_{2y} + l_{3y} + l_{4y}} = \frac{1212,4 \cdot 1,485}{1,402 + 0,742 + 0,082} = \frac{1800,4}{2,2} = 818 \text{ Н}.$$

- суммарная нагрузка:

$$Q = Q_x + Q_y = 611 + 818 = 1429 \text{ Н}.$$

8. Определение расчетного осевого усилия:

$$Q_p = 1,3 \cdot k \cdot Q = 1,3 \cdot 3 \cdot 1429 = 5573 \text{ Н}.$$

где  $k$  – коэффициент запаса плотности стыка;  $k=1,25...1,5$  - при постоянной нагрузке;  $k = 2...4$  - при переменной нагрузке. Принимаем  $k = 3$ .

5. Расчет диаметра фундаментного болта:

$$d \geq \sqrt{\frac{4Q_p}{\pi[\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5573}{\pi \cdot 145}} = \sqrt{\frac{22292}{455}} = 7,0 \text{ мм}.$$

где  $[\sigma_p]$  – допускаемое сопротивление металла растяжению, МПа. Для стали ВСт3пс2  $[\sigma_p] = 145$  МПа.

Принимаем минимальный диаметр по ГОСТ 24379.1-2012:  $d = 12$  мм.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется вероятность безотказной работы машины (детали)?
2. Как определяется плотность распределения отказов?
3. Как определяется интенсивность отказов?
4. Как определяется число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.
2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

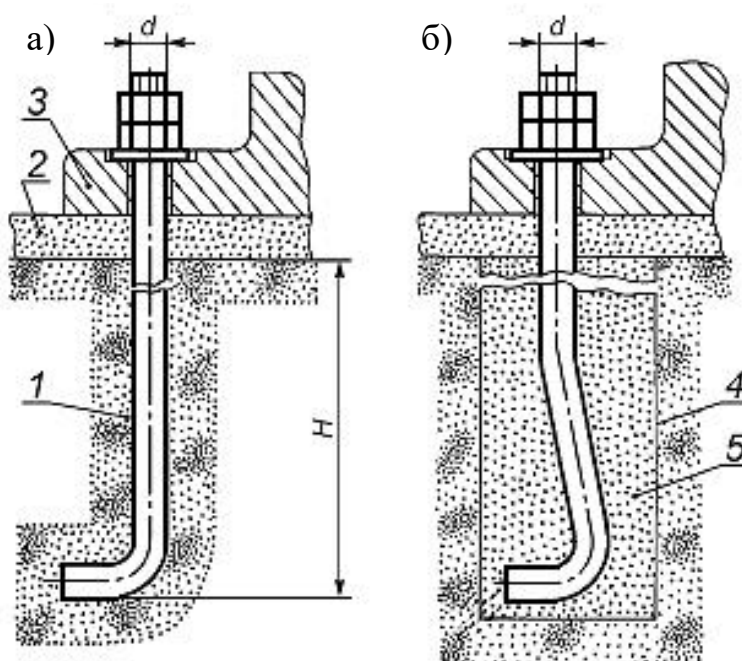


Рисунок 14.3 – Эскиз фундаментного болта ГОСТ 24379.1-2012: 1 – фундамент; 2 – подливка; 3 – оборудование или строительная конструкция; 4 – колодец; 5 – бетон на мелком заполнителе

## **15. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №15 РАСЧЕТ ДИАМЕТРА ИЗОГНУТОГО БОЛТА ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ СТАНКА И ГЛУБИНЫ ЕГО ЗАДЕЛКИ В БЕТОН**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению расчета фундаментных болтов станка.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
 типовые расчеты фундаментных болтов станка.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:**  
 пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов фундаментных болтов станка.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Монтаж оборудования – это процесс его сборки и установки. Он состоит из подготовки, монтажа, определённых действий специалистов по его запуску, изучению документации, обучению технического состава. От этого зависит насколько надёжно, долговечно и качественно будет работать установка. При установке часто приходится решать трудные задачи. Чтобы решить их верно, нужны опыт и знания, которыми обладают высококвалифицированные специалисты.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Фундаментный болт — крепёжное изделие в виде прута с резьбовой частью на одном конце, и специального приспособления, удерживающего фундаментный болт внутри фундамента, предназначенное для крепления строительных конструкций и оборудования по принципу анкерного болта. Фундаментные болты в значительной степени используются на всех типах строительства, от стандартного здания до дамб и атомных электростанций. Обеспечивают надёжное крепление только к прочным, нехрупким и неэластичным основаниям.

### Пример выполнения работы.

Определим диаметр изогнутого болта для крепления оборудования (рисунок 15.1).

1. Площадь поперечного сечения болтов (по резьбе) должна определяется из условия прочности по формуле:

$$A_{sa} = k_o \frac{Q_p}{[\sigma_p]}, \quad (15.1)$$

где  $Q_p$  – расчетное осевое усилие, Н.  $Q_p = 5573$  Н (практическая работа №14);

$k_o$  – коэффициент, зависящий от вида нагружения ( $k_o = 1,35$  для динамических нагрузок);

$[\sigma_p]$  – допускаемое сопротивление металла растяжению, МПа. Для стали ВСт3пс2  $[\sigma_p] = 145$  МПа.

$$A_{sa} = 1,35 \frac{5573}{145 \cdot 10^6} = 52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 0,52 \text{ см}^2.$$

По таблице 15.1 выбираем болт с диаметром резьбы М10 ( $A_{sa} = 0,571 \text{ см}^2$ ).

Таблице 15.1 – Расчетные площади поперечных сечений болтов (по резьбе) в зависимости от их диаметра

| Диаметр резьбы болтов $d$                                                       | М10   | М12   | М16  | М20  | М24  | М30  | М36  | М42  | М48   |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Расчетная площадь поперечного сечения болтов по резьбе $A_{sa}$ , $\text{см}^2$ | 0,571 | 0,842 | 1,57 | 2,45 | 3,52 | 5,60 | 8,26 | 11,2 | 19,72 |

2. Проверяем принятую площадь сечения болта на выносливость:

$$A_{sa} = 1,8 \cdot c \cdot m \cdot k_o \frac{Q_p}{a \cdot [\sigma_p]}, \quad (15.2)$$

где  $c$  – коэффициент нагрузки:  $c = 0,4$  (ГОСТ 24379.1-2012);

$m$  – коэффициент, учитывающий масштабный фактор (таблица 15.2).

Для болта с диаметром резьбы М10  $m = 0,9$ ;

$a$  – коэффициент, учитывающий число циклов нагружения. По таблице 15.3 находим  $a = 1,25$ .

$$A_{sa} = 1,8 \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1,35 \frac{5573}{1,25 \cdot 145 \cdot 10^6} = 0,27 \text{ см}^2.$$

Принятая площадь сечения болта удовлетворяет требованиям прочности и выносливости.

3. Усилие предварительной затяжки болтов:

$$F = 1,1 Q_p = 1,1 \cdot 5573 = 6130 \text{ Н}.$$

Таблице 15.2 – Значения коэффициента  $m$ 

|                   |       |    |       |       |       |       |       |         |     |
|-------------------|-------|----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-----|
| Диаметр болта, мм | 10-12 | 16 | 20-24 | 30-36 | 42-48 | 56-72 | 80-90 | 100-125 | 140 |
| $m$               | 0,9   | 1  | 1,1   | 1,3   | 1,6   | 1,8   | 2     | 2,2     | 2,5 |

Таблице 15.3 – Значения коэффициента  $a$ 

|                         |                    |                   |                   |                 |                         |
|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|
| Вариант                 | 1, 6, 11, 16       | 2, 7, 12, 17      | 3, 8, 13, 18      | 4, 9, 14, 19    | 5, 10, 15, 20           |
| Число циклов нагружения | $0,05 \times 10^6$ | $0,2 \times 10^6$ | $0,8 \times 10^6$ | $2 \times 10^6$ | $5 \times 10^6$ и более |
| $a$                     | 3,15               | 2,25              | 1,57              | 1,25            | 4                       |

8. Глубина заделки болтов в бетон:

$$H_o = 0,03 \cdot H \cdot m_1 \cdot m_2, \quad (15.3)$$

где  $H$  – минимальная глубина заделки болтов из стали марки ВСтЗкп2. Принимаем  $H = 25$  (ГОСТ 24379.1-2012);

$m_1$  – отношение расчетного сопротивления растяжения бетона класса В12,5 ( $R_{B12,5} = 7,3$  МПа) к расчетному сопротивлению бетона принятого класса (таблица 15.4). Принимаем  $m_1 = \frac{R_{B12,5}}{R_{B10}} = \frac{7,3}{5,8} = 1,26$ ;

$m_2$  – отношение расчетного сопротивления растяжению металла болтов принятой марки стали к расчетному сопротивлению растяжению стали марки ВСтЗкп2. Принимаем  $m_2 = 1$ .

$$H_o = 0,03 \cdot 25 \cdot 1,26 \cdot 1 = 0,945 \text{ м} = 945 \text{ мм}.$$

5. Сделать эскиз заделки фундаментного болта с полученными размерами (рисунок 15.1).

Таблице 15.4 – Расчетное сопротивление бетона  $R_B$ 

|              |              |              |              |              |               |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Вариант      | 1, 6, 11, 16 | 2, 7, 12, 17 | 3, 8, 13, 18 | 4, 9, 14, 19 | 5, 10, 15, 20 |
| Класс бетона | B10          | B15          | B20          | B25          | B30           |
| $R_B$ , МПа  | 5,8          | 8,7          | 11,5         | 14,5         | 17            |

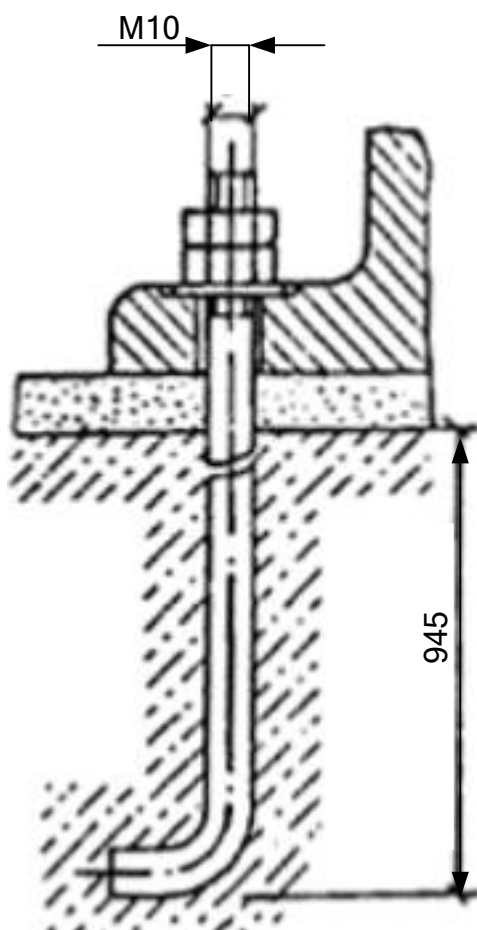


Рисунок 15.1 – Эскиз заделки фундаментного болта

#### **16. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №16 ОПРЕДЕЛИТЬ ДИАМЕТР ФУНДАМЕНТНОГО БОЛТА С АНКЕРНОЙ ПЛИТОЙ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ СТАНКА**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению расчета фундаментных болтов станка.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты фундаментных болтов станка.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов фундаментных болтов станка.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Монтаж оборудования – это процесс его сборки и установки. Он состоит из подготовки, монтажа, определённых действий специалистов по его запуску, изучению документации, обучению технического состава. От этого зависит насколько надёжно, долговечно и качественно будет работать установка. При установке часто приходится решать трудные задачи. Чтобы решить их верно, нужны опыт и знания, которыми обладают высококвалифицированные специалисты.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Фундаментный болт — крепёжное изделие в виде прута с резьбовой частью на одном конце, и специального приспособления, удерживающего фундаментный болт внутри фундамента, предназначенное для крепления строительных конструкций и оборудования по принципу анкерного болта. Фундаментные болты в значительной степени используются на всех типах строительства, от стандартного здания до дамб и атомных электростанций. Обеспечивают надёжное крепление только к прочным, нехрупким и неэластичным основаниям.

### Пример выполнения работы.

Определить диаметр болта с анкерной плитой (рисунок 16.1) в сдвигоустойчивом соединении и глубину его заделки в бетон.

Из предыдущих расчетов известно:

- расчетная статическая нагрузка на болт:  $G_{\Sigma} = G_M + G_{\Phi} = 22,3 + 5,8 = 28,1$  кН (практическая работа №13);
- количество болтов  $n = 14$  (рисунок 14.1);
- расчетное осевое усилие:  $Q_p = 5573$  Н (практическая работа №14);
- вес станка:  $G_M = 22,3$  кН (практическая работа №13);
- класс бетона фундамента В12,5 (практическая работа №15);
- марку стали для болтов принимаем ВСт3пс2 (ГОСТ 24379.1-2012), для которой допускаемое сопротивление металла растяжению  $[\sigma_p] = 145$  МПа.

1. При совместном действии вертикальных и горизонтальных (сдвигающих) сил площадь поперечного сечения болта по резьбе определяется по формуле:

$$A_{sa} = \frac{k \cdot k_o \cdot G_M + F_1}{[\sigma_p]}, \quad (16.1)$$

где  $k$  – коэффициент стабильности затяжки:  $k = 1,9$  (ГОСТ 24379.1-2012);

$k_o$  – коэффициент, зависящий от вида нагружения ( $k_o = 1,35$  для динамических нагрузок);

$F_1$  – величину усилия предварительной затяжки болтов. Для восприятия горизонтальных (сдвигающих) усилий:

$$F_1 = \frac{k(Q_p - G_M f)}{n \cdot f}, \quad (16.2)$$

где  $f$  – коэффициент трения. Для пары трения «сталь-бетон» принимаем  $f = 0,15$ .

$$F_1 = \frac{1,9(5573 - 22300 \cdot 0,15)}{14 \cdot 0,15} = 2,0 \text{ кН.}$$

$$A_{sa} = \frac{1,9 \cdot 1,35 \cdot 28,1 + 2}{145 \cdot 10^3} = 0,00051 \text{ м}^2 = 5,1 \text{ см}^2.$$

По таблице 3.1 принимаем болт с диаметром резьбы М30 ( $A_{sa} = 5,6 \text{ см}^2$ ).

2. Требуемое усилие предварительной затяжки болтов определяем по формуле:

$$F_o = 0,75 G_{\Sigma} + F_1 = 0,75 \cdot 28,1 + 2 = 23 \text{ кН.}$$

3. Глубину заделки болтов в бетон определяем по формуле:

$$H_o = 0,042 \cdot H \cdot m_1 \cdot m_2, \quad (16.3)$$

где  $H$  – минимальная глубина заделки болтов из стали марки ВСт3кп2. Принимаем  $H = 15$  (ГОСТ 24379.1-2012);

$m_1$  – отношение расчетного сопротивления растяжения бетона класса В12,5 ( $R_{B12,5} = 7,3$  МПа) к расчетному сопротивлению бетона принятого класса

(таблица 3.4). Принимаем  $m_1 = \frac{R_{B12,5}}{R_{B12,5}} = \frac{7,3}{7,3} = 1,0$ ;



$m_2$  — отношение расчетного сопротивления растяжению металла болтов принятой марки стали к расчетному сопротивлению растяжению стали марки ВСт3кп2. Принимаем  $m_2 = 1$ .

$$H_o = 0,042 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 1 = 0,63 \text{ м.}$$

8. Сделать эскиз заделки фундаментного болта с полученными размерами (рисунок 16.1).

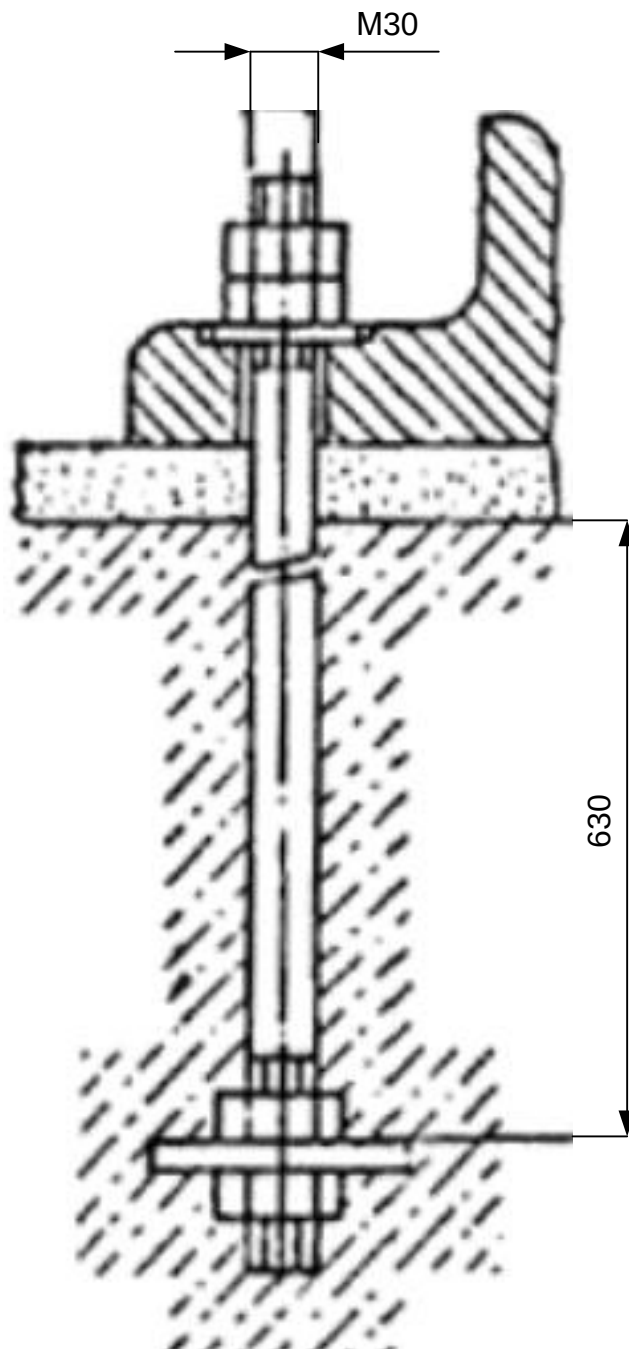


Рисунок 16.1 – Эскиз заделки фундаментного болта с анкерной плитой

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется вероятность безотказной работы машины (детали)?
2. Как определяется плотность распределения отказов?
3. Как определяется интенсивность отказов?
4. Как определяется число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки?

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.
2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

### **17. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №17 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ НА БОЛТ И ДИАМЕТРА БОЛТА С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ СДВИГАЮЩЕЙ СИЛЫ**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению расчета фундаментных болтов станка.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты фундаментных болтов станка.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов фундаментных болтов станка.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Монтаж оборудования – это процесс его сборки и установки. Он состоит из подготовки, монтажа, определённых действий специалистов по его запуску, изучению документации, обучению технического состава. От этого зависит насколько надёжно, долговечно и качественно будет работать установка. При установке часто приходится

решать трудные задачи. Чтобы решить их верно, нужны опыт и знания, которыми обладают высококвалифицированные специалисты.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Фундаментный болт — крепёжное изделие в виде прута с резьбовой частью на одном конце, и специального приспособления, удерживающего фундаментный болт внутри фундамента, предназначенное для крепления строительных конструкций и оборудования по принципу анкерного болта. Фундаментные болты в значительной степени используются на всех типах строительства, от стандартного здания до дамб и атомных электростанций. Обеспечивают надёжное крепление только к прочным, нехрупким и неэластичным основаниям.

### Пример выполнения работы.

Данные из предыдущих практических работ:

- расчетная статическая нагрузка на болт:  $G_{\Sigma} = G_M + G_{\Phi} = 22,3 + 5,8 = 28,1$  кН (практическая работа №13);

- расчетное осевое усилие:  $Q_p = 5573$  Н (практическая работа №14);

- вес станка:  $G_M = 22,3$  кН (практическая работа №13);

- максимальное межосевое расстояние между болтами по длине станка  $l_{1x} = 2,871$  м (практическая работа №14);

- максимальное межосевое расстояние между болтами по ширине станка  $l_{1y} = 1,485$  м (практическая работа №14);

- количество болтов  $n = 14$  (рисунок 14.1);

- бетон класса В12,5 ( $R_{B12,5} = 7,3$  МПа);

- марку стали для болтов принимаем ВСт3пс2 (ГОСТ 24379.1-2012), для которой допускаемое сопротивление металла растяжению  $[\sigma_p] = 145$  МПа.

1. Расчетный опрокидывающий момент от оборудования:

$$M = G_{\Sigma} \cdot l_{1x} = 28,1 \cdot 2,871 = 81 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

2. Расчетную нагрузку, приходящуюся на один растянутый болт, определяем по формуле:

$$P = \frac{M - G_M}{n} = \frac{81 - 22,3}{14} = 4,2 \text{ кН.}$$

3. Определяем требуемую площадь сечения одного болта (по резьбе):

$$A_{sa} = \frac{k_o \cdot P}{[\sigma_p]} = \frac{1,35 \cdot 4,2}{1,45 \cdot 10^5} = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 = 0,39 \text{ см}^2.$$

где  $k_o$  – коэффициент, зависящий от вида нагружения ( $k_o = 1,35$  для динамических нагрузок).

По таблице 15.1 принимаем болт с диаметром резьбы М10 ( $A_{sa} = 0,571 \text{ см}^2$ ).

8. Глубину заделки болтов в бетон определяем по формуле:

$$H_o = H \cdot d \cdot m_1 \cdot m_2, \quad (17.1)$$

где  $H$  – минимальная глубина заделки болтов из стали марки ВСт3кп2. Принимаем  $H = 15$  (ГОСТ 24379.1-2012);

$m_1$  – отношение расчетного сопротивления растяжения бетона класса В12,5 ( $R_{B12,5} = 7,3$  МПа) к расчетному сопротивлению бетона принятого класса (таблица 15.4). Принимаем  $m_1 = \frac{R_{B12,5}}{R_{B12,5}} = \frac{7,3}{7,3} = 1,0$ ;

$m_2$  – отношение расчетного сопротивления растяжению металла болтов принятой марки стали к расчетному сопротивлению растяжению стали марки ВСт3кп2. Принимаем  $m_2 = 1$ .

$$H_o = 15 \cdot 0,01 \cdot 1 \cdot 1 = 0,15 \text{ м.}$$

5. Проверяем возможность восприятия сдвигающей силы в плоскости сопряжения базы колонны с фундаментом по формуле:

$$\theta = f \frac{M + G_{\Sigma}(l_{1x} - l_{1y})}{l_{1x}}, \quad (17.2)$$

где  $f$  – коэффициент трения. Для пары трения «сталь-бетон» принимаем  $f = 0,15$ .

$$\theta = 0,15 \frac{81 + 28,1(2,871 - 1,485)}{2,871} = 6,3 \text{ кН} \leq Q_p = 5,573 \text{ кН} \quad \text{— условие}$$

выполнено.

6. Сделать эскиз заделки фундаментного болта с полученными размерами (рисунок 17.1).

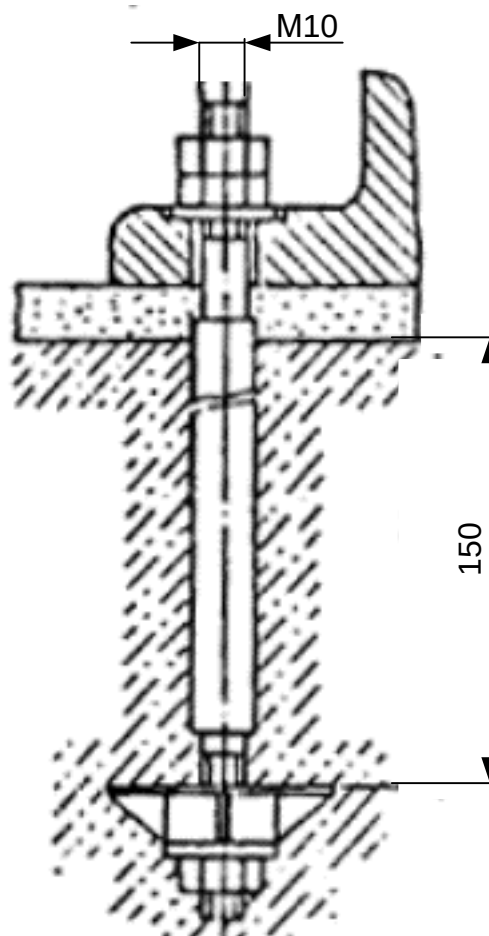


Рисунок 17.1 – Эскиз заделки фундаментного болта

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется вероятность безотказной работы машины (детали)?
2. Как определяется плотность распределения отказов?
3. Как определяется интенсивность отказов?
4. Как определяется число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.
2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

## **18. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №18 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ НА БОЛТ И ДИАМЕТРА СЪЕМНОГО ФУНДАМЕНТНОГО БОЛТА**

**Цель:** Приобрести навыки по изучению расчета фундаментных болтов станка.

**Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** типовые расчеты фундаментных болтов станка.

**Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** пользование справочной литературой.

**Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:** методиками проведения типовых расчетов фундаментных болтов станка.

**Формируемые компетенции:** ИД-2ПК-9, ИД-3ПК-9, ИД-4ПК-9.

**Актуальность темы:** Монтаж оборудования – это процесс его сборки и установки. Он состоит из подготовки, монтажа, определённых действий специалистов по его запуску, изучению документации, обучению технического состава. От этого зависит насколько надёжно, долговечно и качественно будет работать установка. При установке часто приходится решать трудные задачи. Чтобы решить их верно, нужны опыт и знания, которыми обладают высококвалифицированные специалисты.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Фундаментный болт — крепёжное изделие в виде прута с резьбовой частью на одном конце, и специального приспособления, удерживающего фундаментный болт внутри фундамента, предназначенное для крепления строительных конструкций и оборудования по принципу анкерного болта. Фундаментные болты в значительной степени используются на всех типах строительства, от стандартного здания до дамб и атомных электростанций.

Обеспечивают надёжное крепление только к прочным, нехрупким и неэластичным основаниям.

### Пример выполнения работы.

Данные из предыдущих практических работ:

- расчетный опрокидывающий момент от оборудования  $M = 81 \text{ кН}\cdot\text{м}$ ;
- расчетная статическая нагрузка на болт:  $G_{\Sigma} = G_M + G_{\Phi} = 22,3 + 5,8 = 28,1 \text{ кН}$  (практическая работа №13);
- расчетное осевое усилие:  $Q_p = 5573 \text{ Н}$  (практическая работа №14);
- вес станка:  $G_M = 22,3 \text{ кН}$  (практическая работа №13);
- максимальное межосевое расстояние между болтами по длине станка  $l_{1x} = 2,871 \text{ м}$  (практическая работа №14);
- максимальное межосевое расстояние между болтами по ширине станка  $l_{1y} = 1,485 \text{ м}$  (практическая работа №14);
- количество болтов  $n = 14$  (рисунок 14.1);
- расчетное сопротивление растяжения бетона класса В12,5:  $R_{B12,5} = 8,7 \text{ МПа}$  (таблица 15.4);
- бетон класса В12,5 ( $R_{B12,5} = 7,3 \text{ МПа}$ )
- марку стали для болтов принимаем ВСт3пс2 (ГОСТ 24379.1-2012), для которой допускаемое сопротивление металла растяжению  $[\sigma_p] = 145 \text{ МПа}$ .

1. Определяем эксцентриситет приложения нагрузки:

$$\chi = \frac{M}{G_{\Sigma}} = \frac{81}{28,1} = 2,9 \text{ м.}$$

2. Определяем величину сжатой зоны бетона под опорной плитой по формуле:

$$\zeta = l_{1x} - \sqrt{l_{1x}^2 - 0,5\chi - c}, \quad (18.1)$$

где  $c$  – приведенное среднее расстояние:

$$c = \frac{l_{1x} - l_{1y}}{2} = \frac{2,871 - 1,485}{2} = 0,7 \text{ м.}$$

$$\zeta = 2,871 - \sqrt{2,871^2 - 0,5 \cdot 2,9 - 0,7} = 2 \text{ м.}$$

3. Проверка допускаемой величины сжатой зоны бетона под опорной плитой:

$$\zeta \leq R \cdot l_{1x}, \quad (18.2)$$

где  $R$  – приведенный коэффициент силы сжатия:

$$R = \frac{0,85 - 0,008 R_B}{1 + \frac{[\sigma_p]}{400} \left( 1 - \frac{0,85 - 0,008 R_B}{1,1} \right)}. \quad (18.3)$$

$$R = \frac{0,85 - 0,008 \cdot 8,7}{1 + \frac{145}{400} \left( 1 - \frac{0,85 - 0,008 \cdot 8,7}{1,1} \right)} = 0,7.$$

$$\zeta = 2 \leq R \cdot l_{1x} = 0,7 \cdot 2,871 = 2,01 - \text{условие выполнено.}$$

8. Расчетную нагрузку, приходящуюся на один растянутый болт, определяем по формуле

$$P = \frac{0,1 R_B \cdot \zeta}{n} = \frac{0,1 \cdot 8700 \cdot 2}{14} = 124 \text{ кН.}$$

5. Определяем требуемую площадь сечения одного болта (по резьбе):

$$A_{sa} = \frac{k_o \cdot P}{[\sigma_p]} = \frac{1,35 \cdot 124}{1,45 \cdot 10^5} = 116 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 = 11,6 \text{ см}^2.$$

где  $k_o$  – коэффициент, зависящий от вида нагружения ( $k_o = 1,35$  для динамических нагрузок).

По таблице 3.1 принимаем болт с диаметром резьбы М48 ( $A_{sa} = 19,72 \text{ см}^2$ ).

6. Глубину заделки болтов в бетон определяем по формуле:

$$H_o = H \cdot d \cdot m_1 \cdot m_2, \quad (18.4)$$

где  $H$  – минимальная глубина заделки болтов из стали марки ВСтЗкп2.

Принимаем  $H = 15$  (ГОСТ 24379.1-2012);

$m_1$  – отношение расчетного сопротивления растяжения бетона класса В12,5 ( $R_{B12,5} = 7,3$  МПа) к расчетному сопротивлению бетона принятого класса

(таблица 15.4). Принимаем  $m_1 = \frac{R_{B12,5}}{R_{B12,5}} = \frac{7,3}{7,3} = 1,0$ ;

$m_2$  – отношение расчетного сопротивления растяжению металла болтов принятой марки стали к расчетному сопротивлению растяжению стали марки ВСтЗкп2. Принимаем  $m_2 = 1$ .

$$H_o = 15 \cdot 0,048 \cdot 1 \cdot 1 = 0,72 \text{ м.}$$



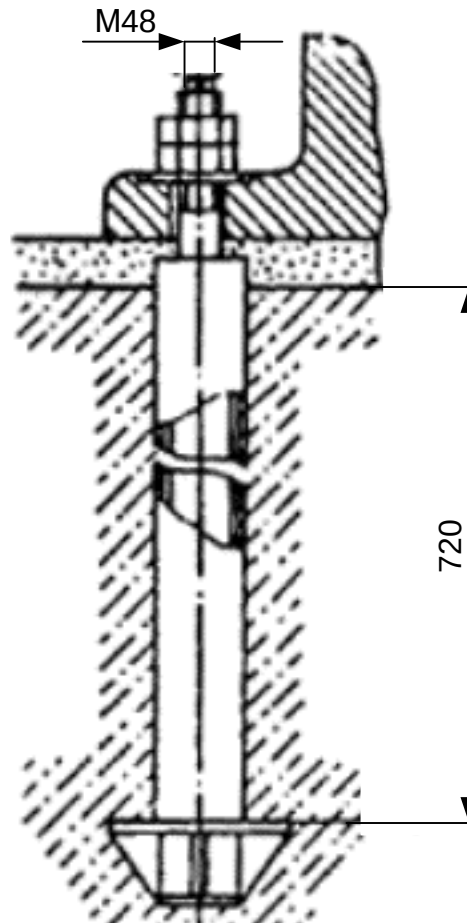


Рисунок 18.1 – Эскиз заделки фундаментного болта

7. Проверяем возможность восприятия сдвигающей силы в плоскости сопряжения базы станка с фундаментом по формуле:

$$Q_p \leq \vartheta$$

где  $f$  – коэффициент трения. Для пары трения «сталь-бетон» принимаем  $f = 0,15$ .

$\vartheta$  – допускаемая сдвигающая сила в плоскости сопряжения базы станка с фундаментом:

$$\vartheta = f \left( \frac{n \cdot A_{sa} \cdot [\sigma_p]}{4} + G_M \right) = 0,15 \left( \frac{14 \cdot 0,00116 \cdot 1,45 \cdot 10^5}{4} + 22,3 \right) = 91,7 \text{ кН.}$$

$$Q_p = 5573 \text{ Н} \leq \vartheta = 91,7 \text{ кН} = 91700 \text{ Н} - \text{условие выполняется.}$$

8. Сделать эскиз заделки фундаментного болта с полученными размерами (рисунок 18.1).

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется вероятность безотказной работы машины (детали)?

2. Как определяется плотность распределения отказов?
3. Как определяется интенсивность отказов?
4. Как определяется число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки?

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л.: Химия, 1981. 367 с.
2. Гельперин Д. М., Миловидов Г. В. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств. М.: Машиностроение, 1990. 257 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Методические указания**  
по организации самостоятельной работы обучающихся по дисциплине  
«Ремонт и монтаж оборудования»  
для студентов направления подготовки  
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств  
направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

Методические указания для обучающихся по аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работе носят общий характер и адресованы студентам очной и заочной) формы обучения для освоения компетенций и индикаторов:

- ПК-9. Способен осуществлять пусконаладочные работы простого технологического оборудования механосборочного производства;
- ИД-2<sub>ПК-9</sub> Проводит индивидуальные испытания простого технологического оборудования механосборочного производства;
- ИД-3<sub>ПК-9</sub>. Осуществляет методическое обеспечение эксплуатации простого технологического оборудования механосборочного производства;
- ИД-4<sub>ПК-9</sub>. Организует работы по ремонту и монтажу простого технологического оборудования механосборочного производства.

### **Вопросы для собеседования**

1. Виды организации ремонта на предприятии. Аутсорсинг
2. Виды ремонтов. Межремонтное обслуживание.
3. Внеплановый ремонт. Аварии оборудования и их предупреждение
4. Закономерности изнашивания типовых деталей МРС
5. Технические параметры, определяющие работоспособность оборудования.
6. Классификация видов износа и изнашивания
7. Классификация отказов
8. Классификация способов восстановления деталей
9. Монтаж оборудования. Последовательность устройств монтажа
10. Планирование ремонтных работ.
11. Понятие технического обслуживания и ремонта техники. Регламент работ по техническому обслуживанию
12. Причины нарушения работоспособности оборудования.
13. Типы смазочных систем в МРС
14. Виды смазочного материала. Схемы смазки технологического оборудования
15. Транспортировка и установка оборудования
16. Восстановление деталей и сборочных единиц полимерными материалами
17. Восстановление деталей наплавкой
18. Восстановление и упрочнение деталей электролитическими и химикотермическими способами
19. Испытание координатно-расточного станка после ремонта на холостом ходу.
20. Испытание станка после ремонта на жесткость.
21. Испытание станка после ремонта на шероховатость обработки.
22. Испытание станка после ремонта под нагрузкой.
23. Методы восстановления деталей. Применение компенсаторов износа
24. Методы обнаружения дефектов.

25. Методы ремонта оборудования.
26. Ремонт базовых и корпусных деталей
27. Ремонт валов, осей и шпинделей
28. Ремонт зубчатых и цепных передач
29. Физический износ и методы его определения
30. Технология проверки оборудования после установки на фундамент.

## **1. Критерии оценивания компетенций**

**Оценка «отлично»** выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий обработки.

**Оценка «хорошо»** выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в не полном объеме; владение умениями и навыками реализуются не в полном объеме.

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками.

## **2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: диалог преподавателя со студентом и ответ студентом на вопросы по темам дисциплины. Перед собеседованием по теме студент должен выполнить и защитить практические работы.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции ИД-2<sub>ПК-9</sub>, ИД-3<sub>ПК-9</sub>, ИД-4<sub>ПК-9</sub>. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и четкие ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при ответе возможны 2...3 негрубые ошибки.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования своими конспектами лекций, методическими указаниями по дисциплине, тетрадями по практическим занятиям и лабораторным работам, справочными таблицами.

При проверке задания, оцениваются:

- степень усвоения программного материала;
- способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников;
- правильность и четкость ответов;
- правильность речи в быстром или умеренном темпе;
- умение использовать методическую, научную и техническую литературу;
- инициативность в поиске информации.

### Оценочный лист

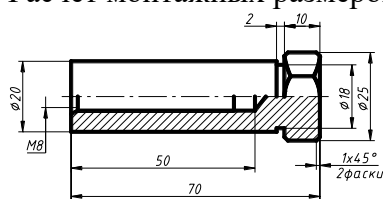
| ПК                                                                 | Пункты оценки                                                          | Отметка о сформированности |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> , ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | степень усвоения программного материала                                |                            |
|                                                                    | способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников    |                            |
|                                                                    | способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса |                            |
|                                                                    | правильность и четкость ответов                                        |                            |
|                                                                    | правильность речи в быстром или умеренном темпе                        |                            |
|                                                                    | умение использовать методическую, научную и техническую литературу     |                            |
|                                                                    | инициативность в поиске информации                                     |                            |

## Комплект задания для расчетно-графической работы

### Тема 1. Компоновка и монтаж технологического обрабатывающего модуля

#### Вариант 1

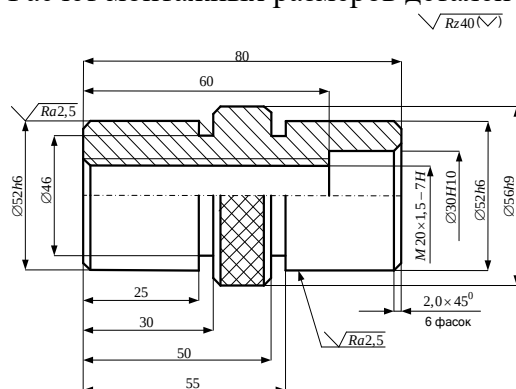
Расчёт монтажных размеров деталей методом размерного анализа



- Задание 1      Размерный анализ проектируемого технологического процесса
- Задание 2      Построение графов технологических размеров
- Задание 3      Определение допусков и припусков на технологические размеры
- Задание 4      Определение технологических размеров

#### Вариант 2

Расчёт монтажных размеров деталей методом размерного анализа



1. Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14,  $\pm IT_{14}^2$
2. Твердость HB 235...255
3. Радиальное биение диаметров 52h6 относительно оси не более 0,01 мм

- Задание 1      Размерный анализ проектируемого технологического процесса
- Задание 2      Построение графов технологических размеров

|           |                                                             |
|-----------|-------------------------------------------------------------|
| Задание 3 | Определение допусков и припусков на технологические размеры |
| Задание 4 | Определение технологических размеров                        |

## 1. Критерии оценивания компетенций

**Оценка «отлично»** Результат выполненной работы по компоновке и монтажу технологического обрабатывающего модуля является верным. Отчетный документ не содержит ошибок.

**Оценка «хорошо»** выставляется студенту, если результат выполненной работы по компоновке и монтажу технологического обрабатывающего модуля является верным. Отчетный документ содержит незначительные ошибки, влияющие на общий результат.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если результат выполненной работы по компоновке и монтажу технологического обрабатывающего модуля является неверным, но использован корректный способ решения задачи. Отчетный документ содержит определенные ошибки, не позволяющие установить качество достигнутого результата.

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется студенту, Результат выполненной работы по компоновке и монтажу технологического обрабатывающего модуля является неверным. Отчетный документ содержит ошибки, влияющие на общий результат.

## 2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: диалог преподавателя со студентом и ответ студентом на вопросы по темам РГР.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенций ИД-2<sub>ПК-9</sub>, ИД-3<sub>ПК-9</sub>, ИД-4<sub>ПК-9</sub>. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и четкие ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при ответе возможны 2...3 негрубые ошибки.

При подготовке к защите расчетно-графической работы студенту предоставляется право использования любых источников информации.

При проверке задания, оцениваются:

- последовательность выполнения и оформления;
- рациональность выполнения;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- правильность и четкость ответов;
- правильность расчетов;
- аккуратность оформления.
- правильность оформления графической части

### Оценочный лист

| ПК                                                                 | Пункты оценки                                             | Отметка о сформированности |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------|
| ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> , ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | последовательность выполнения и оформления                |                            |
|                                                                    | рациональность выполнения                                 |                            |
|                                                                    | умение использовать методическую и техническую литературу |                            |
|                                                                    | умение использовать методическую и техническую            |                            |

|  |                                           |  |
|--|-------------------------------------------|--|
|  | литературу                                |  |
|  | правильность и четкость ответов           |  |
|  | правильность расчетов                     |  |
|  | правильность оформления графической части |  |

### **Комплект заданий для проведения мастер-класса по теме «Определение объема ремонтных работ по устранению несоосности передней и задней бабок»**

Необходимо выполнить следующие задания и ответить на вопросы:

1. Цели и содержание.
2. Методика определения отклонений пиноли и контрольной оправки.
3. Построение графиков отклонений.
4. Содержание ремонтных операций.
5. Порядок устранения несоосности путем исправления направляющих.
6. В чем заключается операция шабрение?

Защита работы студента проходит в виде выступления (мастер-класса) и демонстрации возможностей оборудования (инженер кафедры, зав. лабораторией).

### **Комплект заданий для проведения мастер-класса по теме «Ремонт повреждений и заделка трещин деталей машин»**

Необходимо выполнить следующие задания и ответить на вопросы:

1. Виды дефектов.
2. Обнаружение невидимых трещин.
3. Характеристика дефектов: задиры, царапины, выкрашивание и их устранение.
4. Обнаружение раковин на глубине до 10 мм.
5. В чем заключается люминесцентный метод обнаружения дефектов?
6. Обнаружение дефектов с помощью рентгеновских лучей.

Защита работы студента проходит в виде выступления (мастер-класса) и демонстрации возможностей оборудования (инженер кафедры, зав. лабораторией).

#### **Критерии оценивания компетенций**

**Оценка «отлично»** выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, студент анализирует основные сведения по ремонту и монтажу машиностроительного оборудования безошибочно, что свидетельствует о повышенном уровне усвоения компетенций.

**Оценка «хорошо»** выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; студент анализирует основные сведения по ремонту и монтажу машиностроительного оборудования с неточностями, ориентируется в возможностях оборудования, что свидетельствует о базовом уровне усвоения компетенций.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если он анализирует основные сведения по ремонту и монтажу машиностроительного оборудования с ошибками, имеет общее представление о работе оборудования, что свидетельствует о частичном усвоении базового уровня усвоения компетенций.



**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется студенту, если не анализирует основные сведения по ремонту и монтажу машиностроительного оборудования, что свидетельствует о недостаточном уровне усвоении компетенций.

**1. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: выступление студента перед аудиторией и ответ студентом на вопросы по теме дисциплины.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить ИД-2<sub>ПК-9</sub>, ИД-3<sub>ПК-9</sub>, ИД-4<sub>ПК-9</sub> компетенции и индикаторы. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и четкие ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при ответе возможны 2...3 негрубые ошибки.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования своими конспектами лекций, методическими указаниями по дисциплине, тетрадями по лабораторным работам, справочными таблицами.

При проверке задания, оцениваются:

- степень усвоения программного материала;
- правильность и четкость ответов;
- способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников;
- способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- инициативность в поиске информации;
- правильность речи в быстром или умеренном темпе.

**Оценочный лист**

| <b>ПК</b>                                                                | <b>Пункты оценки</b>                                                   | <b>Отметка о сформированности</b> |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| ИД-2 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | степень усвоения программного материала                                |                                   |
|                                                                          | способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников    |                                   |
|                                                                          | способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса |                                   |
|                                                                          | правильность и четкость ответов                                        |                                   |
|                                                                          | правильность речи в быстром или умеренном темпе                        |                                   |
|                                                                          | умение использовать методическую и техническую литературу              |                                   |
|                                                                          | инициативность в поиске информации                                     |                                   |

**Задания для групповых творческих работ  
для проведения практического занятия по теме: «Построение графиков показателей  
надежности изделия»**

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Определить теоретическую зависимость вероятности отказов от времени.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
  - 4.1 Как определяется вероятность отказов?
  - 4.2 Как определяется интенсивность отказов?
  - 4.3 Как определяется плотность распределения отказов?
  - 4.4 Как строятся графики показателей надежности изделия?

**Задания для групповых творческих работ  
для проведения практического занятия по теме: «Расчет погрешности монтажа  
суппорта токарно-револьверного автомата»**

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассчитать точность монтажа суппорта станка согласно заданным исходным данным.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
  - 4.1 Как определяется точность монтажа суппорта станка?
  - 4.2 Как рассчитываются силы, действующие на суппорт станка?
  - 4.3 От чего зависит точность монтажа суппорта станка?
  - 4.4 Как определяется фактическое давление станка вместе с фундаментом на грунт?

**1. Критерии оценивания компетенций**

**Оценка «отлично»** выставляется студенту, если он безошибочно проектирует средства ремонта и монтажа машиностроительного оборудования.

**Оценка «хорошо»** выставляется студенту, если он проектирует средства ремонта и монтажа машиностроительного оборудования с несущественными неточностями.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если он не корректно проектирует средства ремонта и монтажа машиностроительного оборудования.

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется студенту, если он не проектирует средства ремонта и монтажа машиностроительного оборудования.

**2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить ИД-2<sub>ПК-9</sub>, ИД-3<sub>ПК-9</sub>, ИД-4<sub>ПК-9</sub> компетенции и индикаторы.

Для выполнения задания по дисциплине необходимо использовать практикум по дисциплине "Ремонт и монтаж оборудования" для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль подготовки – Технология машиностроения).

**При проверке задания, оцениваются:**

- последовательность и рациональность выполнения;

- точность расчетов;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- аккуратность оформления.

**При защите работы оцениваются:**

- четкость и выразительность изложения доклада;
- умение применять теоретические знания основной и дополнительной литературы;
- правильность ответов на вопросы;
- связь проекта с производственным опытом;
- инициативность в поиске информации.

**Оценочный лист**

| ПК                                                                       | Пункты оценки                                                              | Отметка о сформированности |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ИД-2 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | последовательность и рациональность выполнения                             |                            |
|                                                                          | точность расчетов                                                          |                            |
|                                                                          | умение использовать методическую и техническую литературу                  |                            |
|                                                                          | аккуратность оформления                                                    |                            |
|                                                                          | четкость и выразительность изложения доклада                               |                            |
|                                                                          | умение применять теоретические знания основной и дополнительной литературы |                            |
|                                                                          | правильность ответов на вопросы                                            |                            |
|                                                                          | связь проекта с производственным опытом                                    |                            |
|                                                                          | инициативность в поиске информации                                         |                            |

**Тесты**

**Паспорт фонда тестовых заданий**

| № п/п | Проверяемые темы дисциплины                                                                                                            | Проверяемые компетенции                                            | Тип теста*      |                 |                 |                 |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|       |                                                                                                                                        |                                                                    | зф <sup>1</sup> | оф <sup>2</sup> | ус <sup>3</sup> | пп <sup>4</sup> |
| 1     | Тема 1. Технические параметры, определяющие работоспособность оборудования, их влияние на условия эксплуатации и организации ремонтов. | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> , ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5               |                 |                 |                 |
| 2     | Тема 2. Методы рациональной эксплуатации оборудования.                                                                                 | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> , ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5               |                 |                 |                 |
| 3     | Тема 3. Причины нарушения работоспособности оборудования.                                                                              | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> , ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5               |                 |                 |                 |
| 4     | Тема 4. Закономерности изнашивания деталей и сопряжений.                                                                               | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> , ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5               |                 |                 |                 |
| 5     | Тема 5. Организация ремонта оборудования на предприятии.                                                                               | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> , ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5               |                 |                 |                 |
| 6     | Тема 6. Организация ремонта оборудования на предприятии.                                                                               | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> , ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5               | 1               | 1               |                 |

|    |                                                                                                                |                                                                       |    |   |   |   |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----|---|---|---|
| 7  | Тема 7. Внеплановый ремонт.                                                                                    | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   |   | 1 |
| 8  | Тема 8. Методы обнаружения дефектов.                                                                           | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  | 1 |   | 1 |
| 9  | Тема 9. Современные информационные методы для планирования и организации ремонтов и технического обслуживания. | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   | 1 |   |
| 10 | Тема 10. Технологический процесс разборки машин.                                                               | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   | 1 |   |
| 11 | Тема 11. Методы ремонта деталей промышленного оборудования.                                                    | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   |   |   |
| 12 | Тема 12. Нарращивание изношенных поверхностей и склеивание.                                                    | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   |   | 1 |
| 13 | Тема 13. Технологические процессы ремонта оборудования.                                                        | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  | 1 |   |   |
| 14 | Тема 14. Технология ремонта литейного оборудования.                                                            | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   |   |   |
| 15 | Тема 15. Технология ремонта грузоподъемных и транспортных устройств.                                           | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   |   |   |
| 16 | Тема 16. Технология ремонта оборудования термических устройств.                                                | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   |   |   |
| 17 | Тема 17. Монтаж промышленного оборудования.                                                                    | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  | 1 |   |   |
| 18 | Тема 18. Монтаж металлорежущих станков, прессов и молотов, литейного оборудования, мостовых кранов.            | ИД-2 <sub>ПК-9</sub> , ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | 5  |   |   |   |
|    | Всего                                                                                                          |                                                                       | 90 | 4 | 3 | 3 |

\* отметить тип теста «+»

<sup>1</sup> задания закрытой формы (с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенного набора вариантов);

<sup>2</sup> задания открытой формы (ответ формулируется самостоятельно);

<sup>3</sup> задания на установление соответствия (с установлением правильного соответствия между элементами двух представленных множеств);

<sup>4</sup> задания на установление правильной последовательности (с указанием правильного порядка перечисленного набора элементов).

Тема 1. Технические параметры, определяющие работоспособность оборудования, их влияние на условия эксплуатации и организации ремонтов

I:

S: От чего зависит количество, объем, содержание и сроки текущих ремонтов оборудования?

+: от предусмотренной Т. У. продолжительной службы деталей и интенсивности использования аппарата в предремонтный период.

-: от волевого решения руководства ремонтной службы

-: от плановых сроков выпуска заданных объемов готовой продукции

-: от вида выпускаемой продукции

I:

S: При составлении сетевых графиков выполнения ремонтных работ в зависимости от их характера различают действительные работы, работы – ожидание и фиктивные работы. Какие примеры работ не входят в категорию "ожидание"?

+: окраска оборудования

-: застывание бетона

-: высыхание краски

+: смазка оборудования

I:

S: Что характеризует вероятность безотказной работы?

-: долговечность

+: безотказность в работе

-: ремонтпригодность

-: сохраняемость

I:

S: Как обеспечивается ремонтоспособность аппарата?

-: легкостью доступа к узлам и деталям

+: обеспечением взаимозаменяемости деталей

+: регулируемостью узлов

+: компенсируемостью износа

I:

S: Какие работы не входят в перечень работ нулевого цикла?

-: подготовка подъездных проездов

+: поставка оборудования или его отдельных блоков

-: изготовление фундаментов

-: обеспечение площадок водопроводам, электроэнергией, канализацией

I:

S: Как оценивается ремонтодоступность?

+: легкостью доступа к узлам и деталям

+: обеспечением легкосъемности деталей

-: обеспечением взаимозаменяемости детали

-: способностью деталей к восстановлению

I:

S: Какие работы не входят в категорию "ремонтных"?

+: удаление продукта

вывод оборудования на эксплуатационный режим

-: обкатка на холостом ходу

-: испытание прочности и плотности

I:

S: Что характеризует установленная безотказная наработка?

+: безотказность в работе

-: долговечность

-: ремонтпригодность

-: сохраняемость

I:

S: Что характеризует средняя наработка на отказ?

+: безотказность в работе

-: долговечность

-: ремонтпригодность

-: сохраняемость

I:

S: Что характеризует срок службы до капитального ремонта (установленный ресурс)?

+: долговечность

-: безотказность в работе

-: ремонтпригодность

-: сохраняемость

I:

S: Что характеризует среднее время восстановления работоспособного состояния?

+: ремонтпригодность

-: долговечность

-: безотказность в работе

-: сохраняемость

I:

S: Что характеризует удельная суммарная продолжительность (трудоемкость) технического обслуживания (ремонтов)?

+: ремонтпригодность

- : долговечность
- : безотказность в работе
- : сохраняемость

I:

S: Что характеризует коэффициент технического использования?

- +: безотказность и ремонтпригодность
- : сохраняемость
- : ремонтпригодность
- : долговечность

I:

S: Что характеризует износостойкость рабочего инструмента машины?

- +: долговечность
- : безотказность и ремонтпригодность
- : сохраняемость
- : ремонтпригодность

I:

S: В чем измеряется вероятность безотказной работы?

- +: %
- +: долях от единицы
- +: баллах
- +: часах

I:

S: В чем измеряется установленная безотказная наработка?

- +: часах
- : нормо- часах
- : долях от единицы
- : баллах

I:

S: В чем измеряется средняя наработка на отказ?

- +: часах
- : нормо- часах
- : долях от единицы
- : баллах

I:

S: В чем измеряется срок службы до капитального ремонта (установленный ресурс)?

- + : часах
- : нормо- часах
- : долях от единицы
- : баллах

I:

S: В чем измеряется среднее время восстановления работоспособного состояния?

- + : часах
- : нормо- часах
- : долях от единицы
- : баллах

I:

S: В чем измеряется удельная суммарная продолжительность (трудоемкость) технического обслуживания (ремонтов)?

- + : нормо- часах
- : часах
- : долях от единицы
- : баллах

I:

S: В чем измеряется средний срок сохраняемости?

- + : часах
- : нормо- часах
- : долях от единицы
- : баллах

I:

S: Как называется свойство изделия сохранять в установленных пределах времени значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов?

- + : надежность
- : безотказность
- : долговечность
- : сохраняемость



I:

S: Как называется свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени или наработки определенных условиях эксплуатации?

- + : безотказность
- : долговечность
- : сохраняемость
- : ремонтпригодность

I:

S: Как называется состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя при этом допустимые значения всех основных параметров, установленных нормативно-технической документацией (НТД) и (или) проектно-конструкторской документацией?

- + : работоспособность
- : безотказность
- : долговечность
- : сохраняемость

I:

S: Как называется состояние, при котором изделие отвечает всем требованиям нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации?

- + : исправное состояние
- : работоспособность
- : безотказность
- : долговечность

I:

S: Какие события ограничивают долговечность?

- + : повреждение
- + : отказ
- : выходные дни
- : праздничные дни

I:

S: Как называется событие, заключающееся в нарушении исправности изделия?

- + : повреждение
- : неисправное состояние

- : отказ
- : нарушение технологии

I:

S: Как называется состояние, при котором изделие не удовлетворяет хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации?

- + : неисправное состояние
- : повреждение
- : отказ
- : нарушение технологии

I:

S: Как называется событие, в результате которого происходит полная или частичная утрата работоспособности изделия?

- + : отказ
- : неисправное состояние
- : повреждение
- : нарушение технологии

I:

S: По какому критерию не классифицируют отказы?

- + : по вероятности проявления
- : по причинам возникновения
- : по характеру возникновения и по характеру проявления
- : по возможности и сложности устранения

I:

S: Какие не могут быть причины возникновения отказов?

- + : высокая стоимость изделия
- : конструктивные ошибки и недостатки
- : производственные недостатки в изготовлении
- : неправильная эксплуатация и техническое обслуживание

I:

S: Какие могут быть конструктивные ошибки и недостатки?

- + : неудачная компоновка узлов
- : нарушения технологии изготовления и сборки
- : невыполнение эксплуатационных инструкций
- : применение некондиционных материалов

I:

S: Какие могут быть производственные недостатки в изготовлении?

- + : нарушения технологии изготовления и сборки
- : неудачная компоновка узлов
- : недостаточная прочность отдельных элементов или конструкции
- : нетехнологичность конструкции

I:

S: Какие могут быть причины неправильной эксплуатации и технического обслуживания?

- + : несоблюдение правил технического обслуживания
- : нарушения технологии изготовления и сборки
- : неудачная компоновка узлов
- : недостаточная прочность отдельных элементов или конструкции

I:

S: Какие могут быть причины отказов из-за влияния внешних факторов?

- + : повышенная или низкая температура
- : несоблюдение правил технического обслуживания
- : нарушения технологии изготовления и сборки
- : неудачная компоновка узлов

I:

S: Какие могут быть причины отказов из-за некачественного ремонта?

- + : плохой контроль за проведением ремонта
- : повышенная или низкая температура
- : несоблюдение правил технического обслуживания
- : нарушения технологии изготовления и сборки

I:

S: Какими не могут быть отказы по характеру возникновения?

- + : текущими
- : внезапными
- : постепенными
- : периодическими

I:

S: Как называются отказы, которые заранее предусмотреть нельзя?

- + : внезапными
- : текущими
- : постепенными
- : периодическими

I:

S: Как называются отказы, когда приводящие к отказу условия, накапливаются постепенно?

- + : постепенными
- : внезапными
- : текущими
- : периодическими

I:

S: Как называются отказы, повторяющиеся через некоторые промежутки времени, по мере накопления условий, приводящих к отказу?

- + : периодическими
- : постепенными
- : внезапными
- : текущими

I:

S: Какие не могут быть проявления отказов?

- + : тайными
- : явными
- : скрытыми
- : независимыми

I:

S: Какие называется отказ, который не вызван отказом других элементов системы?

- + : независимым
- : явным
- : скрытым
- : зависимым

I:

S: Какие называется отказ какого-либо элемента системы, произошедший в результате отказа других ее элементов?

- + : зависимым
- : независимым
- : явным
- : скрытым

I:

S: Какие бывают отказы в зависимости от сложности устранения?

- + : устраняемые в порядке технического обслуживания
- + : устраняемые при среднем или капитальном ремонте
- : неустраняемые в эксплуатационных условиях
- : устраняемые в стационарных условиях

I:

S: Какие бывают отказы в зависимости от места устранения?

- + : неустраняемые в эксплуатационных условиях
- + : устраняемые в стационарных условиях
- : устраняемые в порядке технического обслуживания
- : устраняемые при среднем или капитальном ремонте

I:

S: Как называется продолжительность или объем работы изделия?

- + : наработка
- : срок службы
- : ресурс
- : предельное состояние

I:

S: Как называется суммарная наработка изделия от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние?

- + : ресурс
- : наработка
- : срок службы
- : такт выпуска

I:

S: Как называется состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация (применение) недопустима по требованиям безопасности или нецелесообразна по экономическим причинам, либо когда восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно из-за неустранимого снижения эффективности?

- + : предельное состояние
- : ресурс
- : наработка
- : срок службы

I:

S: В результате чего может наступать предельное состояние?

- + : истощения ресурса
- + : аварийной ситуации
- : отказа
- : неисправности

I:

S: Как называется календарная продолжительность эксплуатации изделия от начала его применения до наступления предельного состояния?

- + : срок службы
- : ресурс
- : наработка
- : срок годности

I:

S: Как называется состояние изделия, при котором оно не способно нормально выполнять хотя бы одну из заданных функций?

- + : неработоспособное состояние
- : исправное состояние
- : повреждение
- : отказ

I:

S: Как называется процесс обнаружения и устранения отказа (повреждения) изделия с целью восстановления его работоспособности?

- + : восстановление
- : ремонт
- : устранение неисправности
- : устранение повреждения

I:

S: Как называется изделие, работоспособность которого в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации?

- + : восстанавливаемым
- : невосстанавливаемым
- : ремонтируемым
- : исправным

I:

S: Как называется изделие, работоспособность которого в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации?

- + : невосстанавливаемым
- : восстанавливаемым
- : неремонтируемым
- : неисправным

I:

S: Как называется изделие, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документациями?

- + : ремонтируемым
- : восстанавливаемым
- : исправным
- : неремонтируемым

I:

S: Как называется изделие, ремонт которого невозможен или не предусмотрен нормативно-технической, проектно-конструкторской и эксплуатационно-ремонтной документациями?

- + : неремонтируемым
- : ремонтируемым
- : восстанавливаемым
- : исправным

I:

S: Как называется свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем обнаружения и устранения дефекта и неисправности технической диагностикой, обслуживанием и ремонтом?

- + : ремонтпригодность
- : среднее время восстановления
- : вероятность восстановления

-: коэффициент ремонтосложности

I:

S: Какой показатель не относится к показателям ремонтпригодности?

+: вероятность безотказной работы

-: среднее время восстановления

-: вероятность восстановления

-: коэффициент ремонтосложности

I:

S: Как называется показатель ремонтпригодности, характеризующий календарную продолжительность операций по восстановлению работоспособного состояния изделия или продолжительность профилактических операций по техническому обслуживанию?

+: среднее время восстановления

-: вероятность безотказной работы

-: вероятность восстановления

-: коэффициент ремонтосложности

I:

S: Как называется свойство изделий непрерывно сохранять значения установленных показателей его качества в заданных пределах в течение длительного хранения и транспортирования?

+: сохраняемость

-: долговечность

-: безотказность

-: ремонтпригодность

I:

S: Как называется календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования изделия в заданных условиях, в течение и после которых сохраняются исправность, а также значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в пределах, установленных нормативно-технической документацией на данный объект?

+: срок сохраняемости

-: удельная суммарная продолжительность (трудоемкость) технического обслуживания

-: среднее время восстановления работоспособного состояния

-: средняя наработка на отказ

I:



S: Какой показатель относится к показателям безотказности?

- + : интенсивность отказов
- : средний ресурс
- : гамма-процентный ресурс
- : средний срок службы

I:

S: Какой показатель относится к показателям долговечности?

- + : гамма-процентный ресурс
- : интенсивность отказов
- : среднее время восстановления
- : средняя наработка на отказ

I:

S: Какой показатель относится к показателям ремонтпригодности?

- + : среднее время восстановления
- : гамма-процентный ресурс
- : интенсивность отказов
- : средняя наработка на отказ

I:

S: Какой показатель не относится к комплексным показателям надежности?

- + : коэффициент использования материала
- : коэффициент готовности
- : коэффициент технического использования
- : коэффициент оперативной готовности

I:

S: В случае обнаружения неисправности, нарушающей нормальный режим работы насоса, необходимо:

- + : остановить насос и устранить неисправность
- : выявить неисправность и сообщить руководству
- : устранить неисправность
- : остановить насос и переключиться на резервный насос

I:

S: Запрещается эксплуатация нагревательных печей при отсутствии или неисправности:

- : систем подачи топлива, воздуха и систем регулирования подачи, системы освобождения змеевиков печей

-: блокировок, средств сигнализации и контроля, дистанционного пульта управления

-: системы контролирования за подачей продукта

+: всё перечисленное

I:

S: Работы внутри сосудов, резервуаров должны проводиться:

+: в светлое время суток

-: в любое время в зависимости от необходимости

-: по графику

-: по указанию руководства

I:

S: Согласно режиму аварийной остановки при прогаре труб печи с форсунками необходимо:

-: прекратить подачу продукта

-: прекратить подачу газа

-: вызвать аварийную команду

+: остановить печь

I:

S: В систему ППР (планово-предупредительный ремонт) не входит:

-: текущий ремонт

-: капитальный ремонт

-: периодические ремонты

+: ремонтные работы по модернизации оборудования

I:

S: В зубчатых передачах редуктора силу шума определяют:

+: на максимальных оборотах

-: на минимальных оборотах

-: при максимальной нагрузке

-: при минимальной нагрузке

I:

S: Что определяют при расчете фундамента станка?

+: размеры фундамента

-: марку цемента

-: величину вибраций

-: высоту здания цеха

I:

S: От чего не зависит фактическое давление станка вместе с фундаментом на грунт?

-: веса станка

- : веса фундамента
- : площади основания фундамента
- +: типа грунта

I:

S: Проведение работ, связанных с ремонтом электрооборудования должно осуществляться:

- +: электротехническим персоналом
- : звеном слесарей
- : звеном слесарей с электротехническим персоналом
- : звеном слесарей со сварщиком

I:

S: Производить ремонт насоса во время его работы:

- : разрешается при небольших неполадках
- : разрешается
- : разрешается при согласовании с руководством
- +: не разрешается

I:

S: Что должно быть графически отражено в технологической схеме производства?

- : технологическое, аспирационное, транспортное оборудование с указанием моделей и их основных характеристик
- : движение сырья, готовой продукции
- : средства взрывопредупреждения, взрывозащиты и другие технические средства, обеспечивающие блокировку, контроль и противоаварийную защиту
- +: все перечисленное

I:

S: В каком случае может осуществляться внесение изменений в технологический регламент и схемы размещения оборудования?

- : после согласования с руководителем территориального органа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
- : после согласования с проектной и экспертными организациями
- : после принятия совместного решения по итогам совещания с представителями проектной организации
- +: после внесения изменений в документацию на техническое перевооружение объекта

I:

S: Что разрабатывает организация при наличии в технологическом оборудовании опасных веществ (газов) или возможности их образования?

- : дополнительные правила ведения технологических процессов
- : мероприятия по дальнейшей безопасной эксплуатации объектов
- : меры по поддержанию надежного и безопасного уровня контроля и противоаварийной защиты, производственной и аварийной сигнализации
- +: меры защиты персонала от воздействия этих веществ при взрывах, пожарах и других авариях

I:

S: В каком случае допускается эксплуатация оборудования и осуществление (ведение) технологических процессов с неисправными или отключенными средствами, обеспечивающими противоаварийную защиту объекта?

- : только в случае чрезвычайной ситуации
- : только в присутствии наблюдающего
- : только с разрешения ответственного за безопасное выполнение работ
- +: не допускается ни в каком случае

I:

S: Кто несет ответственность за выполнение (соблюдение) мероприятий, предусмотренных актом-допуском, оформленным перед началом работ на территории эксплуатирующей объекты между организацией заказчика и генеральным подрядчиком с участием субподрядных организаций?

- : заказчик
- : руководители строительно-монтажной организации
- : генеральный подрядчик
- +: руководители строительно-монтажной организации и заказчик

I:

S: На какие виды подразделяется аттестация технологий сварки и наплавки?

- +: исследовательскую и производственную
- : постоянную и периодическую
- : первичную и целевую
- : текущую и внеочередную

I:

S: Что допускается использовать при монтаже оборудования во взрывопожароопасных помещениях, в которых работает оборудование?

- : открытый огонь
- : механизмы и приспособления, которые могут вызвать искрообразование
- : промасленные протирочные материалы
- +: отопление узлов и частей оборудования и устройств только паром или горячей водой

I:

S: В какой цвет должны быть окрашены органы управления аварийного выключения оборудования?

- : черный
- : желтый
- : белый
- +: красный

I:

S: Какие требования предъявляются к зубчатым передачам?

- +: зубчатые передачи должны быть закрыты глухими кожухами, прочно прикрепленными к станине или другой неподвижной части машины
- : зубчатые передачи должны помещаться внутри машины
- : зубчатые передачи должны заключаться в прочные и надежно укрепленные ограждения
- : зубчатые передачи должны иметь съемные, откидные или раздвижные ограждения

I:

S: Что является основным средством защиты от опасных проявлений статического электричества согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности?

- : влажная уборка
- : ионизаторы воздуха
- +: заземление
- : напольные покрытия из электропроводящих материалов

I:

S: Кто должен дать разрешение для проведения ремонтных работ в помещениях действующего производства?

- : главный инженер организации
- : технический руководитель объекта
- : представитель территориального органа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
- +: руководитель или должностное лицо эксплуатирующей организации, ответственное за промышленную безопасность

I:

S: Установка изделия или его составных частей на месте использования – это...

- +: монтаж
- : балансировка
- : реверс
- : ремонт

I:

S: Территория, на которой ведутся работы по монтажу нескольких единиц оборудования, называется...

+ : монтажной зоной

- : монтажным участком

- : сборочной площадкой

- : участком цеха

I:

S: Законченная часть технологического процесса монтажа, осуществляемая непрерывно над узлом, машиной или агрегатом на одном рабочем месте называется ....

+ : монтажной операцией

- : монтажным переходом

- : монтажным приемом

- : монтажной установкой

I:

S: Часть технологической операции, характеризующаяся неизменностью сопрягаемых поверхностей оборудования и применяемой оснастки или инструмента называется ....

- : монтажной операцией

+ : монтажным переходом

- : монтажным приемом

- : монтажной установкой

I:

S: Законченная совокупность отдельных движений рабочего, связанных единой целью, в процессе выполнения монтажной операции называется ....

- : монтажной операцией

- : монтажным переходом

+ : монтажным приемом

- : монтажной установкой

I:

S: Какие существуют способы строительно-монтажных работ?

+ : открытый

+ : закрытый

+ : комбинированный

- : частный

I:

S: При каком способе строительно-монтажные работ все работы по устройству фундаментов и других подземных сооружений проводят до возведения каркаса здания?

- + : открытым
- : закрытым
- : комбинированным
- : частным

I:

S: При каком способе строительно-монтажные работы ведут в два этапа?

- : открытым
- + : закрытым
- : комбинированным
- : частным

I:

S: Какой способ строительно-монтажные работ применяют для цехов с разной насыщенностью пролетов фундаментами под оборудование?

- : открытый
- : закрытый
- + : комбинированный
- : частный

I:

S: Какой способ строительно-монтажные работ применяют при реконструкции оборудования действующих предприятий?

- + : надвигки
- : открытый
- : закрытый
- : комбинированный

I:

S: Как называется элемент изделия, с которого начинают его сборку?

- + : базовым
- : основным
- : технологическим
- : становым

I:

S: Как называется документация заводов-изготовителей на оборудование, которую заказчик передает монтажной организации для подготовки и выполнения работ?

- + : технической
- : технологической

- : монтажной
- : строительной

I:

S: Какая документация по монтажу оборудования должна содержать конкретные проектные решения по безопасности труда?

- +: организационно-технологическая
- : производственная исполнительная
- : проектно-сметная
- : технологическая монтажная

I:

S: Какая документация по монтажу оборудования должна содержать конкретные проектные решения по схемам фундаментов и постаментов под оборудование?

- : организационно-технологическая
- +: производственная исполнительная
- : проектно-сметная
- : технологическая монтажная

### Критерии оценивания компетенций

**Оценка «отлично»** выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий обработки, при ответе на вопрос привлечены дополнительные источники информации, в том числе и многовариантный анализ ситуации, что свидетельствует о повышенном уровне усвоения компетенций.

**Оценка «хорошо»** выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно, что свидетельствует о базовом уровне усвоения компетенций.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками, что свидетельствует о частичном усвоении базового уровня усвоения компетенций..

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется студенту, если знания, умения и навыки отсутствуют, что свидетельствует о недостаточном уровне усвоении компетенций.

### 2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

| Уровень выполнения контрольного задания | Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание) |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Отличный                                | 100                                                                  |
| Хороший                                 | 80                                                                   |



|                      |    |
|----------------------|----|
| Удовлетворительный   | 60 |
| Неудовлетворительный | 0  |

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: тестирование студента.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить ИД-2<sub>ПК-9</sub>, ИД-3<sub>ПК-9</sub>, ИД-4<sub>ПК-9</sub> компетенции. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при тестировании возможны 2...3 негрубые ошибки.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу.

При подготовке к тесту студенту предоставляется право пользования своими конспектами лекций, методическими указаниями по дисциплине, тетрадями по лабораторным работам, справочными таблицами.

При проверке задания, оцениваются:

- степень усвоения программного материала;
- правильность ответов;
- способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников;
- способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- инициативность в поиске информации;

#### Оценочный лист

| ПК                                                                       | Пункты оценки                                                          | Отметка о сформированности |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ИД-2 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-3 <sub>ПК-9</sub> ,<br>ИД-4 <sub>ПК-9</sub> | степень усвоения программного материала                                |                            |
|                                                                          | способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников    |                            |
|                                                                          | способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса |                            |
|                                                                          | правильность ответов                                                   |                            |
|                                                                          | инициативность в поиске информации                                     |                            |
|                                                                          | умение использовать методическую и техническую литературу              |                            |

#### Вид работы: Подготовка конспекта. Инструкция по выполнению самостоятельной работы

Хорошо составленный конспект помогает усвоить материал. В конспекте кратко излагается основная сущность учебного материала, приводятся необходимые обоснования, табличные данные, схемы, эскизы,

расчеты и т.п. Конспект целесообразно составлять целиком на тему. При этом имеется возможность всегда дополнять составленный конспект вырезками и выписками из журналов, газет, статей, новых учебников, брошюр по обмену опытом, данных из Интернета и других источников. Таким образом конспект становится сборником необходимых материалов, куда студент вносит всё новое, что он изучил, узнал. Такие конспекты представляют, большую ценность при подготовке к урокам.

1. Первичное ознакомление с материалом изучаемой темы по тексту учебника, картам, дополнительной литературе.

2. Выделение главного в изучаемом материале, составление обычных кратких записей.

3. Подбор к данному тексту опорных сигналов в виде отдельных слов, определённых знаков, графиков, рисунков.

4. Продумывание схематического способа кодирования знаний, использование различного шрифта и т.д.

5. Составление опорного конспекта.

**Темы конспекта.**

## **7 семестр**

Тема 1. Технические параметры, определяющие работоспособность оборудования, их влияние на условия эксплуатации и организации ремонтов.

Тема 2. Методы рациональной эксплуатации оборудования.

Тема 3. Причины нарушения работоспособности оборудования.

Тема 4. Закономерности изнашивания деталей и сопряжений.

Тема 5. Организация ремонта оборудования на предприятии.

Тема 6. Организация ремонта оборудования на предприятии.

Тема 7. Внеплановый ремонт.

Тема 8. Методы обнаружения дефектов.

Тема 9. Современные информационные методы для планирования и организации ремонтов и технического обслуживания.

Тема 10. Технологический процесс разборки машин.

Тема 11. Методы ремонта деталей промышленного оборудования.

Тема 12. Наращивание изношенных поверхностей и склеивание.

Тема 13. Технологические процессы ремонта оборудования.

Тема 14. Технология ремонта литейного оборудования.

Тема 15. Технология ремонта грузоподъемных и транспортных устройств.

Тема 16. Технология ремонта оборудования термических устройств.

Тема 17. Монтаж промышленного оборудования.

Тема 18. Монтаж металлорежущих станков, прессов и молотов, литейного оборудования, мостовых кранов.

Форма контроля и критерии оценки

«5» Полнота использования учебного материала. Объем конспекта – 1 тетрадная страница на один раздел или один лист формата А 4. Логика изложения (наличие схем, количество смысловых связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении.

«4» Использование учебного материала не полное. Объем конспекта – 1 тетрадная страница на один раздел или один лист формата А 4. Не достаточно логично изложено (наличие схем, количество смысловых связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении.

«3» Использование учебного материала не полное. Объем конспекта – менее одной тетрадной страницы на один раздел или один лист формата А 4. Не достаточно логично изложено (наличие схем, количество смысловых

связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении. Не разборчивый почерк.

«2» Использование учебного материала не полное. Объём конспекта – менее одной тетрадной страницы на один раздел или один лист формата А 4. Отсутствуют схемы, количество смысловых связей между понятиями. Отсутствует наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Допущены ошибки терминологические и орфографические. Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Не самостоятельность при составлении. Не разборчивый почерк.

## **Рекомендуемая литература**

### **Основная литература:**

1. Дальский А. М. Технология конструкционных материалов: Учебник. – М.: Машиностроение, 2012. – 704 с.
2. Безпалько В. И. Технология конструкционных и трубопроводно-строительных материалов: Учебник: – М.: Высшая школа, 2012.– 416 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Казаков Н.Ф. Технология металлов и других конструкционных материалов: Учеб. пос. – М.: Металлургия, 1975. – 690 с.
2. Жадан В. Т. Технология металлов и других конструкционных материалов: Учебник. – М.: Высшая школа, 1970. – 704 с.

### **Интернет-ресурсы:**

1. edu.ru – общеобразовательный портал
2. edu.window.ru– общеобразовательный портал

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Методические указания**

по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине

«Ремонт и монтаж оборудования»

для студентов направления подготовки

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств

направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

## **1. Пояснительная записка**

### **1.1 Цель расчетно-графической работы**

Целью расчетно-графической работы является изучение принципов ремонта и монтажа оборудования.

### **1.2 Задачи расчетно-графической работы**

Расчетно-графическая работа выполняется по теме: Расчёт монтажных размеров деталей методом размерного анализа.

В качестве задания каждому студенту выдаются индивидуальные данные.

Вариант расчетно-графической работы выдается ведущим преподавателем. Расчетно-графическая работа включает в себя расчетно-пояснительную записку в объеме до 20 листов формата А4.

## **2. План-график выполнения расчетно-графической работы**

| Номер этапа | Содержание этапов работы                                    | Процент выполнения | Срок выполнения, неделя семестра |
|-------------|-------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1           | 2                                                           | 3                  | 4                                |
| 1.          | Выдача задания                                              | -                  | 1                                |
| 2.          | Анализ исходных данных задания.<br>Подбор литературы.       | 5                  | 3                                |
| 3.          | Размерный анализ проектируемого технологического процесса   | 15                 | 7                                |
| 4.          | Построение графов технологических размеров                  | 25                 | 9                                |
| 5.          | Определение допусков и припусков на технологические размеры | 50                 | 11                               |
| 6.          | Определение технологических                                 | 70                 | 13                               |

| Номер<br>этапа | Содержание этапов работы                         | Процент<br>выполнения | Срок выполнения,<br>неделя семестра |
|----------------|--------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 1              | 2                                                | 3                     | 4                                   |
|                | размеров                                         |                       |                                     |
| 7.             | Сдача расчетно-графической<br>работы на проверку | 100                   | 15                                  |
| 8.             | Защита.                                          |                       | 16                                  |

### **3. Методические рекомендации к контрольной работе**

#### **3.1 Название раздела**

Расчетно-графическая работа выполняется согласно рабочей программе дисциплины «Ремонт и монтаж оборудования».

#### **3.2 Цель работы**

Цель расчетно-графической работы определяется, исходя из компетентностного подхода к процессу обучения и рабочей программы дисциплины «Ремонт и монтаж оборудования» для студентов направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств направленность (профиль) Технология машиностроения с освоением компетенций и индикаторов:

- ПК-9. Способен осуществлять пусконаладочные работы простого технологического оборудования механосборочного производства;
- ИД-2<sub>ПК-9</sub> Проводит индивидуальные испытания простого технологического оборудования механосборочного производства
- ИД-3<sub>ПК-9</sub>. Осуществляет методическое обеспечение эксплуатации простого технологического оборудования механосборочного производства;
- ИД-4<sub>ПК-9</sub>. Организует работы по ремонту и монтажу простого технологического оборудования механосборочного производства.

#### **3.3 Форма контроля расчетно-графической работы**

Студент допускается к защите, если расчетно-графическая работа выполнена, верно и оформлена согласно требованиям ГОСТов. Защита проходит в форме собеседования по теме расчетно-графической работы. Принимает ведущий преподаватель. Расчетно-графическая работа оценивается «зачтено» или «не зачтено». Расчетно-графическая работа оценивается «не зачтено» в следующих случаях:

- выполнение не своего варианта;
- Расчетно-графическая работа выполнена не в полном объеме;
- студент не отвечает на заданные вопросы.

Расчетно-графическая работа оформляется в соответствии с требованиями ГОСТов, ЕСКД и других стандартов и нормативных документов к текстовым документам и должно состоять из титульного листа, содержания, введения, последующих листов работы и заканчиваться списком литературы, использованной студентом при выполнении работы. Все таблицы, схемы, рисунки, формулы и эскизы должны иметь наименование и нумерацию. При использовании справочной литературы необходима ссылка на нее.

## **4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ НАД КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТОЙ**

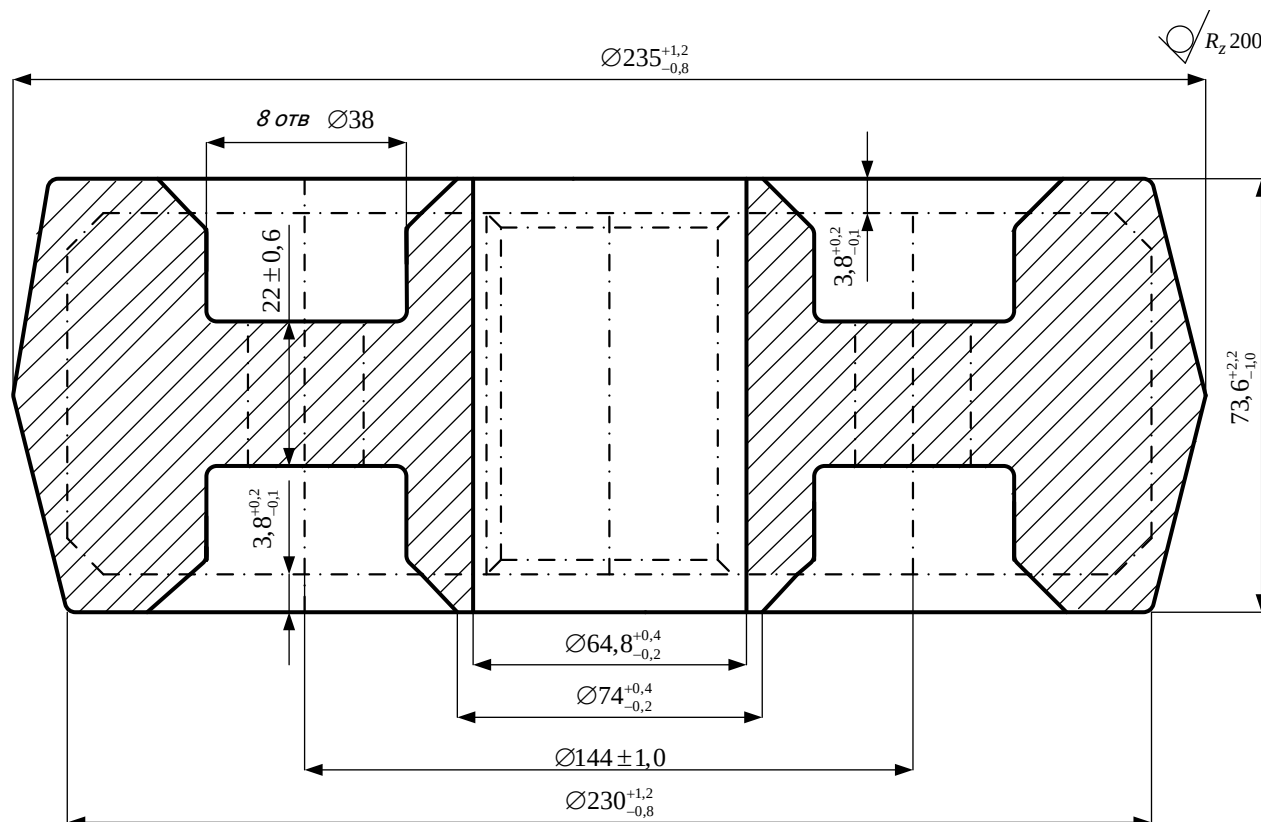
### **1. Исходные данные**

Исходными данными для выполнения расчетно-графической работы являются:

1. Чертеж детали (рисунок 1).
2. Чертеж заготовки (рисунок 2).
3. Операционные карты с эскизами наладок (таблица 1).





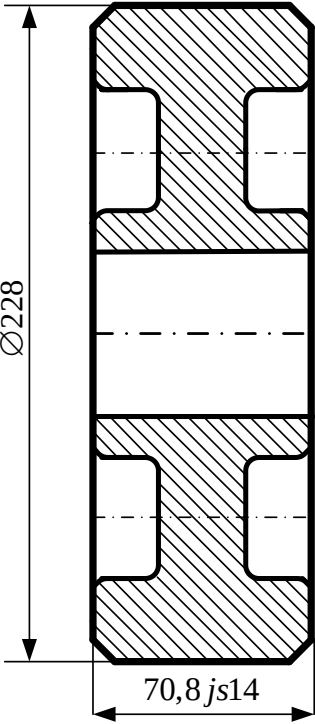
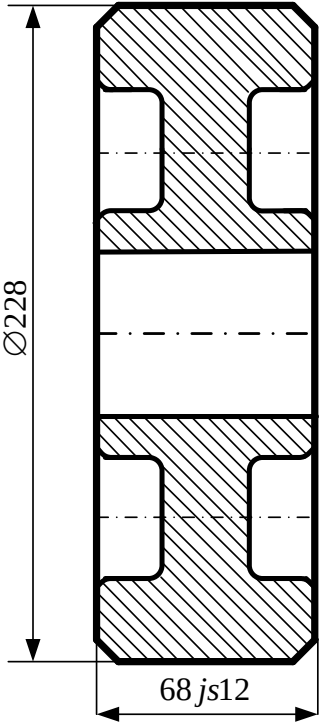
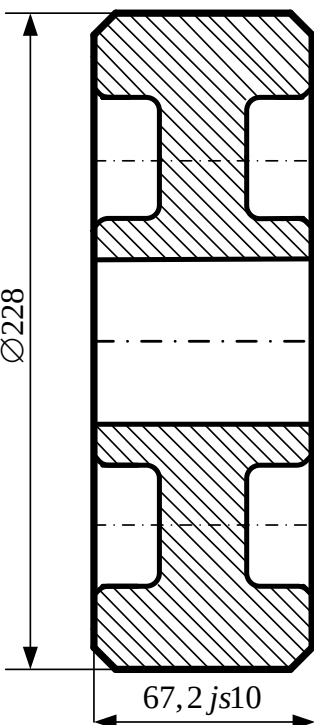
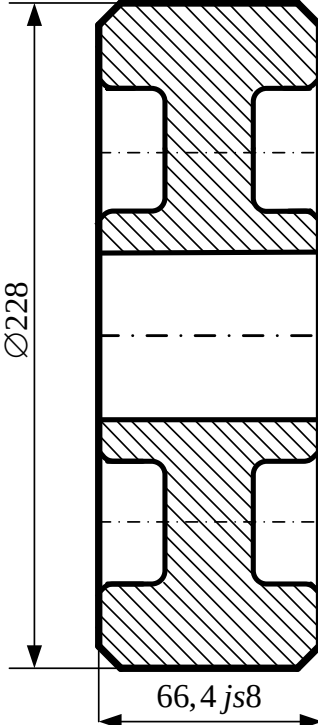


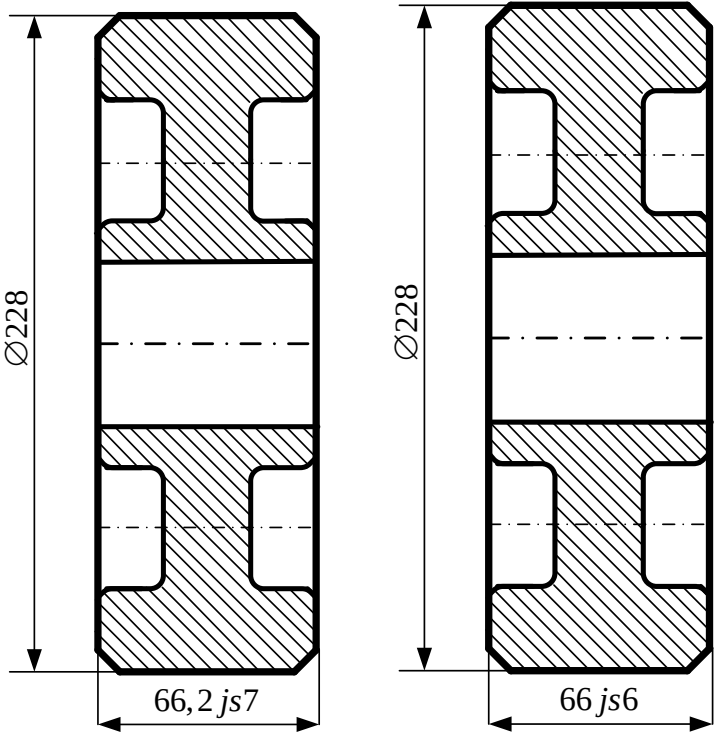
1. HB 160...180 отжиг
2. Неуказанные штамповочные радиусы 4 мм
3. Неуказанные штамповочные уклоны: для наружных поверхностей 70, для внутренних поверхностей 100
4. Допустимая величина остаточного облоя 1,6 мм
5. Заготовку очистить от окалины травлением
6. Группа стали M1
7. Степень сложности C3
8. Класс точности T4

Рисунок 2 – Эскиз заготовки (поковка)

Сущность размерного анализа спроектированных (действующих) технологических процессов состоит в решении обратных задач для технологических размерных цепей, связывающих технологические размеры, припуски и конструкторские размеры.

Таблица 1 – Маршрутный ТП обработки продольных размеров вала

| Операция/<br>переход                                                                                                                                                                                                                            | Схема перехода                                                                                          |                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>005 Токарная</p> <p>3. Подрезать торец Ø228, выдерживая размер 70,8js14.</p> <p>Б. Переустановить</p> <p>5. Подрезать торец Ø228, выдерживая размер 68js14.</p> <p><math>A_{1.1} = 70,8js14</math><br/><math>A_{1.2} = 68js14</math></p>     | <p>1-й установ</p>    | <p>2-й установ</p>   |
| <p>010 Токарная</p> <p>3. Подрезать торец Ø228, выдерживая размер 67,2js14.</p> <p>Б. Переустановить</p> <p>5. Подрезать торец Ø228, выдерживая размер 66,4js14.</p> <p><math>A_{2.1} = 67,2js14</math><br/><math>A_{2.2} = 66,4js14</math></p> | <p>1-й установ</p>  | <p>2-й установ</p>  |
| 040 Шлифовальная                                                                                                                                                                                                                                | 1-й установ                                                                                             | 2-й установ                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Шлифовать<br/>торец, выдерживая<br/>размер <math>66,2js7</math>.</p> <p>Б. Переустановить</p> <p>5. Шлифовать<br/>торец <math>\varnothing 228</math>,<br/>выдерживая<br/>размер <math>66js6</math>.</p> <p><math>A_{3,1} = 66,2js7</math>.</p> <p><math>A_{3,2} = 66js6</math>.</p> |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|

## 2. Размерный анализ проектируемого технологического процесса

Проведем размерный анализ проектируемого технологического процесса механической обработки вала в осевом направлении. Для этого составим размерную схему технологического процесса в рассматриваемом направлении (рисунок 3), исходный граф (рисунок 4), граф технологических размеров (рисунок 5) и граф размерных связей технологического процесса (рисунок 6).

Размерный анализ позволяет оценить качество технологического процесса, в частности позволяет определить, будет ли он обеспечивать выполнение конструкторских размеров, непосредственно не выдерживаемых при обработке заготовки, оценить достаточность назначенных припусков на обработку для обеспечения требуемого качества поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей.

Размерный анализ позволяет оценить качество технологического процесса, в частности позволяет определить, будет ли он обеспечивать

выполнение конструкторских размеров, непосредственно не выдерживаемых при обработке заготовки, оценить достаточность назначенных припусков на обработку для обеспечения требуемого качества поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей.

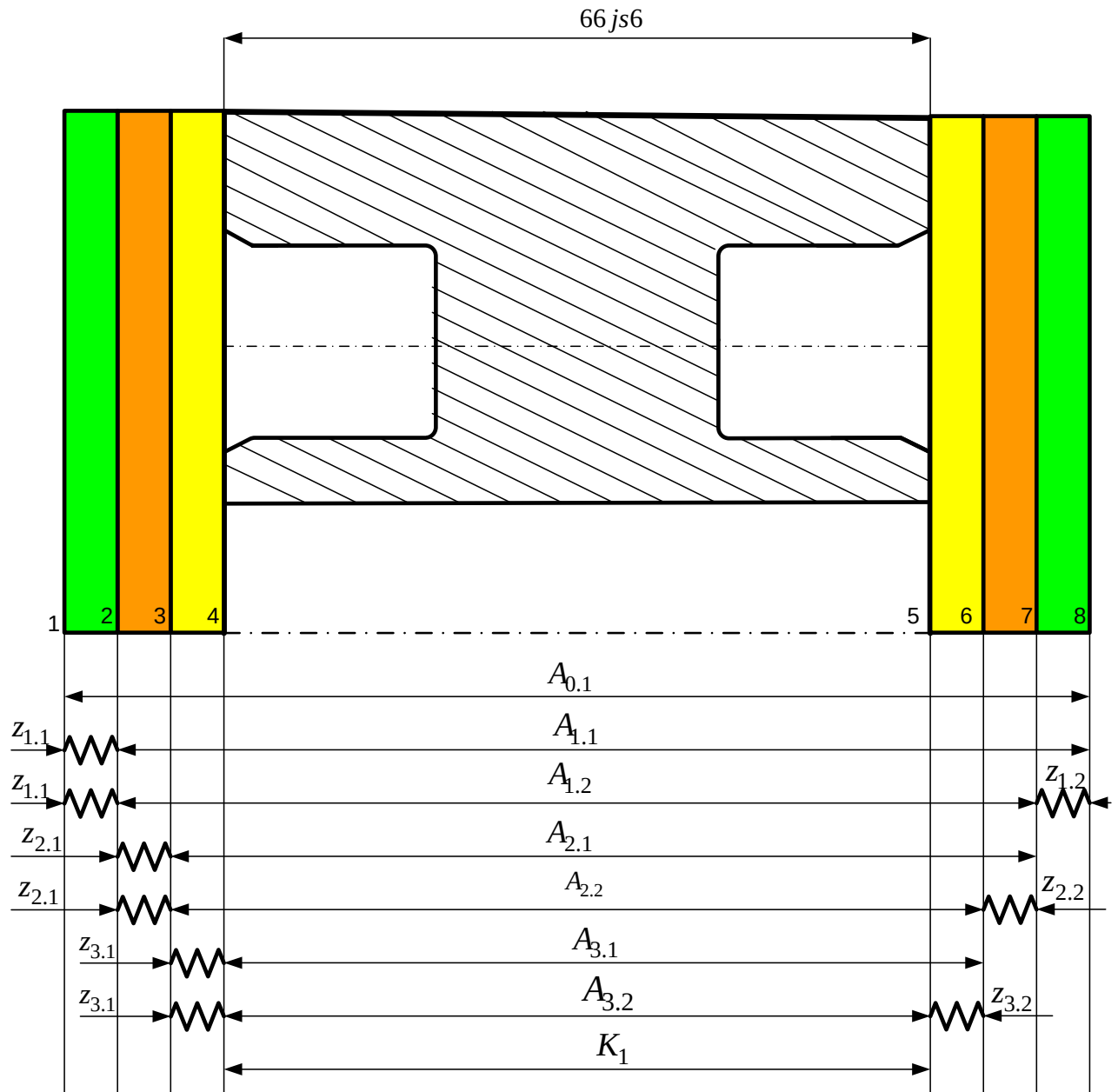


Рисунок 3 – Размерная схема ТП механической обработки зубчатого колеса (осевое направление)

### 3. Построение графов технологических размеров

Построение графовых моделей начинают с исходного графа. На горизонтальной оси располагаются только поверхности готовой детали.

Эти вершины соединяются конструкторскими размерами. Ниже последовательно по вертикали располагаются промежуточные поверхности. С поверхностями готовой детали они соединяются зигзагообразными линиями, которые обозначают минимальные припуски, удаляемые на соответствующих технологических переходах [2].

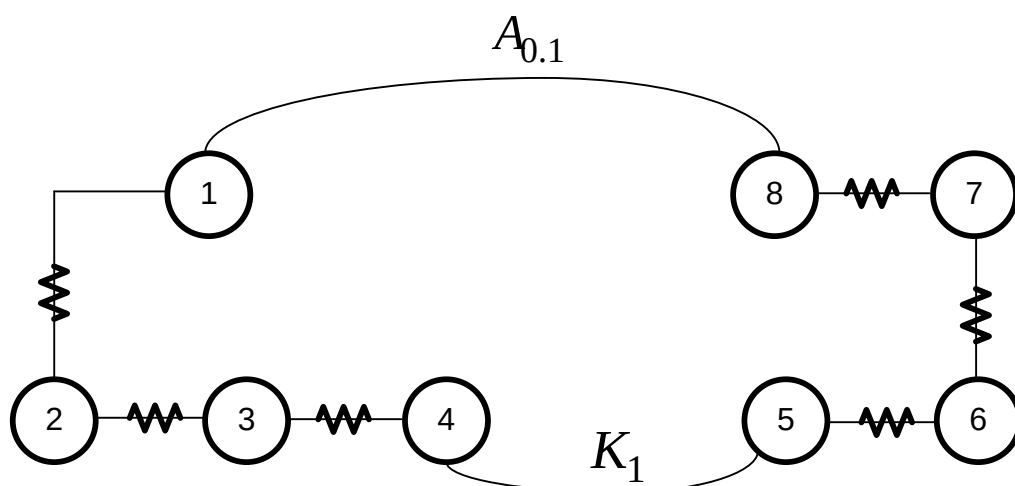


Рисунок 4 – Исходный граф

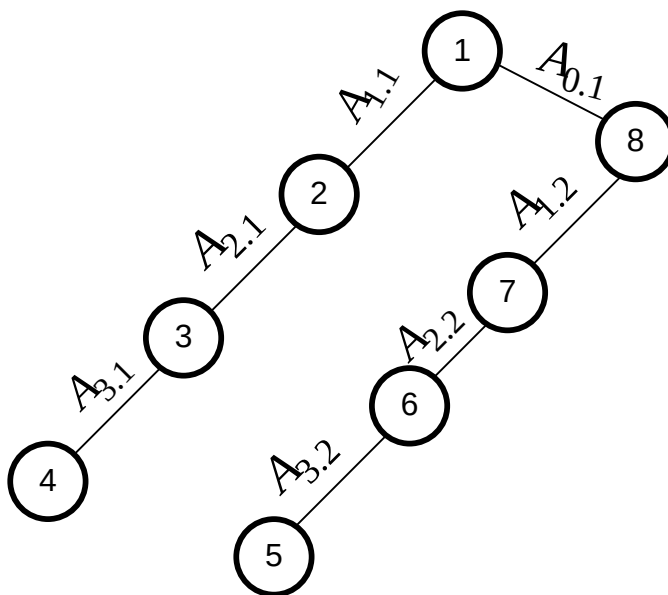


Рисунок 5 – Производный граф

При построении производного графа расположение вершин принимается точно таким же, как и на исходном графе. Связками в этом

случае служат все технологические размеры и размеры исходной заготовки. Эта модель будет иметь вид, представленный на рисунке 5.

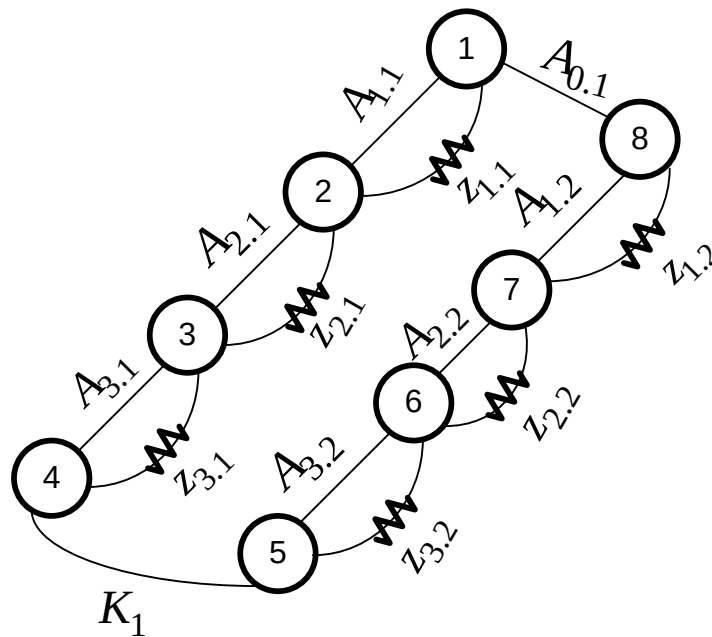


Рисунок 6 – Совмещенный граф

Правильность построения графов проверяется следующим образом. На графах не должно быть изолированных вершин и не должно быть циклов. Количество связок на графах должно быть одинаковым. Наличие цикла на графе свидетельствует о лишних размерах или на детали, или на операционных эскизах. Наличие изолированных вершин свидетельствует о недостающих размерах или на чертеже, или на эскизах.

#### 4. Определение допусков и припусков на технологические размеры

Операционные допуски и припуски на технологические размеры для представленной детали  $A_{1.1}$ ,  $A_{1.2}$ ,  $A_{2.1}$ ,  $A_{2.2}$ ,  $A_{3.1}$ ,  $A_{3.2}$  и  $A_{0.1}$  назначим в соответствии с реализуемыми методами обработки по [1, 3, 5]. Их значения представлены в таблице 2, 3.

Таблица 2 – Значения допусков на технологические размеры

| Технологический размер<br>$A_{i,j}$ , мм | Допуск на технологический<br>размер $T_{A_{i,j}}$ , мм |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| $A_{0,1} = 73,6^{+2,2}_{-1,0}$           | $T_{A_{0,1}} = 3,2$                                    |
| $A_{1,1} = 70,8js14$                     | $T_{A_{1,1}} = 0,74$                                   |
| $A_{1,2} = 68js12$                       | $T_{A_{1,2}} = 0,3$                                    |
| $A_{2,1} = 67,2js10$                     | $T_{A_{2,1}} = 0,12$                                   |
| $A_{2,2} = 66,4js8$                      | $T_{A_{2,2}} = 0,046$                                  |
| $A_{3,1} = 66,2js7$                      | $T_{A_{3,1}} = 0,03$                                   |
| $A_{3,2} = 66js6$                        | $T_{A_{3,2}} = 0,019$                                  |

Таблица 3 – Значения припусков на технологические размеры  
(исходный индекс 5 ГОСТ 7505-89)

| Обозначение припуска | Припуск на<br>технологический размер $z_{i,j}$ , мм |
|----------------------|-----------------------------------------------------|
| $Z_{1,1}$            | $Z_{1,1} = 2,8$                                     |
| $Z_{1,2}$            | $Z_{1,2} = 2,8$                                     |
| $Z_{2,1}$            | $Z_{2,1} = 0,8$                                     |
| $Z_{2,1}$            | $Z_{2,1} = 0,8$                                     |
| $Z_{3,1}$            | $Z_{3,1} = 0,2$                                     |
| $Z_{3,2}$            | $Z_{3,2} = 0,2$                                     |

Назначенные значения припусков [5] и допусков на технологические размеры позволяют приступить к определению технологических размеров  $A_{1,1}$ ,  $A_{1,2}$ ,  $A_{2,1}$ ,  $A_{2,2}$ ,  $A_{3,1}$ ,  $A_{3,2}$  и  $A_{0,1}$ . Технологические размерные цепи для расчета указанных технологических размеров, построенные по графу размерных связей ТП, представлены на рисунке 6. Размерные схемы на рисунке 6 представлены в порядке, удобном для их расчета (каждый раз в размерной схеме присутствует только один определяемый технологический размер).

Таблица 4 – Значения конструкторских размеров



| Конструкторский размер | Значение конструкторского размера |
|------------------------|-----------------------------------|
| $K_1$                  | $K_1 = 66 \pm 0,0095$             |

Размер  $A_{3.2}$  равен конструкторскому размеру  $K_1$  и равен:  $A_{3.2} = K_1 = 66 \pm 0,0095$ . На остальные размеры  $A_{1.1}$ ,  $A_{1.2}$ ,  $A_{2.1}$ ,  $A_{2.2}$ ,  $A_{3.1}$  и  $A_{0.1}$  составим размерные цепи, представленные на рисунке 7.

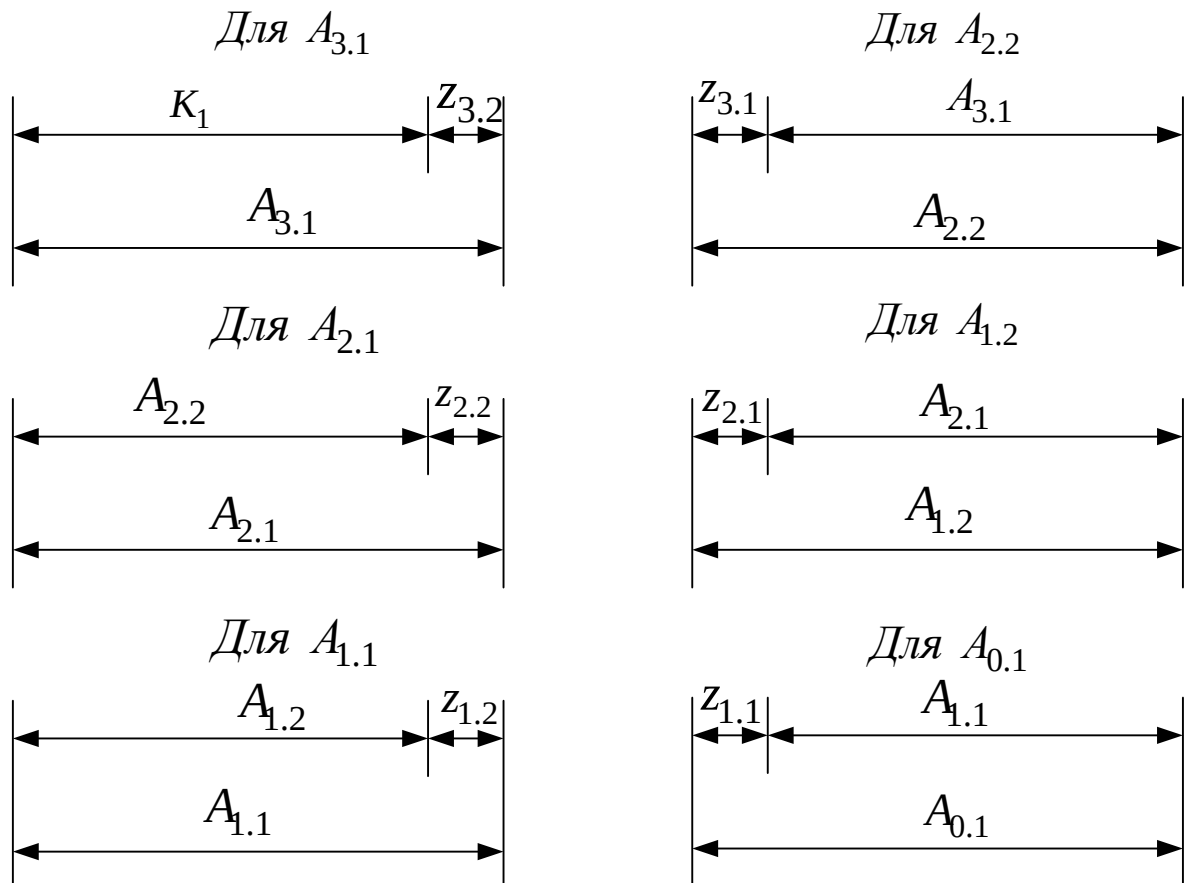


Рисунок 7 – Размерные схемы ТП механической обработки зубчатого колеса

## 5. Определение технологических размеров

Определяем технологический размер  $A_{3.1}$  (размерная цепь, представленная на рисунке 7). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{3.1}^c = K_1 + z_{3.2} \cdot \quad (1)$$

$$A_{3.1} = 66 + 0,2 = 66,2 \text{ мм.}$$

С учетом операционного допуска на размер  $A_{3.1}$ :  $A_{3.1} = 66,2 \pm 0,015$ .

Определяем технологический размер  $A_{2.2}$  (размерная цепь, представленная на рисунке 7). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{2.2}^c = A_{3.1} + z_{3.1} \cdot \quad (2)$$

$$A_{2.2} = 66,2 + 0,2 = 66,4 \text{ мм.}$$

С учетом операционного допуска на размер  $A_{2.2}$ :  $A_{2.2} = 66,4 \pm 0,023$ .

Определяем технологический размер  $A_{2.1}$  (размерная цепь, представленная на рисунке 7). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{2.1}^c = A_{2.2} + z_{2.2} \cdot \quad (3)$$

$$A_{2.1} = 66,4 + 0,8 = 67,2 \text{ мм.}$$

С учетом операционного допуска на размер  $A_{2.1}$ :  $A_{2.1} = 67,2 \pm 0,06$ .

Определяем технологический размер  $A_{1.2}$  (размерная цепь, представленная на рисунке 7). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{1.2}^c = A_{2.1} + z_{2.1} \cdot \quad (4)$$

$$A_{1.2} = 67,2 + 0,8 = 68,0 \text{ мм.}$$

С учетом операционного допуска на размер  $A_{1.2}$ :  $A_{1.2} = 68,0 \pm 0,15$ .

Определяем технологический размер  $A_{1.1}$  (размерная цепь, представленная на рисунке 7). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{1.1}^c = A_{1.2} + z_{1.2} \cdot \quad (5)$$

$$A_{1.1} = 68,0 + 2,8 = 70,8 \text{ мм.}$$

С учетом операционного допуска на размер  $A_{1.1}$ :  $A_{1.1} = 70,8 \pm 0,37$ .

Таблица 5 – Результаты расчета технологических размеров ТП изготовления вала

| Технологический размер<br>$A_{i,j}$ , мм | Значение размера, мм |
|------------------------------------------|----------------------|
|------------------------------------------|----------------------|

|           |                      |
|-----------|----------------------|
| $A_{0.1}$ | $73,0^{+2,2}_{-1,0}$ |
| $A_{1.1}$ | $70,8 \pm 0,37$      |
| $A_{1.2}$ | $68,0 \pm 0,15$      |
| $A_{2.1}$ | $67,2 \pm 0,06$      |
| $A_{2.2}$ | $66,4 \pm 0,023$     |
| $A_{3.1}$ | $66,2 \pm 0,015$     |
| $A_{3.2}$ | $66 \pm 0,0095$      |

Определяем технологический размер  $A_{0.1}$  (размерная цепь, представленная на рисунке 7). Уравнение для определения среднего значения:

$$A_{0.1}^c = A_{1.1} + z_{1.1}. \quad (6)$$

$$A_{0.1} = 70,8 + 2,8 + 1,7 = 73,6 \text{ мм.}$$

С учетом операционного допуска на размер  $A_{0.1}$ :  $A_{0.1} = 73,6 \pm 1,6$ .

С учетом правил записи предельных отклонений для поковок:

$$A_{0.1}^c = 73,0^{+2,2}_{-1,0}.$$

### Список литературы

1. ГОСТ 25346 – 89. Единая система допусков и посадок. Основные положения, ряды допусков и основных отклонений.
2. Размерный анализ технологических процессов/ В.В. Матвеев, М.М. Тверской. Ф.И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. М.: Издательство стандартов, 1990 – 36 с.
4. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов/ Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский; под ред. В.А. Тимирязева. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 272 с.
5. Шашок А.В. Элементы размерного анализа технологических процессов механической обработки деталей машин: Учебное пособие для студентов всех форм обучения направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»/Рубцовский индустриальный. институт. – Рубцовск, 2013. – 97 с.

