Контрольная работа по курсу «Основы теории надёжности и диагностики» состоит из следующих разделов:

* 1. Составление вариационного ряда исходной информации.
  2. Составление статистического ряда исходной информации.

4.3 Определение числовых характеристик распределения случайной величины.

4.4 Выбор теоретического закона распределения и построение интегральной функции

* 1. Определение доверительных границ рассеивания среднего значения и относительной ошибки расчета характеристик полного ресурса.
  2. Построение дифференциальной функции теоретического закон распределения и окончательный выбор теоретического закона распределения

*Пояснительная записка* к контрольной работе должна содержать результаты расчётов по всем разделам с необходимыми пояснениями и список использованной литературы. Рекомендуемый объём пояснительной записки – 20-25 листов формата А4.

*Графическая часть работы* состоит из трех листов формата А4.

Лист 1. Графическое построение гистограммы и полигоны распределения показателя надежности.

Лист 2. Кривая накопленных опытных вероятностей и интегральная функция ЗРВ полного ресурса двигателя.

Лист 3. График дифференциальной функции теоретического закона распределения.

**ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

* 1. **Составление вариационного ряда информации** 
     1. Исходная информация, полученная по статистическим данным

Методику решения задачи рассмотрим на примере оценки статистическим методом полного ресурса двигателей Д-240 на основе собранной исходной информации, представленной в табличной форме (таблица 1).

Таблица 1 – Полные ресурсы двигателя Д-240

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ресурс,  мото-ч | Ресурс,  мото-ч | Ресурс,  мото-ч | Ресурс,  мото-ч |
| 3640  2680  5600  5150  2900  6630  1940  4240 | 3530  2410  9700  6620  2500  8410  4840  5940 | 5600  2270  900  8610  3220  4850  3050  2690 | 3120  4630  3220  2800  7590  2160  4230  3640 |

Задача состоит в том, чтобы определить среднее значение полного ресурса двигателя Д-240 и дать количественную оценку достоверности этого значения в пределе принятого доверительного интервала.

* + 1. Вариационный ряд информации о полных ресурсах двигателя Д-240 получается из таблицы 1, путем расположения данных по возрастанию (таблица 2).

Таблица 2 – Вариационный ряд информации о полных ресурсах двигателя Д-240

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ресурс, мото-ч | Ресурс, мото-ч | Ресурс, мото-ч | Ресурс, мото-ч |
| 900  1940  2160  2270  2410  2500  2680  2690 | 2800  2900  3050  3120  3220  3220  3530  3640 | 3640  4230  4240  4680  4840  4850  5150  5600 | 5600  5940  6620  6630  7590  8410  8610  9700 |

* 1. **Составление статистического ряда**

Статистический ряд информации составляется в виде таблицы 3, состоящей из пяти строк: интервалы, середины интервалов, частота, опытная вероятность (частость) и накопленная опытная вероятность.

Всю информацию о полных ресурсах (таблица 1) разбиваем на интервалы, количество которых определяется по формуле

, (1)

где N – количество информации (количество двигателей).

Полученный результат округляют в сторону увеличения до ближайшего целого числа. Количество интервалов не должно выходить за пределы [2].

n = 6…20

Для информации о полных ресурсах двигателей Д-240 (таблица 2) получим

 (интервалов).

Все интервалы статистического ряда должны быть равны по величине и не иметь разрывов.

Величину одного интервала (А) определяют по уравнению

, (2)

где tmax и tmin – соответственно наибольшее и наименьшее значения показателей надежности в сводной таблице информации (таблица 2).

Значение интервала (А), полученное по формуле (2), всегда округляют в большую строну до величины, удобной для дальнейших расчетов.

Тогда, для информации таблицы 2

 (мото-ч).

Принимаем А=1500 мото-ч.

Число интервалов и их величина используется для построения первой строки статистического ряда (таблица 3).

Вторая строка этого ряда представляет собой середину каждого интервала . Например, для первого интервала:

 (мото-ч).

Третья строка показывает частоту , то есть, сколько опытных значений попадает в каждый интервал полных ресурсов (определяют из таблицы 2). При этом, если на границе двух интервалов окажется несколько двигателей с равным ресурсом, то их поровну распределяют между этими интервалами. Например, для первого интервала = 4.

Четвертая строка статистического ряда – значения опытных вероятностей (или частостей) определяют по формуле [1]:

, (3)

где - опытная частота в i-м интервале.

Например, для первого интервала: .

Пятая строка статистического ряда – значения накопленных вероятностей , определяется суммированием вероятностей по интервалам:

 . (4)

Например, для нашего статистического ряда (таблица 3):

 и т. д.

или  и т.д.

Учитывая вышеизложенные методические указания, составляем статистический ряд информации в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Статистический ряд распределения полного ресурса

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Интервал, тыс.мото-ч | 0.9-2.4 | 2,4-3.9 | 3.9-5.4 | 5.4-6.9 | 6.9-8.4 | 8.4-9.9 |
| Середина интервала, | 1.65 | 3.15 | 4.65 | 6.15 | 7.65 | 9.15 |
| Частота, | 4 | 13 | 6 | 5 | 1 | 3 |
| Опытная вероятность, | 0.125 | 0.406 | 0.188 | 0.156 | 0.031 | 0.094 |
| Накопленная опытная вероятность, | 0.125 | 0.531 | 0.719 | 0.875 | 0.906 | 1.0 |

* 1. **Определение числовых характеристик распределения показателя надежности**

Основными числовыми характеристиками распределения показателя надежности являются: среднее значение, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации [2]:

Среднее значение показателя надежности:

 , (5)

где – середина i-го интервала;

– опытная вероятность в i-м интервале.

Подставляя значение из статистического ряда таблицы 3, получаем среднее значение полного ресурса:

=1,65·0,125+3,15·0,406+4,65·0,188+6,15·0,156+7,65·0,031+

+9,15·0,094=4,42 (тыс. мото-ч).

Среднее квадратическое отклонение:

. (6)

Подставляя значение статистического ряда из таблицы 3, получаем



=2,13 (тыс. мото-ч).

Коэффициент вариации определяют по формуле

, (7)

где  – среднее квадратическое отклонение;

 – среднее значение показателя надежности;

С – начало первого интервала или начало поля рассеивания.

С определяется по формуле

С =  — 0,5А, (8)

где – наименьшее значение показателя надежности.

Для нашего примера =900 мото-ч (таблица 2).

А – величина интервала.

Для нашего примера А =1500 мото-ч.

Тогда, по формуле (8)

С= 900 - 0,5·1500= 150 мото-ч.

Ввиду незначительной величины смещения поля рассеивания для нашего примера при дальнейших расчетах принимают С=0. Тогда коэффициент вариации по формуле (7) составит:

.

* + 1. Проверка исходной информации на наличие выпадающих точек

Проверку информации на наличие выпадающих точек осуществляем по формуле [1]:

, (9)

где , и  – смежные точки в вариационном ряду информации (таблица 2)



**mi**

**Pi**

**t**

**мото-ч**

Рисунок 1 – Гистограмма (1) и полигон (2) распределения полного ресурса двигателя Д - 240

Для наименьшего значения ресурса = 0,90; = l,94.

.

Для наибольшего значения ресурса =9,70; =8,61,

.Полученное значение  сравнивают с табличными критериями Ирвина  (приложение Г).

В нашем случае при N= 32 и доверительной вероятности α = 0,95 табличное значение критерия Ирвина = l,2, то есть больше . Поэтому с вероятностью 0,95 можно утверждать, что все точки информации достоверны.

Данные статистического ряда (таблица 3) используют для построения графика, наглядно характеризующего опытное распределение показателя надежности (в нашем случае полного ресурса двигателя Д-240): гистограммы (1) и полигона (2) – в соответствии с рисунком 1 и кривой накопленных опытных вероятностей (1) – в соответствии с рисунком 2

* + 1. Графическое построение гистограммы и полигоны распределения показателя надежности

.

**4.4 Выбор теоретического закона распределения и построение интегральной функции**

Теоретический закон распределения (TЗP) выражает общий характер изменения показателя надежности (ПН) машин и исключает частные отклонения, связанные с недостатками первичной информации. Процесс замены опытных закономерностей теоретическими называется в теории вероятностей процессом выравнивания (сглаживания) статистической информации.

В теории надежности для выравнивания опытной информации используют большое количество различных законов распределения. К таким законам, например, относятся: нормальный (Гаусса), экспонициальный, гамма-распределения, Вейбулла, Пуассона, Релля и др.

У каждого закона своя область применения, свои параметры и расчетные уравнения, свои заранее приготовленные таблицы, упрощения проведения расчетов. Каждый закон распределения показателей надёжности характеризуется двумя функциями:

* дифференциальной функцией или функцией плотности вероятностей;
* интегральной функцией распределения.
  + 1. *Выбор теоретического закона распределения*

Применительно к показателям надежности автомобильной и тракторной техники используются в основном закон нормального распределения (3HP) и закон распределения Вейбулла (3PB). Предварительный выбор теоретического закона распределения (ТЗР) осуществляется по величине коэффициента вариации V. Если V < 0,3, то распределение подчиняется ЗНР, если V>0,5, –ЗРВ.

Если V лежит в интервале от 0,3 до 0,5, то выбирается тот закон, который лучше совпадает с опытной информацией; точность совпадения оценивается по критерию согласия.

В нашем случае коэффициент вариации V=0,48, поэтому подходят как ЗНР, так и ЗРВ. Для окончательного решения необходимо рассчитывать интегральную F(t) функцию распределения полного ресурса по ЗНР и ЗРВ, а затем с помощью критерия согласия выбирать TЗP.

* + 1. *Определение и построение интегральной функции для ЗНР*

Значения интегральной функции F(t*ki*) в конце i-го интервала определяются по формуле

, (10)

где F0 – так называемая центрированная интегральная функции. Она табулирована и ее значение определяют по приложению Д;

 – значение показателя надежности в конце i-го интервала статистического ряда (таблица 3);

 – среднее значение показателя надежности;

σ – среднее квадратическое отклонение.

Необходимо помнить, что

F0(-t)=I-F(+t). (11)

* + 1. *Определение и построение интегральной функции для ЗРВ*

Для ЗРВ значение интегральной функции F () в конце i-го интервала определяется по формуле

, (12)

где – табулированное значение интегральной функции. Принимается по приложению Ж в зависимости от  и параметра b;

с – сдвиг начала рассеивания. Для нашего примера С = 0;

а – параметр ЗРВ определяется по формуле

, (13)

где  – коэффициент 3PB.

Параметр b и коэффициент  определяется по приложению Е в зависимости от коэффициента вариации.

Полученные значения интегральных функций для 3HP и 3PB записывают в таблицу 4.

Таблица 4 - Выбор теоретического закона распределения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Интервал,  тыс. мото-ч | | 0,9-  2,4 | 2,4-  3,9 | 3,9-  5,4 | 5,4-  6,9 | 6,9-  8,4 | 8,4-  9,9 |
| Конец интервала, | | 2,4 | 3,9 | 5,4 | 6,9 | 8,4 | 9,9 |
| Накопленная вероят-ность (опытная) | | 0,125 | 0,531 | 0,719 | 0,875 | 0,906 | 1,0 |
| ЗНР | (– )/σ | -0,95 | -0,24 | 0,46 | 1,16 | 1,87 | 2,57 |
| F() | 0,17 | 0,40 | 0,68 | 0,88 | 0,97 | 1,0 |
| │-F()│ | 0,045 | 0,131 | 0,039 | 0,005 | 0,064 | 0 |
| ЗРВ | (–с)/а | 0,48 | 0,78 | 1,09 | 1,39 | 1,69 | 1,99 |
| F() | 0,18 | 0,43 | 0,70 | 0,87 | 0,96 | 0,99 |
| │-F()│ | 0,055 | 0,101 | 0,019 | 0,005 | 0,054 | 0,01 |

Тогда расчетное значение критерия согласия Колмогорова будет равно:

для ЗНР 

для ЗРВ 

Из приложения И находим вероятность совпадения теоретических законов с опытным распределением:

для ЗНР Р(λ) = 0,644,

для 3PB Р(λ) = 0,915.

Следовательно, для выравнивания опытной информации ЗРВ подходит лучше, чем 3HP. Выбрав окончательно в качестве теоретического закон ЗРВ, наносим на график интервалы и соединяем полученные точки плавной кривой, которая будет теоретической интегральной функцией распределения полного ресурса двигателя в соответствии с рисунком 2.

* 1. **Определение доверительных границ рассеивания среднего значения полного ресурса двигателя и относительной ошибки расчета характеристик полного ресурса** 
     1. Определение доверительных границ рассеивания среднего значения полного ресурса двигателя

Границы, в которых может колебаться среднее значение показателя надежности, называется нижней и верхней доверительными границами. Для 3HP определяются по формулам:

, , (16)

где  и  – соответственно нижняя и верная доверительные границы рассеивания среднего значения ресурса () с доверительной вероятностью α;

 – коэффициент Стьюдента определяют по приложению К в зависимости от N и выбранной доверительной вероятности α.



**t**

Рисунок 2 - Кривая накопленных опытных вероятностей (1) и интегральная функция (2) ЗРВ полного ресурса двигателя

В нашей задаче =4,42 тыс. мото-ч, N=32. Тогда, задавшись доверительной вероятностью α=0,95, при N=32 по приложению К находим =2,04. Доверительные границы составляют:

тыс. мото-ч;

 тыс. мото-ч.

* + 1. Определение относительной ошибки расчета характеристик полного ресурса

Определение относительной ошибки расчета характеристик полного ресурса  производится по формуле

%.

Точность расчета вполне достаточна, так как по нормам <=20 % .

* 1. **Построение дифференциальной функции теоретического закона распределения**
     1. Определение дифференциальной функции для ЗНР

Дифференциальную функцию или плотность вероятностей определяют по уравнению (2):

 (17)

где А –величина интервала;

σ – среднее квадратическое отклонение;

 – середина i-го интервала;

 – среднее значение показателя надежности;

 – так называемая центрированная дифференциальная функция. Она табулирована и ее значение определяют по приложению А, учитывая при этом, что

. (18)

Подставляя в формулу (17) исходные данные из таблицы 3 для нашего примера: А=1500 мото-ч, σ = 2130 мото-ч,  = 1650 мото-ч;  = 4420 мото-ч, определим значение дифференциальной функции  для первого интервала:

.

Пользуясь таблицей приложения А, находим =0,17. Тогда .

Аналогично определяем значение дифференциальной функции для остальных интервалов. Результаты расчета заносим в таблицу 5.

* + 1. Определение дифференциальной функции для ЗРВ

Дифференциальную функцию или плотность вероятностей определяют по уравнению

, (19)

где – середина i-го интервала;

а – параметр ЗРВ, определяемый по формуле

, (20)

где – среднее значение показателя надежности;

с – сдвиг начала рассеивания показателя надежности;

КВ– коэффициент ЗРВ, определяется по приложению Е в зависимости от коэффициента вариации;

b – параметр ЗРВ. Определяется по приложению И в зависимости от V.

Для нашего примера:=4,42 мото-ч; с = 0;V = 0,48; b = 2,2;  = 0,89 (приложение И).

Таблица 5 – Сводная таблица опытнойи теоретической(3HP и ЗРВ) распределений полных pecypcов двигателей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Середина интервала, | Дифференциаль-ная  функция | | Накоплен-ная  вероятность  ΣPi | Интегральная  функция | |
| ЗНР | ЗРВ | ЗНР | ЗРВ |
| 1.65 | 0,12 | 0,14 | 0,125 | 0,17 | 0,18 |
| 3,15 | 0,24 | 0,29 | 0,531 | 0,40 | 0,43 |
| 4,65 | 0,28 | 0,27 | 0,719 | 0,68 | 0,70 |
| 6,15 | 0,26 | 0,17 | 0,875 | 0,88 | 0,87 |
| 7,65 | 0,08 | 0,09 | 0,906 | 0,97 | 0,96 |
| 9,15 | 0,02 | 0,04 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Тогда по формуле (20):

.

Параметр «а» также можно приближенно определить по формуле

, (21)

где σ – среднее квадратичное отклонение;

–коэффициент закона распределения Вейбулла (3PB), определяется по приложению Л в зависимости от коэффициента вариации V.

Для нашего примера: V= 0,48; = 0,425; σ = 2,13. Тогда по формуле (12):

.

Подставляя в формулу (19) полученные для нашего примера значения параметров 3PB а = 5; b = 2,2 м и величину (таблица 3), получаем значения дифференциальной функции 3PB для середины каждого интервала.

Например, для первого интервала по формуле (19) имеем:

.

Аналогично определяем значение дифференциальной функции теоретического закона распределения Вейбулла (ЗРВ) для остальных интервалов.

Используя данные таблицы 5 построим дифференциальную функцию ЗНР и ЗРВ в соответствии с рисунком 3.



**t**

Рисунок 3 – Дифференциальная функция теоретического закона распределения 3HP (1) и ЗРВ (2) полного ресурса двигателей

При наличии интегральной функции ЗРВ дифференциальная функция в i-м интервале статистического ряда может быть получена как разность интегральных функций в конце н начале этого интервала:

, (22)

где , , ,— значения показателя надежности соответственно в середине, в конце и начале i-го интервала.

Например, для второго и последующих интервалов дифференциальная функция 3PB по уравнению (22) составит:



Для первого интервала значение дифференциальной функции определяется по уравнению (19) или определяется с использованием таблиц для расчета показателей надежности из приложений. После сопоставления всех признаков определяющих закон распределения и яравнение графических зависимостей с полигоном распределения делается окончательный вывод выборе теоретического закона распределения.

**5 Задания на контрольные работы**

**5.1** [**Варианты заданий и исходные данные для выполнения расчетов**](#_Toc85939627)

Ресурс, мото-ч Ресурс, мото-ч Ресурс, мото-ч Ресурс, мото-ч

1. 5180 1570 3680 4880
2. 5630 2720 3260 3180
3. 2320 2530 9150 6000
4. 3570 4880 3680 6680
5. 2460 2920 6680 4260
6. 7620 4710 2720 2840
7. 8650 4270 3260 5630
8. 8450 2190 1980 3090
9. 3640 3530 5600 3120
10. 2680 2410 2270 4630
11. 5600 9700 900 3220
12. 5150 6620 8610 2800
13. 2740 2870 2490 8670
14. 3710 3290 3400 2950
15. 3730 4750 3120 1590
16. 4300 2570 4280 2360
17. 2240 6700 4910 5220
18. **7650 3210 1990 5670**
19. 4910 9170 3290 5670
20. 8490 2750 6710 6050
21. 3640 3530 5600 3120
22. 2680 2410 2270 4680
23. 5600 9100 1530 3220
24. 5150 6620 8610 2800
25. 2900 2500 3220 7590
26. 6630 8410 4850 2160
27. 1940 4840 3050 4230
28. 4240 5940 2690 3640
29. **Содержание и оформление контрольных работ**
    1. Оформление текстовой части

Контрольные работы выполняются на листах формата А4 по ГОСТ 2.301-68. Текст может быть выполнен рукописно или с помощью средств компьютерной техники. Рукописный текст может быть записан на одной стороне листа формата А4 с высотой прописных букв не более 10 мм. Текст следует размещать, соблюдая размеры полей:

правое –15 мм;

левое – 30 мм;

верхнее - 15 мм;

нижнее – 25 мм.

При оформлении текста, заголовков, иллюстраций, таблиц, и приложений следует руководствоваться с требованиями ГОСТ Р 1.5-2002, ГОСТ 2.105-95, используя стандартную терминологию, а при ее отсутствии принятую в технической литературе.

Применяемые наименования величин в выполненном задании должны соответствовать требованиям ГОСТ 8.417-2003 и ОК 015-94.

Листы контрольной работы нумеруют арабскими цифрами. Номер листа проставляют на нижнем поле листа справа. На титульном листе номер листа не проставляют.

* 1. Оформление иллюстраций в форме графиков и диаграмм выполняют согласно Р 50-77-88.
  2. Требования к структуре и содержанию разделов контрольной работы:

*- Содержание -* располагаютпосле титульного листа и записываютстрочными буквами с первой прописной, в которое включают наименования всех разделов;

- *Нормативные ссылки* (обязательность выполнения раздела должна быть оговорена в задании на контрольную работу), в которых приводятся ссылки на использованные при выполнении контрольной работы ГОСТы, СНиПы и др.;

- *Введение*, в котором кратко излагаются цель контрольной работы;

-*Основная часть*, в которой приводятся промежуточные математические доказательства, методики, формулы, расчеты и др.;

- *Список использованных источников*, в которых приводятся сведения об использованных источниках, упомянутых в тексте контрольной работы в порядке их упоминания по ГОСТ 7.1-2003.

***Пример***

* + - 1. Селиванов А.И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники / А.И. Селиванов, Ю.Н. Артемьев. - М.: Колос, 1978.
      2. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов.4-е изд., перераб и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – М.: Наука, 2001. -535 с.