МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

Кубанский государственный аграрный университет

имени И.Т. Трубилина

**Е. А. Шапиро**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению расчетно-графических работ

по дисциплине «**Надежность механических систем**»

для студентов направления подготовки 23.05.01 – Технические средства агропромышленного комплекса



Краснодар

2017

УДК 629.113.004(076)

ББК 30.82я7

 Ш 23

Рецензент:

доктор технических наук, профессор *Курасов В.С.*

**Шапиро Е. А.**

Ш 23 Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по дисциплине «Надежность механических систем» / Е. А. Шапиро. ‑ Краснодар: КГАУ, 2017. ‑ 39 с.

В методических указаниях изложен комплекс расчетно-графических работ (РГР) в соответствии с теоретическим курсом дисциплины «Надежность механических систем».

В каждой РГР даны методические указания, примеры выполнения задания, форма отчета и контрольные вопросы для допуска и защиты работы.

Книга является учебным пособием для подготовки и выполнения РГР, а также может быть полезна при выполнении курсового и дипломного проектов студентами направления подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» по специализации №3 «Технические средства агропромышленного комплекса (программа специалитета)» и профиля подготовки «Автомобили и тракторы».

**УДК 629.113.004(076) ББК 30.82я7**

© Е.А. Шапиро, 2017

© Оформление. КубГАУ, 2017

|  |  |
| --- | --- |
| ОГЛАВЛЕНИЕВведениеРасчетно-графическая работа № 1. Оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов при полных испытаниях1 Методические указания2 Пример3 Задание4 Порядок выполнения работыОтчет по работеРасчетно-графическая работа № 2. Прогнозирование ресурса машин и агрегатов при усеченных испытаниях1 Методические указания2 Пример3 Задание4 Порядок выполнения работыОтчет по работеРасчетно-графическая работа № 3. Расчет характеристик ресурса машин и агрегатов при многократно-усеченных испытаниях1 Методические указания2 Пример3 Задание4 Порядок выполнения работыОтчет по работеРасчетно-графическая работа № 4. Расчет характеристик надежности при испытаниях, в течение которых исчерпали ресурс менее 20% машин1 Методические указания2 Примеры3 Задание4 Порядок выполнения работыОтчет по работеРасчетно-графическая работа № 5. Расчет нижних доверительных границ для 80%-ного гамма-ресурса и среднего ресурса1 Методические указания2 Примеры3 Задание4 Порядок выполнения работыОтчет по работеСписок используемой литературы |  |

Введение

В направлении подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» курс «Надежность механических систем» занимает значительное место, определяющий содержание деятельности инженера автотранспортного предприятия. Не зная методов анализа машин на надежность, инженер автомобильного транспорта не может успешно руководить производством, находить правильное решение в каждом конкретном случае.

В настоящее время содержание этого курса систематизировано, в нем широко применяются научные методы анализа и расчета. Его изучение сопровождается проведением расчетно-графических работ, которые занимают большую часть времени, отведенному этому курсу.

**Расчетно-графическая работа №1.** **Оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов при полных испытаниях**

**Цель работы**: ознакомиться с методикой расчета 80-%-го ресурса капитально отремонтированных машин и агрегатов при полных испытаниях на надежность.

**1 Методические указания**

В данной работе оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов производится по полному плану испытаний.

*План испытаний* – это порядок (общая методика, процедура, способ) проведения испытаний. План определяет все основные черты данного способа экспериментальной оценки исследуемого показателя надежности, сохраняющиеся независимо от конкретного вида испытываемого изделия.

План испытаний можно считать заданным, если определены:

‑ оцениваемый показатель надежности;

‑ перечень параметров плана;

‑ перечень непосредственных результатов испытаний (достаточная статистика);

‑ процедура (методика, способ) получения непосредственных результатов;

‑ дополнительные условия, определяющие рамки применимости данного плана.

В узком смысле под планом испытаний понимают правила, устанавливающие объем выборки, порядок проведения испытаний и критерии их прекращения. Для названных элементов плана испытаний используют символические обозначения. Наименование плана принято бозначать тремя буквами: первая ‑ число испытываемых объектов (*N*); вторая ‑ наличие *(R)* или отсутствие *(U)* восстановлений на время испытаний в случае отказа; третья ‑ критерий прекращения испытаний (по истечению заданного времени *Т;* после наступления г-го отказа, после отказа всех объектов).

План испытаний [*N, U, N*] или **полный план**, означает, что под наблюдение взята контрольная партия из *N* объектов и что испытания проводятся до отказа всех объектов, отказавшие изделия не заменяются новыми.

Таким образом, при полном плане определяют наработки до отказа неремонтируемых изделий. Если объекты ремонтируемые, то при таком плане выявляют наработки только до первого отказа, затем их исключают из опыта. Сведения о дальнейших наработках до отказа этих объектов могут быть учтены как дополнительная информация о работе *N*1 объектов (свыше *N*).

Модель испытаний *N=*5 при плане [*N, U, N*] приведена на рисунке 1. Количество контролируемых объектов определяют согласно требованиям к объему выборки.

 *Ni*

 5 x *t5*

 4 x *t4*

 3 x *t3*

 2 x *t2*

 1 x *t1*

 *t*

х – отказ объекта

Рисунок 1 – Модель плана испытаний [*N, U, N*]

Расчет оценки 80%-ного гамма-ресурса  проводится следующим образом.

1. Располагаем наработки отказавших изделий в порядке возрастания:

*t*1 < *t*2 < *t*N. Вычисляем последовательно при каждой наработке *ti* значения кривой убыли (вероятности безотказной работы) по формуле:

. (1.1)

Значения кривой убыли, подсчитанные по формуле (1.1), заносим в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Значения кривой убыли (вероятности безотказной работы)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера отказов, i | 1 | 2 | … | N |
| Ресурсы изделий, ti | t1 | t2 | … | tN |
| Значения кривой убыли, Qi | Q1 | Q2 | … | QN |

1. Проводим анализ данных таблицы. Если в таблице 1.1 среди значений кривой убыли есть значение Qi, равное 0,8, то оценка 80%-го гамма-ресурса  будет равна ti. Если в таблице 1.1 нет значений кривой убыли, равных 0,8, то находим такие Qi и Qi-1, для которых Qi-1 > 0,8 > Qi.
2. После этого определяем оценку 80%-ного гамма-ресурса методом линейной интерполяции по формуле:

. (1.2)

4) Находим среднее значение ресурса, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации. Для расчета оценок среднего ресурса , среднего квадратического отклонения ресурса  и коэффициента вариации ресурса  используются формулы:

; (1.3)

; (1.4)

. (1.5)

**2 Пример**

Испытывались *N*=13 двигателей. Их ресурс был исчерпан при наработках t1 = 3000, t2 =3500,t3  = 3700, t4 = 4000, t5 = 4200,t6 = 4300,t7 = 4500, t8  = 4800, t9 = 4900, t10 = 5100, t11 = 5400, t12 = 5500, t13 = 6000 мото-ч. Определить оценки характеристик ресурса двигателей и построить график кривой убыли ресурса.

Решение:

1. Находим значения кривой убыли ресурса по формуле (1.1):

;

;

 и т.д.

1. Записываем полученные значения кривой убыли ресурса (вероятности безотказной работы двигателей) в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Значения вероятности безотказной работы двигателей

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера отказов, i | 1 | 2 | 3 | … |
| Ресурсы изделий, ti | 3000 | 3500 | 3700 | … |
| Значения кривой убыли, Qi | 0,9286 | 0,8571 | 0,7857 | … |

3) Проводим анализ данных таблицы. Из таблицы видим, что Q2 >0,8> Q3. По формуле (1.2) находим:

 мото-ч.

4) Пользуясь формулами (1.3), (1.4) и (1.5), находим:

а) средний ресурс испытываемых двигателей



 = 4530 мото-ч.;

б) среднее квадратическое отклонение ресурса

 = 860 мото-ч;

в) коэффициент вариации ресурса

.

г) построение графика кривой убыли

 Qi

 1,0

 0,8

 0,6

 0,4

 0,2

 0

 3000 3500 3700 ti, мото-ч

 мото-ч

Рисунок 1 – График кривой убыли ресурса

**3 Задание**

На испытание по плану [*N, U, N*] поставлено *N*=13 двигателей. Их ресурс был исчерпан при наработках, приведенных в таблице 1.3.

Определить оценки характеристик ресурса двигателей (80-% ресурс, средний ресурс, среднее квадратическое отклонение ресурса и коэффициент вариации).

Таблица 1.3 – Значения наработок двигателей, мото-ч

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ВариантНаработки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| *t1* | *2500* | *2400* | *2300* | *2200* | *2100* | *2000* | *1900* | *1800* |
| *t2* | *2800* | *2700* | *2600* | *2500* | *2400* | *2300* | *2200* | *2100* |
| *t3* | *3000* | *2900* | *2800* | *2700* | *2600* | *2500* | *2400* | *2300* |
| *t4* | *3100* | *3000* | *2900* | *2800* | *2700* | *2600* | *2500* | *2400* |
| *t5* | *3600* | *3500* | *3400* | *3300* | *3200* | *3100* | *3000* | *2900* |
| *t6* | *4200* | *4100* | *4000* | *3900* | *3800* | *3700* | *3600* | *3500* |
| *t7* | *4600* | *4500* | *4400* | *4300* | *4200* | *4100* | *4000* | *3900* |
| *t8* | *5100* | *5000* | *4900* | *4800* | *4700* | *4600* | *4500* | *4400* |
| *t9* | *5300* | *5200* | *5100* | *5000* | *4900* | *4800* | *4700* | *4600* |
| *t10* | *5800* | *5700* | *5600* | *5500* | *5400* | *5300* | *5200* | *5100* |
| *t11* | *6100* | *6000* | *5900* | *5800* | *5700* | *5600* | *5500* | *5400* |
| *t12* | *6300* | *6200* | *6100* | *6000* | *5900* | *5800* | *5700* | *5600* |
| *t13* | *6500* | *6400* | *6300* | *6200* | *6100* | *6000* | *5900* | *5800* |

**4 Порядок выполнения расчетно-графической работы**

4.1 Составить схему плана испытаний [*NUN*].

4.2 Рассчитать значения кривой убыли по формуле (1.1).

4.3 Записать полученные значения кривой убыли (вероятности безотказной работы двигателей) в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Значения вероятности безотказной работы двигателей

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера отказов, i | 1 | 2 | 3 | … |
| Ресурсы изделий, ti |  |  |  |  |
| Значения кривой убыли, Qi |  |  |  |  |

4.4 Провести анализ данных таблицы 1.4.

4.5 Построить график гривой убыли и на нем показать значение 80%-го ресурса.

4.6 Пользуясь формулами (1.3 – 1.5) найти средний ресурс испытываемых двигателей, среднее квадратическое отклонение ресурса и коэффициент вариации.

4.7 Составить отчет по работе.

**Отчет по расчетно-графической работе**

**Расчетно-графеская работа №1**

**Оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов**

**при полных испытаниях**

1. Цель работы

2. Задание.

3. Выполнение работы.

3.1 Схема полного плана испытаний [*NUN*].

3.2 Расчет значений кривой убыли (вероятности безотказной работы).

3.3 Составление таблицы вероятности безотказной работы.

3.4 Анализ данных таблицы.

3.5 Построение графика кривой убыли.

3.6 Расчет среднего ресурса испытываемых двигателей, среднего квадратического отклонения ресурса и коэффициента вариации.

3.7 Выводы по работе.

Работу выполнил: / /

Работу принял: / Е.А. Шапиро /

**Контрольные вопросы для допуска и защиты работы**

1. Что такое план испытаний? Дайте определение.
2. При каких условиях план испытаний можно считать заданным?
3. Перечислите основные планы испытаний машин на надежность.
4. В чем сущность полного плана испытаний [*NUN*]?

**Расчетно-графическая работа №2**. **Прогнозирование ресурса машин и агрегатов при усеченных испытаниях**

**Цель работы**: ознакомиться с методикой расчета 80-%-го ресурса капитально отремонтированных машин и агрегатов при усеченных испытаниях на надежность, в течение которых исчерпали ресурс не менее 20% изделий.

**1 Методические указания**

В данной работе оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов производится при усеченном плане испытаний [*NUТ*].

В узком смысле под планом испытаний понимают правила, устанавливающие объем выборки, порядок проведения испытаний и критерии их прекращения. Для названных элементов плана испытаний используют символические обозначения. Наименование плана принято бозначать тремя буквами: первая ‑ число испытываемых объектов (*N*); вторая ‑ наличие *(R)* или отсутствие *(U)* восстановлений на время испытаний в случае отказа; третья ‑ критерий прекращения испытаний (по истечению заданного времени *Т;* после наступления г-го отказа, после отказа всех объектов).

Усеченное испытание означает, что под наблюдением находится *N* объектов и испытания проводятся до заранее заданной наработки *Т*, одинаковой для всех изделий; при этом только часть изделий исчерпает ресурс, при наработках *t*1 , *t*2 ,…, *tn*, а остальные *k* = *N – n* изделий, не исчерпавших ресурс, снимаются с испытаний при наработке *Т*.

При усеченном плане испытаний [*NUТ*], модель которого изображена на рисунке 2.1, наблюдается состояние всех *N* объектов в течение наработки *Т*.

 *Ni*

 *N* x *tN*

 *…*

 4 x *t4*

 3 о *t3*

 2 х *t2*

 1 o *t1*

 *T* *t*

х – отказ объекта; о‑ приостановка испытаний (наблюдений)

Рисунок 2.1 – Модель плана испытаний [*NUТ*]

При первом же отказе *i-*го объекта с наработкой *ti*< T дальнейшее наблюдение за объектом прекращается.

При усеченных испытаниях, в течение которых исчерпали ресурс не менее 20% изделий расчет оценки 80%-ного гамма-ресурса  проводится следующим образом.

1. Располагаем наработки отказавших изделий в порядке возрастания:

*t*1 < *t*2 < *t*n (рисунок 2.1). Вычисляем последовательно при каждой наработке *ti* значения кривой убыли (вероятности безотказной работы) по формуле (2.1) для 1 ≤ i ≤ n.

2) Вычисляем также значение кривой убыли при наработке, равной моменту усечения *Т*

. (2.1)

Значения кривой убыли, подсчитанные по формулам (2.1), заносим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Значения кривой убыли (вероятности безотказной работы)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера отказов, i | 1 | 2 | … | n |  |
| Ресурсы изделий, tiПродолжительность испытаний Т | t1 | t2 | … | tn | T |
| Значения кривой убыли, Qi, Q(T) | Q1 | Q2 | … | Qn | Q(T) |

3) Проводим анализ данных таблицы. Если в таблице 2.1 среди значений кривой убыли есть значение Qi, равное 0,8, то оценка 80%-го гамма-ресурса  будет равна ti. Если в таблице 2.1 нет значений кривой убыли, равных 0,8, то находим такие Qi и Qi-1, для которых Qi-1 > 0,8 > Qi.

1. После этого определяем оценку 80%-ного гамма-ресурса методом линейной интерполяции по формуле (1.2).
2. Оценку среднего ресурса можно ориентировочно считать в полтора раза большей, чем оценку 80%-ного гамма ресурса:

=1,5 (2.2)

где  ‑ средний ресурс, мотто-ч.

 ‑ 80%-ый гамма-ресурс.

**2 Пример**

Испытывались 15 двигателей до наработки Т = 4000 мото-ч. За время испытаний четыре двигателя исчерпали ресурс при наработках t1 = 2900,

t2 =3300,t3  = 3500, t4 = 3800 мото-ч. Найти оценку 80%-ного гамма-ресурса испытываемых двигателей.

Решение:

1. По формуле (1.1) определяем значения кривой убыли для наработок отказавших двигателей:

;

;

;

.

1. Находим также значение кривой убыли при наработке *Т* по формуле (2.1):

.

1. Записываем значения кривой убыли в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Значения вероятности безотказной работы двигателей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера отказов, i | 1 | 2 | 3 | 4 |  |
| Ресурсы изделий, tiПродолжительность испытаний Т | 2900 | 3300 | 3500 | 3800 | 4000 |
| Значения кривой убыли, Qi, Q(T) | 0.9375 | 0,875 | 0,8125 | 0,75 | 0,7333 |

1. Проводим анализ данных таблицы. Из таблицы видим, что Q3 >0,8> Q4.

По формуле (1.2) находим оценку 80% гамма ресурса испытываемого двигателя:

 мото-ч.

5) Определяем средний ресурс испытываемых двигателей по формуле (2.2)

=1,5∙3560 = 5340 мото-ч.

6) Строим график кривой убыли ресурса (рисунок 2.2).

 Qi

 1,0

 0,8

 0,6

 0,4

 0,2

 0

 2900 3300 3500 3800 ti, мото-ч

 мото-ч

Рисунок 2.2 – График кривой убыли ресурса

**3 Задание**

Испытывались на надежность 15 двигателей до наработки Т= 5000 мото-ч. За время испытаний четыре двигателя исчерпали ресурс при наработках, приведенных в таблице 2.3.

Определить для своего варианта оценку 80-% -ного гамма-ресурса испытываемых двигателей.

Таблица 2.3 – Значения наработок двигателей, мото-ч

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ВариантНаработки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| t1 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 |
| t2 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 |
| t3 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 |
| t4 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 |

**4 Порядок выполнения работы**

4.1 Составить модель плана испытаний [*NUТ*] (рисунок 2.1).

4.2 Рассчитать значения кривой убыли ресурса для наработок отказавших двигателей по формуле (1.1).

4.3 Найти значение кривой убыли при наработке *Т* по формуле (2.1).

4.4 Записать полученные значения кривой убыли (вероятности безотказной работы двигателей) в таблицу 2.4

Таблица 2.4 – Значения вероятности безотказной работы двигателей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера отказов, i | 1 | 2 | 3 | 4 |  |
| Ресурсы изделий, tiПродолжительность испытаний Т |  |  |  |  | 5000 |
| Значения кривой убыли, Qi, Qi(Т) |  |  |  |  |  |

4.5 Провести анализ данных таблицы 2.

4.6 По формуле (1.2) найти оценку 80%-ного гамма-ресурса испытываемого двигателя.

4.7 По формуле (2.2) найти оценку среднего ресурса.

4.8 Построить график гривой убыли и на нем показать значение 80%-го ресурса.

4.9 Составить отчет по работе.

**Отчет по работе**

**Расчетно-графическая работа № 2**

**Прогнозирование ресурса машин и агрегатов**

**при усеченных испытаниях**

1. Цель работы

2. Задание.

3. Выполнение работы.

3.1 Схема усеченного плана испытаний.

3.2 Расчет значений кривой убыли (вероятности безотказной работы).

3.3 Составление таблицы вероятности безотказной работы.

3.4 Анализ данных таблицы.

3.5 Построение графика кривой убыли.

3.6 Расчет 80%-ного гамма-ресурса и среднего ресурса двигателя.

3.7 Выводы по работе.

Работу выполнил: / /

Работу принял: / Е.А. Шапиро /

**Контрольные вопросы для допуска и защиты работы**

1. В чем сущность усеченного плана испытаний?
2. Как классифицируются отказы машин в зависимости от долговечности?
3. Дайте характеристику плана испытаний *NUT*.
4. Как рассчитывается значение кривой убыли при наработке, равной моменту усечения?

5. Что такое гамма-процентный ресурс?

**Расчетно-графическая работа №3. Расчет характеристик ресурса машин и агрегатов при многократно-усеченных испытаниях**

**Цель работы**: ознакомиться с методикой расчета 80-%-го ресурса капитально отремонтированных машин и агрегатов при многократно-усеченных испытаниях на надежность.

**1 Методические указания**

В данной работе оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов производится при многократно-усеченном плане испытаний [*NRТ*].

Под планом испытаний понимают правила, устанавливающие объем выборки, порядок проведения испытаний и критерии их прекращения. Для названных элементов плана испытаний используют символические обозначения. Наименование плана принято бозначать тремя буквами: первая ‑ число испытываемых объектов (*N*); вторая ‑ наличие *(R)* или отсутствие *(U)* восстановлений на время испытаний в случае отказа; третья ‑ критерий прекращения испытаний (по истечению заданного времени *Т;* после наступления г-го отказа, после отказа всех объектов).

Согласно плана [*NRT*] наблюдения ведутся за *N* машинами до их наработки *Т* независимо от того, у скольких машин и сколько показателей надежности будут зарегистрированы (рисунок 3.1).

  *tN1 tN2 TN*

 *N* x x o

 *…*

 ….

 *T3*

 3 о

 *t2.1 T2*

 2 х o

 *t1.1 t1.2 T1*

 1 х х o

 *T* *t*

х – отказ объекта; о‑ приостановка испытаний (наблюдений)

Рисунок 3.1‑ Модель плана испытаний [*NRT*]

Буква *R*, как в этом, так и в других планах наблюдения, означает, что предусматривается восстановление работоспособности вышедших из строя машин или их элементов и их повторная постановка под наблюдение.

Таким образом, при плане [*NRT*] количество наблюдаемых машин *N* остается постоянным за все время наблюдения.

Многократно-усеченное испытание означает, что под наблюдением находятся *N* изделий, из которых одна часть исчерпывает ресурс при наработках *t1, t2, …, tn*, а другая часть снимается с испытаний до исчерпания ресурса при наработках *Т1, Т2, …, ТN-n*, причем наработки некоторых, не исчерпавших ресурс, изделий могут быть меньше наработок некоторых изделий, исчерпавших ресурс.

При многократно-усеченных испытаниях, в течение которых исчерпали ресурс не менее 20% изделий, методика расчета характеристик ресурса сводится к следующему.

1) Располагаем в порядке возрастания наработки неотказавших изделий: Т1 < Т2 < … < Тк. Число *к* меньше или равно (N-n), так как некоторые из наработок снятых с испытаний изделий могут совпадать. Пронумеруем интервалы наработки: 1-й интервал – (0, Т1), 2-й интервал – (Т1,Т2), …, к-ый интервал – (Тк-1, Тк), (к+1) –ый интервал – (Тк + ∞).

Обозначим через q1 количество изделий, снятых с испытаний при наработке Т1; через q2 – количество изделий, снятых с испытаний при наработке Т2; …. через qк – количество изделий, снятых с испытаний при наработке Тк.

Обозначим через n1 количество изделий, отказавших в 1-м интервале наработки; через n2 – количество изделий, отказавших во 2-м интервале наработки; … через nк+1 – количество изделий, отказавших в (к+1) –ом интервале наработки.

Наконец, обозначим через N1 количество изделий, продолжающих эксплуатироваться после наработки Т1; через N2 – количество изделий, продолжающихся эксплуатироваться после наработки Т2; … через Nк количество изделий, продолжающих эксплуатироваться после наработки Тк.

Очевидно, что выполняются следующие соотношения:

 (3.1)

Заносим значения Т1, Т2,…,Тк; q1, q2, qк ; n1, n2, nк+1; N, N1,…,Nк в таблицу 3.1.

2) Подсчитываем значения кривой убыли при наработках Т1, Т2,…,Тк по следующим формулам:

 (3.2)

3) Заносим значения кривой убыли в таблицу 3.1.

4) Значения кривой убыли при наработках отказавших изделий *t*1, *t*2,…, *t*n вычисляются по формулам:

 (3.3)

Таблица 3.1 ‑ Значения кривой убыли

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера интервалов наработки | 1 | 2 | …. | к | к+1 |
| Наработки снятых с испытаний изделий | 0 | Т1 | Т2 | … | Тк |
| Количество снятых с испытаний изделий | 0 | q1 | q2 | … | qк |
| Количество изделий, отказавших в интервалах наработки | n1 | n2 | … | nк | nк+1 |
| Количество изделий, продолжающих испытываться | N | N1 | N2 | … | Nк |
| Значения кривой убыли | 1 | Q(T) | Q(T1) | … | Q(Tк) |

Или кратко

 (3.4)

считая, что to = 0 и Q(0) = 1.

Вычисления по формулам (3.4) проводятся следующим образом.

Если t1 < T1 , то поправка  находится по формуле:

. (3.5)

Если среди наработок неотказавших изделий есть наработки, которые меньше t1, максимальная из них равна Тγ, то  определяется по формуле:

. (3.6)

Далее, используя формулы (3.4), вычисляются последовательно Q(t1), , Q(t2),…, , Q(tn).

При этом, если между наработками ti-1 и ti нет наработок неотказавших изделий, то поправка  равна предыдущей поправке .

Если же между наработками ti-1 и ti есть наработки неотказавших изделий, а максимальная из них равна Те, то  определяется по формуле:

. (3.7)

5) Располагаем все наработки отказавших и неотказавших изделий в порядке возрастания, обозначив их как R1, R2,…, и заносим эти наработки в таблицу 3.2 вместе со значениями кривой убыли при них.

Таблица 3.2 ‑ Значения кривой убыли

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номера наработок, i | 1 | 2 | … |
| Наработки отказавших и неотказавших изделий, Ri | R1 | R2 | … |
| Значения кривой убыли, Qi | Q1 | Q2 | … |

Пользуясь таблицей 3.2, находим оценку 80%-ного гамма ресурса  по правилу, рассмотренному в работе 1.

**2 Пример**

Испытывались 12 двигателей. 6 двигателей исчерпали ресурс при наработках t1 = 3000, t2 =3500,t3  = 4200, t4 = 5000. , t5 = 5300, t6 = 5600 мото-ч. Остальные 6 двигателей исчерпали ресурс и были сняты с испытаний при наработках: Т1 = 3800, Т2 =4100,Т3  = 4300, Т4 = 4800. , Т5 = 5400, Т6 = 5700 мото-ч.

Найти оценку 80%-ного гамма-ресурса испытываемого двигателя.

Решение.

1. Заполняем таблицу по правилам, изложенным в пункте 1.
2. Пользуясь формулами (3.2), находим значения кривой убыли при наработках неотказавших изделий, которые заносим в таблицу 3.3.



Таблица 3.3 ‑ Значения кривой убыли

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера интервалов наработки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Наработки снятых с испытаний изделий | 0 | Т13800 | Т24100 | Т34300 | Т44800 | Т55400 | Т65700 |
| Количество снятых с испытаний изделий | 0 | q11 | q21 | q31 | q41 | q51 | q61 |
| Количество изделий, отказавших в интервалах наработки | n12 | n20 | n31 | n40 | n52 | n61 | n70 |
| Количество изделий, продолжа-ющих испытываться | N12 | N19 | N28 | N36 | N45 | N52 | N60 |
| Значения кривой убыли | 1 | Q(T1)0,8333 | Q(T2)0,833 | Q(T3)0,7292 | Q(T4)0,7292 | Q(T5)0,4375 | Q(T6)0,2188 |

Находим значения кривой убыли при наработках отказавших изделий по формулам (3.4) – (3.7). При этом



Откуда получим:



Далее



Откуда



Продолжаем вычисления:



Располагаем наработки отказавших и неотказавших изделий в порядке возрастания и заносим их вместе со значениями кривой убыли в таблицу 3.4.

3) Из таблицы видим, что Q4 >0,8> Q5. Следовательно

 мото-ч.

4) Определим по формуле (2.2) средний ресурс

=1,5∙4140 = 6210 мото-ч.

Таблица 3.4 – Значения кривой убыли

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера наработок, i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Наработки отказавших и неотказавших изделий, Ri | 3000 | 3500 | 3800 | 4100 | 4200 | 4300 |
| Значения кривой убыли, Qi | 0,9231 | 0,8462 | 0,8333 | 0,8333 | 0,7522 | 0,7292 |

Продолжение таблицы 3.4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера наработок, i | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Наработки отказавших и неотказавших изделий, Ri | 4800 | 5000 | 5300 | 5400 | 5600 | 5700 |
| Значения кривой убыли, Qi | 0,7232 | 0,6268 | 0,5014 | 0,4375 | 0,3343 | 0,2188 |

4) Строим график кривой убыли ресурса (рисунок 3.2).

 Qi

 1,0

 0,8

 0,6

 0,4

 0,2

 0

 3500 3800 4100 4200 ti, мото-ч

 мото-ч

Рисунок 3.2 – График кривой убыли ресурса

**3 Задание**

Испытывались на надежность 12 двигателей. 6 двигателей исчерпали ресурс пр наработках ti (таблица 1). Остальные 6 двигателей исчерпали ресурс и были сняты с испытаний при наработках Тi (таблица 3.5)

Для своего варианта найти оценку 80-% -ного гамма-ресурса испытываемого двигателя.

Таблица 3.5 – Значения наработок двигателей, мото-ч

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ВариантНаработки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| *t1* | 3010 | 3020 | 3030 | 3040 | 3050 | 3060 | 3070 | 3080 |
| *t2* | 3510 | 3520 | 3530 | 3540 | 3550 | 3560 | 3570 | 3580 |
| *t3* | 4210 | 4220 | 4230 | 4240 | 4250 | 4260 | 4270 | 4280 |
| *t4* | 5010 | 5020 | 5030 | 5040 | 5050 | 5060 | 5070 | 5080 |
| *t5* | 5310 | 5320 | 5330 | 5340 | 5350 | 5360 | 5370 | 5380 |
| *t6* | 5610 | 5620 | 5630 | 5640 | 5650 | 5660 | 5670 | 5680 |
| *Т1* | 3810 | 3820 | 3830 | 3840 | 3850 | 3860 | 3870 | 3880 |
| *Т2* | 4110 | 4120 | 4130 | 4140 | 4150 | 4160 | 4170 | 4180 |
| *Т3* | 4310 | 4320 | 4330 | 4340 | 4350 | 4360 | 4370 | 4380 |
| *Т4* | 4810 | 4820 | 4830 | 4840 | 4850 | 4860 | 4870 | 4880 |
| *Т5* | 5410 | 5420 | 5430 | 5440 | 5450 | 5460 | 5470 | 5480 |
| *Т6* | 5710 | 5720 | 5730 | 5740 | 5750 | 5760 | 5770 | 5780 |

**4 Порядок выполнения работы**

4.1 Составить схему многократно-усеченного плана испытаний [*NRT*] (рисунок 3.1).

4.2 Рассчитать значения кривой убыли по формуле (3.2).

4.3 Записать полученные значения кривой убыли (вероятности безотказной работы двигателей) в таблицу 3.3.

4.4 Найти значения кривой убыли при наработках отказавших изделий по формулам (3.4) – (3.7).

4.5 Расположить наработки отказавших и неотказавших изделий в порядке возрастания и занести их вместе со значениями кривой убыли в таблицу 3.4.

4.6 Провести анализ данных таблицы 3.7.

4.7 Пользуясь формулой (1.2) определить оценку 80%-го гамма-ресурса испытываемого двигателя.

4.8 По формуле (2.2) найти оценку среднего ресурса.

4.9 Построить график гривой убыли и на нем показать значение 80%-го ресурса.

3.9 Составить отчет по работе.

Таблица 3.6 – Значения кривой вероятности безотказной работы

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера интервалов наработки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Наработки снятых с испытаний изделий | 0 | Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | Т5 | Т6 |
| Количество снятых с испытаний изделий |  | q1 | q2 | q3 | q4 | q5 | q6 |
| Количество изделий, отказав-ших в интервалах наработки | n1 | n2 | n3 | n4 | n5 | n6 | n7 |
| Количество изделий, продолжа-ющих испытываться | N | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 |
| Значения кривой убыли |  | Q(T1) | Q(T2) | Q(T3) | Q(T4) | Q(T5) | Q(T6) |

Таблица 3.7 – Значения кривой убыли

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера наработок, i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Наработки отказавших и неотказавших изделий, Ri |  |  |  |  |  |  |
| Значения кривой убыли, Qi |  |  |  |  |  |  |

Продолжение таблицы 3.7

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера наработок, i | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Наработки отказавших и неотказавших изделий, Ri |  |  |  |  |  |  |
| Значения кривой убыли, Qi |  |  |  |  |  |  |

**Отчет по расчетно-графической работе №3.**

**Расчет характеристик ресурса машин и агрегатов**

**при многократно-усеченных испытаниях**

1. Цель работы

2. Задание.

3. Выполнение работы.

3.1 Схема многократно-усеченного плана испытаний.

3.2 Расчет значений кривой убыли (вероятности безотказной работы).

3.3 Составление таблицы вероятности безотказной работы.

3.4 Анализ данных таблицы.

3.5 Построение графика кривой убыли.

3.6 Расчет оценки 80%-го гамма-ресурса и среднего ресурса испытываемого двигателя.

3.7 Выводы по работе.

Работу выполнил: / /

Работу принял: / Е.А. Шапиро /

**Контрольные вопросы для допуска и защиты работы**

1. Дайте характеристику многократно-усеченного плана испытаний?
2. Как классифицируются отказы машин в соответствии с причинами отказов?
3. Дайте характеристику плану NUr.
4. В чем сущность плана испытаний NRr?

5. Когда рекомендуется использовать план NUN?

**Расчетно-графическая работа № 4. Расчет характеристик надежности при усеченных или многократно-усеченных испытаниях, в течение которых исчерпали ресурс менее 20% машин**

**Цель работы**: ознакомиться с методикой расчета 80-%-го ресурса капитально отремонтированных машин и агрегатов при испытаниях, в течение которых исчерпали ресурс менее 20% машин

**1 Методические указания**

Для сбора информации по надежности капитально отремонтированных автомобилей проводят их испытания на машиноиспытательных станциях (МИС) или наблюдают за их работой в условиях автохозяйства.

Надежность капитально отремонтированной техники оценивается в основном межремонтными ресурсами, показателями безотказности и коэффициентом готовности.

В процессе сбора информации в рядовых условиях эксплуатации возможны различные варианты планов наблюдений и соответственно видов информации.

Предусматривается пять основных планов наблюдений:

1) План *NUN*. Наблюдения ведут до такой наработки, при которой у всех *N* машин, находящихся под наблюдением, будут зафиксированы показатели надежности, интересующие наблюдателя. Буква *U*, как в этом, так и в других планах испытания, означает, что предусматривается снятие с наблюдения тех машин, у которых зарегистрирован показатель надежности.

2) План *NUТ.* Наблюдения ведутся за *N* машинами до наперед заданной наработки *Т* независимо от того, у скольких машин из числа *N* будут зафиксированы показатели надежности.

При планах *NUN* и *NUТ* количество наблюдаемых машин постепенно уменьшается по мере увеличения наработки *Т*.

3) План *NRT*. Наблюдения ведутся за *N* машинами до их наработки *Т* независимо от того, у скольких машин и сколько показателей надежности будут зарегистрированы.

Буква *R*, как в этом, так и в других планах наблюдения, означает, что предусматривается восстановление работоспособности вышедших из строя машин или их элементов и их повторная постановка под наблюдение.

Таким образом, при плане *NRT* количество наблюдаемых машин *N* остается постоянным за все время наблюдения.

4) План *NUr.* Наблюдения ведут до фиксации у всех *N* машин наперед заданного количества *r* показателей надежности (например, *r* отказов).

5) План *NRr* – то же, что и план *NUr*, при условии восстановления работоспособности вышедших из строя машин и повторного их наблюдения.

При сборе информации по надежности машин наибольшее применение находят планы наблюдений *NUN, NUT и NRT*.

План *NUN* используют главным образом при сборе информации о технических ресурсах и сроках службы машин (элементов) относительно невысокой долговечности. При таком плане наблюдений можно получить наиболее полную информацию, а следовательно, и наиболее точную информацию, которая называется *полной* или *неусеченной*.

Проводить ресурсные испытания капитально отремонтированных автомобилей при плане *NUN* практически невозможно вследствие их относительно высокой долговечности. Поэтому при сборе информации по показателям долговечности таких машин используют план наблюдения *NUT* c ограниченной наработкой *Т* до конца наблюдения. При таком плане наблюдения предельное состояние будет зарегистрировано только у части машин (желательно, чтобы не меньше чем у 50% наблюдаемых машин *N*). Полученная при таком плане наблюдения информация называется *усеченной*.

При пользовании планом *NUT* возможны случая прежде временного снятия с наблюдения некоторых исправных машин (передача машин в другое автохозяйство, рекламация машин и др.), пробег которых не достиг заданных значений.

В этом случае информация будет не только усеченной, но и с выпадающими точками. Такая информация называется *многократно-усеченной*, а прежде временно снятые с наблюдения исправные машины – *приостановленными*.

Таким образом, при получении оценок ресурса по информации об отказах изделий следует различать три типа испытаний или наблюдений (рисунок 4.1):

1) *полные* испытания: под наблюдением находятся *N* изделий и испытания проводятся до исчерпания ресурса всеми изделиями; наработки, при которых изделия исчерпали ресурс, составляют полную выборку *t1, t2, …, tN* (рисунок 4.1а);

2) *усеченные* испытания: под наблюдением находятся *N* изделий и испытания проводятся до заранее заданной наработки *Т*, одинаковой для всех изделий; при этом только часть изделий исчерпает ресурс, при наработках *t1, t2, …, tn*, а остальные N – n изделий, не исчерпавших ресурс, снимаются с испытаний при наработке *Т* (рисунок 4.1 б);

3) *многократно-усеченные* испытания: под наблюдением находятся *N* изделий, из которых одна часть исчерпывает ресурс при наработках *t1, t2, …, tn*, а другая часть снимается с испытаний до исчерпания ресурса при наработках *Т1, Т2, …, ТN-n*, причем наработки некоторых, не исчерпавших ресурс, изделий могут быть меньше наработок некоторых изделий, исчерпавших ресурс (рисунок 4.1 в).

а) Наработка

 x x x x

 $t\_{1}$ $t\_{2}$ $t\_{3}$ $t\_{N}$

б) Наработка

 x x x |

 $t\_{1}$ $t\_{2}$ $t\_{n}$ $ T\_{(n+1,n+2,….,N)}$

в) $T\_{1}$ $T\_{2}$ $T\_{N-n} н$ Наработка

 x x | | x |

 $t\_{1}$ $t\_{2}$ $ t\_{3} t\_{n}$

Рисунок 4.1 – Три типа планов испытаний:

а) полные испытания; б) усеченные испытания; в) многократно усеченные испытания

Расчет характеристик ресурса при усеченных или многократно-усеченных испытаниях, в течение которых исчерпали ресурс менее 20% изделий сводится к следующему:

1) На основании данных эксплуатации изделий – предшественников задаемся предположительным коэффициентом вариации *ν* ресурса детали или сборочной единицы, долговечность которой оценивают. Рекомендуются следующие значения *ν*: для ресурса деталей ходовой части и цилиндро-поршневой группы двигателей в доремонтном периоде – 0,3; для ресурса агрегатов трансмиссии в доремонтном периоде, а также двигателей в межремонтном периоде – 0,4; для агрегатов трансмиссии в межремонтном периоде – 0,6; для подшипников качения, валов зубчатых передач, работающих в закрытых агрегатах, ‑ 0,4-0,8 (при большой загрузке – 0,4); для деталей, теряющих работоспособность в основном по внезапным отказам, ‑ 0,8.

Предполагается, что ресурс распределен по закону Вейбулла.

2) По коэффициенту вариации *ν* устанавливается параметр m формы распределения ресурса (рисунок 4.2).

3) Оценка 80%-ного гамма-ресурса находится по формуле:

 (4.1)

где r – число отказавших изделий;

 t1,…,tr – наработки отказавших изделий;

 T1,…,TN-r – наработки, при которых были сняты с испытаний неотказавшие изделия.

4) В случае усеченных испытаний, когда все неотказавшие изделия испытываются до одной наработки Т, вместо формулы (4.1) можно использовать более простую формулу для оценки 80%-ного гамма-ресурса:

 (4.2)

где находится из приложения 1 по известным значениям  и r (В приложении 1 приведены значения коэффициента к при коэффициентах вариации ресурса, равных 0,3; 0,4; 0,6; 0,8).

5) Если наработки, до которых испытываются изделия, незначительно отличаются между собой, то для определения оценки 80%-ного гамма-ресурса можно пользоваться формулой (4.2), подставляя вместо Т значение 

6) Если требуется найти оценку среднего ресурса, то ее определяют по формуле:

 (4.3)

где  находится из таблицы 4.1.

Таблица 4.1 – Значения коэффициента с

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| с | 1,35 | 1,56 | 2,14 | 3,06 |

**2 Примеры**

**Пример 1.** Экспериментальными исследованиями установлено, что коэффициент вариации ресурса двигателей определенной марки равен 0,4. Предполагалось испытать 12 двигателей до наработки, равной 3000 мото-ч. При испытаниях два двигателя исчерпали ресурс, остальные испытывались до 3000 мото-ч. Определить оценку 80%-ного гамма-ресурса двигателей.

Из таблицы П1 приложения находим значение К при = 0,4, N = 12 и r = 2: К = 1,08.

Определяем оценку 80%-ного гамма-ресурса двигателей по выражению (4.2):

 = 1,08∙3000 = 3240 мото-ч.



Рисунок 4.2 – Зависимости параметра формы распределения Вейбулла от коэффициента вариации

**Пример 2**. Наблюдения проводились за 26 автомобилями. Наработки автомобилей незначительно отличались между собой; средняя наработка за период наблюдений составила 2600 мото-ч. На двух автомобилях муфта сцепления исчерпала ресурс, на остальных ее ресурс не был исчерпан. Исследованиями установлено, что коэффициент вариации ресурса муфты сцепления равен 0,3. Определить оценку 80%-ного гамма-ресурса муфты сцепления.

Из таблицы П1 приложения находим К для = 0,3; N = 26 и r = 2: К = 1,32.

Определяем оценку 80%-ного гамма-ресурса муфты сцепления:

 = 1,32∙2600 = 3430 мото-ч.

**Пример 3**. Испытывались 16 коробок передач. За период испытаний три коробки передач исчерпали ресурс при наработках 1000, 1200, 2000 мото-ч. Из неисчерпавших ресурс коробок передач пять были сняты с испытаний при наработке, близкой к 1200 мото-ч, восемь – при наработке близкой к 2300 мото-ч. Определить оценку 80%-ного гамма-ресурса коробки передач, если известно, что коэффициент вариации его ресурса равен 0,4.

Из рисунка 4.1 по коэффициенту вариации, равному 0,4, находим параметр m формы распределения: m = 2,7.

По формуле (4.1) определяем оценку 80%-ного гамма-ресурса коробки передач:

 мото-ч.

**Пример 4**. В перечисленных выше примерах, кроме оценок 80%-ного гамма-ресурса найти и оценки среднего ресурса.

Пользуясь таблицей 4.1 получаем:

‑ для двигателей  = 5050 мото-ч;

‑ для муфты сцепления  = 4630 мото-ч;

‑ для коробок передач  = 3190 мото-ч;

**3 Задания**

**Задание 1** Экспериментальными исследованиями установлено, что коэффициент вариации ресурса двигателей автомобиля равен 0,4. Предполагалось испытать 12 двигателей до наработки, равной 5000 мото-ч. При испытаниях два двигателя исчерпали ресурс, остальные испытывались до 5000 мото-ч.

Определить оценку 80%-ного гамма-ресурса двигателей.

**Задание 2.** Наблюдения проводились за 25 автомобилями. Пробеги автомобилей незначительно отличались между собой; средний пробег за период наблюдений составил 26 тыс. км. На двух автомобилях муфта сцепления исчерпала ресурс, на остальных ее ресурс не был исчерпан. Исследованиями установлено, что коэффициент вариации ресурса муфты сцепления равен 0,3. Определить оценку 80%-ного гамма-ресурса муфты сцепления.

**Задание 3**. Испытывались 16 коробок передач. За период испытаний три коробки передач исчерпали ресурс при наработках (таблица 4.2). Из неисчерпавших ресурс коробок передач пять были сняты с испытаний при наработке, близкой к 1800 мото-ч, восемь – при наработке близкой к 2400 мото-ч. Определить оценку 80%-ного гамма-ресурса коробки передач, если известно, что коэффициент вариации их ресурса равен 0,4.

**Задание 4.** В перечисленных выше заданиях, кроме оценок 80%-ного гамма-ресурса найти и оценки среднего ресурса.

Таблица 4.2 – Значения наработок коробок передач, мото-ч

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ВариантНаработки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| t1 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 |
| t2 | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 |
| t3 | 2000 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 |

**4 Порядок выполнения работы**

4.1 Из рисунка 4.1 по коэффициенту вариации находим параметр m формы распределения.

4.2 По формуле (4.1) определяем оценку 80%-ного гамма-ресурса двигателей, муфт сцепления и коробок передач.

4.3 Пользуясь таблицей 4.1 получаем значения среднего ресурса испытываемых двигателей, муфт сцепления и коробок передач.

4.4 Составить отчет по работе.

**Отчет по расчетно-графической работе №4.**

**Расчет характеристик надежности при испытаниях, в течение которых исчерпали ресурс менее 20% машин**

1. Цель работы

2. Задание.

3. Выполнение работы.

3.1 Расчет 80% -ного гамма-ресурса двигателей.

3.2 Расчет 80% -ного гамма-ресурса муфт сцепления.

3.3 Расчет 80% -ного гамма-ресурса коробок передач.

3.4 Расчет среднего ресурса агрегатов.

4 Выводы по работе.

Работу выполнил: / /

Работу принял: /Е.А. Шапиро /

**Контрольные вопросы для допуска и защиты работы**

1. Что такое назначенный ресурс ?
2. Что представляет собой в математическом смысле гамма-процентный ресурс?
3. В чем сущность плана испытаний NRT?
4. Когда сочетают между собой планы испытаний NUN, NUT и NRT?

**Расчетно-графическая работа №5. Расчет нижних доверительных границ для 80%-ного гамма-ресурса и среднего ресурса**

**Цель работы**: ознакомиться с методикой расчета нижних доверительных границ для 80-%-го гамма-ресурса и среднего ресурса.

**1 Методические указания**

Методика расчета нижних доверительных границ для 80%-ного гамма-ресурса и среднего ресурса сводится к следующему:

1) Коэффициент вариации *ν* ресурса изделий считается известным. Предполагается также, что ресурс распределен по закону Вейбулла. По коэффициенту вариации *ν* находим параметр m формы распределения ресурса (рисунок 5.1).

2) Нижняя доверительная граница 80%-ного гамма-ресурса при доверительной вероятности 0,8 определяется из выражения:

 (5.1)

где Т1,…,ТN – наработки изделий к окончанию испытаний.

3) В случае усеченных испытаний, когда все изделия испытываются до одной наработки Т, формула (8.1) принимает вид:

 (5.2)

где . Значения коэффициента d можно определить по номограмме приложения 2, зная значения N и m.

4) Нижняя доверительная граница для среднего ресурса при доверительной вероятности 0,8 определяется по формуле:

 (5.3)

где с – коэффициент, находится по таблице 4.1

**2 Примеры**

**Пример 1**. Наработки 20 автомобилей за период наблюдений незначительно отличались между собой и средняя наработка составила 3000 мото-ч. Ни на одном из автомобилей задний мост не исчерпал ресурс. Определить нижнюю доверительную границу для 80%-ного гамма-ресурса при доверительной вероятности 0,8, если известно, что коэффициент вариации ресурса равен 0,4.

Из рисунка 4.2 по коэффициенту вариации 0,4 находим, что параметр формы распределения ресурса равен m = 2,7. По номограмме рисунка 5.1 находим, что коэффициент d = 1,45. После этого определяем нижнюю доверительную границу:

 =1,45∙3000 = 4350 мото-ч.

**Пример 2.** Наблюдались 15 автомобилей, из них пять – до наработки 2000 мото-ч. Ни на одном из автомобилей ходовые части не исчерпали ресурс. Определить нижнюю доверительную границу для 80%-ного гамма-ресурса ходовой части при доверительной вероятности 0,8, если известно, что коэффициент вариации их ресурса равен 0,4.



Рисунок 5.1 – Номограмма для определения нижней доверительной границы 80%-ного гамма-ресурса в долях наработки за период испытаний с доверительной вероятностью 0,8

Из рисунка 4.2 по коэффициенту вариации 0,4 находим, что параметр m = 2,7. Пользуясь формулой (5.1), определяем нижнюю доверительную границу:

 мото-ч.

**Пример 3.** В перечисленных выше примерах требуется найти, кроме нижних доверительных границ для 80%-ного гамма-ресурса, нижние доверительные границы для среднего ресурса при доверительной вероятности 0,8.

Пользуясь формулой (8.3), получаем:

‑ для заднего моста

=1,56∙4350 = 6790 мото-ч;

‑ для ходовой части

 =1,56∙3586 = 5590 мото-ч.

**3 Задания**

**Задание 1** Наработки 15 автомобилей за период наблюдений незначительно отличались между собой и средняя наработка составила 2500 мото-ч. Ни на одном из автомобилей двигатель не исчерпал ресурс. Определить нижнюю доверительную границу для 80%-ного гамма-ресурса при доверительной вероятности 0,8, если известно, что коэффициент вариации ресурса равен 0,3.

**Задание 2.** Наблюдались 10 автомобилей, из них четыре – до наработки 3000 мото-ч. Ни на одном из автомобилей передние мосты не исчерпали ресурс. Определить нижнюю доверительную границу для 80%-ного гамма-ресурса переднего моста при доверительной вероятности 0,8, если известно, что коэффициент вариации их ресурса равен 0,3.

**Задание 3**. В перечисленных выше примерах требуется найти, кроме нижних доверительных границ для 80%-ного гамма-ресурса, нижние доверительные границы для среднего ресурса при доверительной вероятности 0,8.

**4 Порядок выполнения работы**

4.1 Из рисунка 4.2 по коэффициенту вариации находим параметр m формы распределения.

4.2 По номограмме рисунка 5.1 находим коэффициент d. После этого определяем нижнюю доверительную границу.

4.3 Пользуясь формулой (5.3) определяем доверительную границу для среднего ресурса.

4.4 Составить отчет по работе.

**Отчет по расчетно-графической работе №5.**

**Расчет нижних доверительных границ для 80%-ного гамма-ресурса и среднего ресурса**

1. Цель работы

2. Задание.

3. Выполнение работы.

3.1 Расчет доверительной границы 80%-ного гамма-ресурса двигателей.

3.2 Расчет доверительной границы 80%-ного гамма-ресурса переднего моста.

3.3 Расчет доверительной границы среднего ресурса двигателя и переднего моста.

4 Выводы по работе.

Работу выполнил: / /

Работу принял: /Е.А. Шапиро /

**Контрольные вопросы для допуска и защиты работы**

1. Как рассчитывается параметр *m* формы распределения ресурса ?
2. Как определить нижнюю доверительную границу для среднего ресурса?
3. Как рассчитать нижнюю доверительную границу для 80%-ного гамма-ресурса?
4. Как изменяется методика расчета доверительных границ ресурса в случае усеченных испытаний, когда все изделия испытываются до одной наработки Т?

Список используемой литературы

1 ОСТ 70/23.2. – 82. Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Сбор и обработка информации. М., 1983. ‑ 122 с.

2 Инструкция по оценке надежности машин. М., ГОСНИТИ, 1975. ‑ 40 с.

3 Методика сбора информации об изменениях технического состояния, износах и отказах тракторов. М., ГОСНИТИ, 1975. ‑ 35 с.

4 Таблицы для расчета надежности при распределении Вейбулла. Груничев А.С., Михайлов А.И., Шор Я.Б. Издательство стандартов.‑ М., 1974. ‑ 64 с.

5 Шапиро Е.А. Оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов: Учебное пособие / Кубан. Гос. Аграр. Ун-т.‑ Краснодар, 2009. – 43 с.

Учебное издание

**ШАПИРО Евгений Александрович**

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по дисциплине «Надежность механических систем»

Сдано в набор 16.12.2017. Подписано в печать 18.12.2017.

Формат 60x84 1/16. Гарнитура Times.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 4,88. Уч. изд. л. 6,87. Тираж 300 экз.

Заказ №

Кубанский государственный аграрный университет

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13

Типография КубГАУ. 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13