



**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ивановская государственная сельскохозяйственная
академия имени Д.К. Беляева»**

ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технического сервиса и механики

А.М. Баусов, В.В. Рябинин, А.М. Абалихин, В.В. Терентьев, А.А. Гвоздев

Обработка результатов экспериментальных исследований технических средств

Методические указания по выполнению лабораторных работ

**для подготовки обучающихся магистров очной и заочной форм
обучения по направлению 35.04.06 «Агроинженерия»**

Иваново, 2018

УДК 631.3.004.67.192

Рецензенты:

заведующий кафедрой механики и инженерной графики ФГБОУ ВО ИГХТУ
д.т.н., профессор Колобов М.Ю.

Старший преподаватель кафедры «Технические системы в агробизнесе»
ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА Воронков В.В.

Баусов А.М., Рябинин В.В., Абалихин А.М., В.В. Терентьев, А.А.
Гвоздев

Обработка результатов экспериментальных исследований технических
средств. Методические указания по выполнению лабораторных работ для
подготовки обучающихся магистров очной и заочной форм обучения по
направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» / А.М. Баусов, В.В.
Рябинин, А.М. Абалихин, В.В. Терентьев, А.А. Гвоздев. – Иваново: ФГБОУ
ВО Ивановская ГСХА, 2018. – 69 с.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВО по
направлению подготовки 35.04.06. «Агроинженерия»

Рассмотрено и одобрено методической комиссией инженерного
факультета (протокол № 4 от 29 сентября 2018 года)

© А.М. Баусов, В.В. Рябинин,
А.М. Абалихин, В.В. Терентьев,
А.А. Гвоздев 2018

© ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2018

Содержание

	с
Введение	5
1 Общие методические рекомендации	6
1.1 Цель и задачи дисциплины	6
1.2 Теоретические основы	7
1.3 Требования к оформлению и защите выполненных лабораторных работ	9
2 Лабораторная работа №1	
Определение коэффициентов годности и восстановления детали на основе исследования ее износа	10
2.1 Исходная информация	10
2.2 Расчет величины износа деталей	11
2.3 Сводная исходная информация по износам шлицев	12
2.4 Составление статистического ряда	13
2.5 Определение протяженности одного интервала	13
2.6 Определение значений опытных вероятностей (частостей)	14
2.7 Определение значений накопленных опытных вероятностей	15
2.8 Определение числовых характеристик	16
2.9 Проверка информации на наличие выпадающих точек	17
2.10 Графическое построение опытного распределения износов	17
2.11 Выбор теоретического закона распределения износов	19
2.12 Определение доверительных границ рассеивания среднего значения износа шлицев	25
2.13 Определение относительной ошибки расчета характеристик износа	26
2.14 Определение количества деталей, годных без ремонта и подлежащих восстановлению	26
Контрольные вопросы	27
3 Лабораторная работа №2	
Определение износа и остаточного ресурса деталей	29
3.1 Теоретические предпосылки определения остаточного ресурса	29
3.2 Определение остаточного ресурса детали методом индивидуального прогнозирования	30
3.2.1 Определение износа детали к моменту измерения	31
3.2.2 Определение скорости изнашивания детали	31
3.2.3 Средний остаточный ресурс детали	31

3.2.4 Допустимый износ детали	32
3.2.5 Определение среднеквадратичного отклонения	32
3.2.6 Определение значений параметров распределения Вейбулла	32
3.2.7 Определение параметра «а» распределения Вейбулла	33
3.2.8 Определение доверительных границ рассеивания	33
3.2.9 Определение доверительного интервала	33
3.3 Пример расчета остаточного ресурса детали	34
3.4 Вывод по результатам проведенной работы	36
Контрольные вопросы	36
4 Лабораторная работа №3	
Определение полного ресурса сопряжения и допустимых без ремонта размеров сопрягаемых деталей в месте их наибольшего износа	37
4.1 Исходные данные	37
4.2 Определение величины износов, скорости изнашивания и полного ресурса сопряжения	38
4.3 Определение допустимых износов и допустимых без ремонта размеров деталей сопряжения	39
4.4 Построение расчетной схемы изнашивания	40
Контрольные вопросы	40
5 Лабораторная работа №4	
Определение технического ресурса звена гусеницы трактора класса 3 кН по результатам стендовых испытаний	42
5.1 Определение ресурса детали	42
5.2 Определение скорости изнашивания	44
5.3 Определение статистических характеристик и графическое построение закона распределения ресурса звена	44
5.4 Определение значений среднеквадратического отклонения и 80-ти процентного γ - процентного ресурса	46
5.5 Пример определения ресурса звена гусеницы трактора по результатам стендовых износных испытаний	47
Контрольные вопросы	56
Заключение	57
Список литературы	58
Приложения	59

ВВЕДЕНИЕ

Стратегией машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года предусмотрено повышение надежности сельскохозяйственных машин и эффективности их использования.

Состояние современной ремонтной базы не позволяет выполнять большую часть ремонтных работ силами сельскохозяйственных предприятий. Постоянно растут затраты на ремонт и техническое обслуживание машинно-тракторного парка и достигают, порой, до четверти балансовой стоимости машин.

Новая современная техника, поступающая в хозяйства, отличается высокой конструктивной сложностью, она сложнее в техническом обслуживании и ремонте, требует более высокой квалификации трактористов-машинистов и инженерного персонала.

Задача инженерно-технической службы сельскохозяйственного производства заключается в обеспечении рационального и эффективного использования техники, в реализации тех показателей надежности, которые заложены в конструкции машины при ее создании. Без знания математических зависимостей изменения начальных свойств материала деталей, в процессе эксплуатации невозможно решить основную задачу надежности – повышение долговечности, безотказности, ремонтно-пригодности, сохраняемости машин, их агрегатов и узлов. Без знания теории надежности нельзя добиться долговечной и безотказной работы машин, что является непременным условием достижения высоких показателей качества, производительности и экономичности в производстве всех видов сельскохозяйственной продукции.

1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1.1 Цель и задачи дисциплины

Для успешной реализации мероприятий по развитию сельского хозяйства нашей страны необходимо совершенствование материально-технической базы. Эффективность использования сельскохозяйственной техники определяется не только конструктивно-технологическими решениями, заложенными в процессе изготовления, но и условиями ее эксплуатации, технического обслуживания и ремонта. Наука о надежности машин изучает закономерности изменения работоспособности ремонтируемых изделий и на этой основе разрабатывают методы обеспечения их надежности в процессе эксплуатации.

Повышение надежности техники имеет большое экономическое значение. Дело в том, что затраты на ремонт машин и проведение технических обслуживаний пока намного превышают их первоначальную стоимость. Следовательно, решение проблемы надежности позволит экономить колоссальные средства.

Одно из основных направлений науки и практики о надежности изделий базируется на теории прочности и износостойкости деталей и материалов. И если расчет деталей машин на прочность в инженерной практике не представляет собой проблемы, то расчет долговечности деталей с учетом главного критерия – износостойкости в теории надежности машин представляет большую трудность.

Целью изучения дисциплины является приобретение обучающимися знаний, умений и владений по осуществлению мероприятий, направленных на поддержание и восстановление работоспособности и ресурса сельскохозяйственной техники.

В результате освоения дисциплины у обучающегося должны сформироваться следующие компетенции: ОПК-4 «Способен проводить научные исследования, анализировать результаты и готовить отчетные

документы»; ПК-3 «Способен выбирать методики проведения экспериментов и испытаний, анализировать их результаты».

На основании этого студент должен: знать основы надежности и причины возникновения неисправностей машин, методы их предупреждения, выявления и устранения; уметь определять основные показатели надежности технических объектов с применением математических методов; владеть способностью анализировать показатели надежности сельскохозяйственной техники и разрабатывать мероприятия по ее повышению.

При эксплуатации машин в результате изнашивания деталей и действия других факторов нарушается их работоспособность, снижается надежность, возникают отказы и повреждения.

Для повышения надежности машин при их проектировании, изготовлении, ремонте и эксплуатации проводят конструктивно-технологические, организационные и другие мероприятия, направленные на уменьшение скорости изнашивания деталей, предупреждение появления отказов и повреждений. Это невозможно сделать без знания теории трения и изнашивания и протекающих при этом процессов. При изучении теории трения особое внимание уделяется физической сущности, закономерностям, видам и динамике изнашивания для различных условий работы деталей.

1.2 Теоретические основы

Теоретические основы науки о надежности техники базируются на отдельных разделах фундаментальных наук.

1. Математические методы в теории надежности с самого начала были положены в основу этой науки и получили достаточно широкую разработку. Это, прежде всего, применение теории вероятности и математической статистики как для установления закономерностей возникновения отказов, так и, главным образом, для изучения механо-физико-химических процессов, которые изменяют свойства, приводящие к разрушению деталей машин, а

также для расчета поведения объекта в процессе эксплуатации, т.е. прогнозирования.

2. Свое отражение в науке о надежности нашла теория симметрии, которая представляет собой фундаментальное учение в объяснении зависимости между происхождением и строением, с одной стороны, и свойствами, с другой стороны, материалов, применяемых для изготовления деталей машин.

3. Теория надежности базируется также на учении об объемной и поверхностной прочности материалов деталей машин. Если расчеты деталей машин на объемную прочность не представляют собой сложности, то расчет долговечности деталей с учетом поверхностной прочности или износостойкости представляет большую трудность. Поэтому изучение и установление закономерностей различных видов изнашивания – ключ к повышению надежности техники. Когда будет установлена зависимость износа от строения материала, тогда появится реальная возможность инженерного расчета машин на надежность.

4. Широко используются в теоретических основах надежности достижения таких наук, как физика твердого тела, химия, металлофизика, кристаллофизика, кристаллохимия, физическая химия, кристаллография и др., которые служат основой современного материаловедения. Без глубоких знаний природы и строения (структуры) материала, причин его разрушения в различных условиях, без основ управления формированием необходимых свойств невозможно создавать способы получения практически безизносных поверхностных слоев деталей, а также принципиально новых материалов.

Без установления зависимостей и математического описания изменений начальных свойств материала деталей в процессе эксплуатации невозможно решить основную задачу надежности – изменение долговечности, безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости объекта (машины), т.е. изменение основных показателей надежности, и разработать методы создания прочных материалов.

1.3 Требования к оформлению и защите выполненных лабораторных работ

Расчетные работы выполняют в виде отчета на лабораторных занятиях в тетрадях в клетку. Если студент по какой-либо причине не успевает выполнить работу в течение лабораторно-практического занятия, то, в соответствии с положением ПВД-12 «О самостоятельной работе обучающихся», она должна быть закончена в неурочное время.

В обязательном порядке записывается тема выполняемой работы, цель работы и задание. В конце работы формулируется вывод, отражающий результаты и опыт, полученные в ходе ее выполнения. При проведении расчетов необходимо давать пояснения всех принятых обозначений, входящих в формулы, с указанием их числовых значений. Все промежуточные расчеты должны быть отражены в тексте работы. Расчетные схемы и графики выполняются, как правило, карандашом с обязательным соблюдением масштабов величин. При построении графиков рекомендуется использовать правило «**Золотого сечения**» (отношение длин осей абсцисса/ордината - $5/8$). При обозначении числовых значений величин необходимо пользоваться единицами измерений в системе СИ.

В методических указаниях для каждой лабораторной работы представлен перечень контрольных вопросов, которые могут быть заданы обучающемуся преподавателем при защите отчета.

Студент считается допущенным до экзамена по дисциплине «Методика экспериментальных исследований технических средств в АПК» при наличии правильно выполненного и защищенного в отведенные сроки отчета.

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Определение коэффициентов годности и восстановления детали на основе исследования ее износа

Цель работы: освоить методику обработки статистической опытной информации и определения коэффициентов годности и восстановления деталей.

- Задание.**
1. Определить износы измеренных деталей.
 2. Составить сводную ведомость износной информации.
 3. Составить статистический ряд.
 4. Определить числовые характеристики:
 - среднего значения износа;
 - среднего квадратического отклонения;
 - коэффициента вариации.
 5. Проверить информацию на наличие выпадающих точек и, при необходимости, уточнить числовые характеристики износа.
 6. Построить график опытного распределения износов.
 7. Подобрать теоретический закон распределения износов.
 8. Определить доверительные границы рассеивания значений износа.
 9. Определить статистическую ошибку.
 10. Определить количество деталей, годных без ремонта и подлежащих восстановлению.

2.1 Исходная информация

По заданию требуется из выбранного массива определить количество деталей, годных к работе без ремонта в соединении с новыми и бывшими в эксплуатации деталями, а также количество деталей, требующих восстановления, то есть определить коэффициенты годности и

восстановления. Для этого студент должен измерить размер заданной поверхности у 40...50 изношенных деталей.

Измеряемая поверхность должна быть тщательно очищена от загрязнений. Для измерений выбирают инструмент необходимой точности в соответствии с техническими требованиями на капитальный ремонт данной машины. Зная размеры изношенной поверхности деталей, полученные микрометражем, определяют ее износ (для каждой детали). При определении износа вала полученные микрометражем размеры вычитают из его наименьшего предельного размера, а для отверстия - наоборот, наибольший предельный размер вычитают из размеров, полученных при измерении.

Методика расчета показана на примере анализа износов шлицев первичного вала коробки передач трактора МТЗ.

Размеры (толщина) шлицев, мм:

- по чертежу - $7,06 \begin{matrix} +0,03 \\ -0,01 \end{matrix}$ мм.

Допустимый размер без ремонта в соединении с деталями:

- бывшими в эксплуатации - 6,80мм;

- новыми - 6,61мм.

Проведены измерения толщины шлицев у 50-ти валов, получены следующие результаты, которые отражены в таблице 2.1:

Таблица 2.1 –Результаты измерений толщины шлицев у 50-ти валов, мм

6,91	6,39	6,76	6,31	6,61	6,51	6,31	6,31	6,23
5,91	6,76	6,76	5,31	6,61	6,51	6,31	6,31	6,31
6,23	6,01	6,40	6,31	6,61	6,51	6,38	6,31	6,26
6,23	6,11	6,11	6,39	6,61	6,41	6,41	6,38	6,31
6,26	6,11	6,11	6,91	6,51	6,41	6,40	6,37	6,31
6,26	6,11	6,22	6,22	6,11	-	-	-	-

2.2 Расчет величины износа деталей

Значения износов деталей определяем по формулам:

$$\text{- для валов } I = d_{\min} - d_{\text{изм}}, \quad (2.1)$$

$$- \text{ для отверстий } I = D_{\text{изм}} - D_{\text{max}}, \quad (2.2)$$

где $d_{\text{изм}}$ и $D_{\text{изм}}$ - измеренный диаметр соответственно вала и отверстия, мм;
 d_{min} и D_{max} - соответственно наименьший и наибольший предельные
размеры отверстия и вала, мм.

В нашем примере:

$$d_{\text{min}} = 7,06 - 0,10 = 6,96 \text{ мм.}$$

Тогда износы деталей составят:

$$I_1 = 6,96 - 6,91 = 0,05 \text{ мм}; \quad I_2 = 6,96 - 6,39 = 0,57 \text{ мм.}$$

$$I_3 = 6,96 - 6,76 = 0,20 \text{ мм}; \quad I_4 = 6,96 - 6,31 = 0,65 \text{ мм.}$$

Результаты вычислений сведены в таблицу 2.2.

2.3 Сводная исходная информация по износам шлицев

Вариационный ряд исходной информации по износу шлицев представлен в виде таблицы 2.2, в которой полученные расчетным путем износы расположены в порядке их возрастания.

Таблица 2.2 -Сводная ведомость по износам шлицев

Номер детали	Износ, мм	Номер детали	Износ, мм	Номер детали	Износ, мм
1	0,05	18	0,56	35	0,71
2	0,05	19	0,57	36	0,71
3	0,20	20	0,57	37	0,72
4	0,20	21	0,58	38	0,73
5	0,20	22	0,58	39	0,73
6	0,35	23	0,59	40	0,73
7	0,35	24	0,65	41	0,74
8	0,35	25	0,65	42	0,74
9	0,35	26	0,65	43	0,85
10	0,45	27	0,65	44	0,85
11	0,45	28	0,65	45	0,85
12	0,45	29	0,65	46	0,85
13	0,45	30	0,65	47	0,85
14	0,55	31	0,65	48	0,85
15	0,55	32	0,70	49	0,95
16	0,55	33	0,70	50	1,05
17	0,56	34	0,70	-	-

2.4 Составление статистического ряда

Статистический ряд информации составляется в виде таблицы (таблица 2.3), состоящей из пяти строк: границ интервалов, средних значений интервалов, частоты, опытной вероятности (частости) и накопленной опытной вероятности.

При составлении интервального ряда распределения область возможных значений случайной величины разбивается на отдельные **частичные интервалы**, каждый из которых имеет верхнюю и нижнюю границы.

Всю информацию по износам разбиваем на интервалы, количество которых определяется по формуле:

$$n = \sqrt{N}. \quad (2.3)$$

где N - количество информации (количество измеренных деталей, шт.)

$$n = \sqrt{50} \approx 7.$$

2.5 Определение протяженности одного интервала

Протяженность одного интервала определяем по формуле:

$$A = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{n} \quad (2.4)$$

где I_{\max} и I_{\min} – соответственно наибольшее и наименьшее значения износов (таблица 2.2).

$$A = \frac{1,05 - 0,05}{7} = 0,143 \approx 0,15 \text{ мм.}$$

Протяженность интервала всегда округляют в большую сторону. Интервалы должны быть одинаковыми по величине и прилегать друг к другу без разрывов. Начало первого интервала C , или начало рассеивания (**сдвиг износов**), определяется по формуле:

$$C = I_i - 0,5 \cdot A, \quad (2.5)$$

где I_i – значение износа в первой точке информации (наименьший износ), мм.

$$C = 0,05 - 0,5 \cdot 0,15 = - 0,025 \text{ мм.}$$

Принимаем $C = 0$, т.к. отрицательного износа быть не может. При распределении износов чаще всего принимают $C=0$, то есть нет сдвига рассеивания.

Число интервалов и их протяженность используются для построения первой строки статистического ряда. Вторая строка этого ряда представляет собой среднее значение каждого интервала. Например, для первого интервала его среднее значение определится следующим образом:

$$\frac{0 + 0,15}{2} = 0,075 \text{ мм.}$$

Третья строка показывает **частоту**, то есть, сколько деталей попадает в каждый интервал износов (выбирают из таблицы 2.2). При этом если на границе двух интервалов окажется несколько деталей с равным износом, то их поровну распределяют между этими интервалами. Например, в первом интервале (0-0,15мм) частота $m_1 = 2$, $m_2 = 3$, $m_3 = 6$ (четыре детали с износом 0,35мм и две детали с износом 0,45мм, а остальные две детали с износом 0,45мм переходят в четвертый интервал). Если окажется, что последнее одно или несколько значений износа (точек информации) выходят за пределы последнего интервала, то нужно, либо добавить еще один интервал, либо самопроизвольно увеличить протяженность интервалов (величина A , рассчитанная по формуле 2.4).

2.6 Определение значений опытных вероятностей (частостей)

В каждом интервале (четвертая строка статистического ряда) значения **опытных вероятностей** P определяют по формуле:

$$P_i = \frac{m_i}{N}, \quad (2.6)$$

где m_i – опытная частота в i -ом интервале.

$$P_1 = \frac{2}{50} = 0,04; \quad P_2 = \frac{3}{50} = 0,06 \text{ и т.д.}$$

2.7 Определение значений накопленных опытных вероятностей

Значения накопленных опытных вероятностей или **частостей** (последняя строка ряда таблицы 2.3) определяются суммированием вероятностей по интервалам:

$$\sum_{i=1}^n P = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{N}. \quad (2.7)$$

$$\sum P_1 = 0,04; \quad \sum P_2 = 0,04 + 0,06 = 0,1; \quad \sum P_3 = 0,1 + 0,12 = 0,22 \text{ и т.д.}$$

$$\text{или } \sum P_1 = 0,04; \quad \sum P_2 = \frac{2+3}{50} = 0,1 \text{ и т.д.}$$

Сумма частот $\sum m_i$ всех интервалов должна быть равна N (в нашем примере 50), а сумма накопленных опытных вероятностей $\sum P_i = 1,0$.

Таблица 2.3 – Статистический ряд

Границы интервала, мм	0-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,45-0,60	0,60-0,75	0,75-0,90	0,90-1,05
Среднее значение интервала, $I_{срi}$, мм	0,075	0,225	0,375	0,525	0,675	0,825	0,975
Частота, m_i	2	3	6	12	19	6	2
Опытная вероятность, P_i	0,04	0,06	0,12	0,24	0,38	0,12	0,04
Накопленная опытная вероятность, $\sum P_i$	0,04	0,10	0,22	0,46	0,84	0,96	1,00

2.8 Определение числовых характеристик

Основными числовыми характеристиками распределения случайной величины являются среднее значение (в данном примере среднее значение износа), среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации.

Среднее квадратичное отклонение представляет собой абсолютную меру, а **коэффициент вариации** - относительную меру рассеивания (разброса) случайной величины. При объеме выборки (информации) $N > 25$ их определяют следующим образом.

Среднее значение износа:

$$\bar{I} = \sum_1^n I_{срi} \cdot P_i, \quad (2.8)$$

где $I_{срi}$ – значение износа в середине i -го интервала (среднее значение i -го интервала),

P_i – опытная вероятность в i -ом интервале.

В нашем примере:

$$\bar{I} = 0,075 \cdot 0,04 + 0,225 \cdot 0,06 + 0,375 \cdot 0,12 + 0,525 \cdot 0,24 + 0,675 \cdot 0,38 + 0,825 \cdot 0,12 + 0,975 \cdot 0,04 = 0,60 \text{ мм.}$$

Среднее квадратическое отклонение определяют по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sum_1^n (I_{срi} - \bar{I})^2 \cdot P_i}. \quad (2.9)$$

В рассматриваемом примере:

$$\sigma = \sqrt{(0,075 - 0,60)^2 \cdot 0,04 + (0,225 - 0,60)^2 \cdot 0,06 + (0,375 - 0,60)^2 \cdot 0,12 + (0,525 - 0,60)^2 \cdot 0,24 + (0,675 - 0,60)^2 \cdot 0,38 + (0,825 - 0,60)^2 \cdot 0,12 + (0,975 - 0,60)^2 \cdot 0,04} = 0,20 \text{ мм}$$

Коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{I} - C} = \frac{0,20}{0,60 - 0} = 0,33. \quad (2.10)$$

2.9 Проверка информации на наличие выпадающих точек

Проверку информации на наличие выпадающих точек осуществляют при помощи критерия по формуле:

$$\lambda_{on} = \frac{I_i - I_{i-1}}{\sigma} \quad (2.11)$$

Для наименьшего значения износа $I_3 = 0,20$; $I_2 = I_1 = 0,05$.

$$\lambda_{on} = \frac{0,020 - 0,05}{0,2} = 0,75.$$

Для наибольшего значения износа $I_{50} = 1,05$; $I_{49} = 0,95$.

$$\lambda_{on} = \frac{1,05 - 0,95}{0,2} = 0,5.$$

Полученные значения λ_{on} сравнивают с табличными значениями критерия Ирвина (таблица А.1 приложения А). Если $\lambda_{on} < \lambda_T$, то информация достоверна, если же $\lambda_{on} > \lambda_T$, то такие точки «выпадают», т.е. должны быть исключены из информации, как недостоверные. В этом случае необходимо перестроить статистический ряд с учетом уменьшения количества информации за счет выпавших точек, вновь рассчитать \bar{I}_i , σ и V .

В нашем случае при $N = 50$ и доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ табличное значение критерия Ирвина $\lambda_T = 1,1$, то есть больше λ_{on} . Поэтому с вероятностью $0,95$ можно утверждать, что все точки информации достоверны.

2.10 Построение графика опытного распределения износов детали

Данные таблицы 2.3 используют для построения графиков, наглядно характеризующих опытное распределение случайной величины (в данном случае износов детали): гистограммы 1 и полигона 2 – рисунок 2.1, кривой накопленных (опытных) вероятностей 1 – рисунок 2.2.

При построении опытного распределения износа по оси абсцисс откладываются в произвольно выбранном масштабе значение износа, а по оси ординат - опытная вероятность P_i (рисунок 2.1) или накопленная опытная вероятность $\sum_1^n P_i$.

Масштаб ординаты следует выбирать исходя из максимальных значений P_i . По оси абсцисс откладывают интервалы в соответствии со статистическим рядом (таблица 2.3), а по оси ординат – опытную вероятность P_i в начале и в конце каждого интервала (таблица 2.3). Соединив построенные в каждом интервале точки, получаем прямоугольник. В результате получается ступенчатый многоугольник – гистограмма, характеризующая распределение случайной величины по данным исходной опытной информации. Площадь каждого прямоугольника в процентах от общей площади гистограммы или долях единицы определяет опытную вероятность или количество деталей, у которых износ находится в данном интервале.

Построение полигона (рисунок 2.1) осуществляется по точкам, образованным пересечением абсциссы, равной середине интервала, и ординаты, равной опытной вероятности интервала, то есть надо соединить прямыми линиями середины верхних (горизонтальных) сторон прямоугольников гистограммы.

Точки кривой накопленных вероятностей образуются пересечением абсциссы, равной концу данного интервала, и ординаты, равной сумме вероятностей предыдущих интервалов (рисунок 2.2). Гистограмма и полигон являются дифференциальными, а кривая накопленных опытных вероятностей – интегральным статистическим (опытным) законом распределения случайной величины.

2.11 Выбор теоретического закона распределения износов

Прямой перенос значений износа, полученных при измерении группы деталей на данном ремонтном предприятии, на другие детали машины той же марки осуществлять нельзя. Необходимо по полученной информации определить теоретический закон распределения износов для генеральной совокупности машин, который выражает общий характер изменения износов и исключает частные отклонения, вызванные разнообразием и непостоянством факторов, влияющих на работу машин.

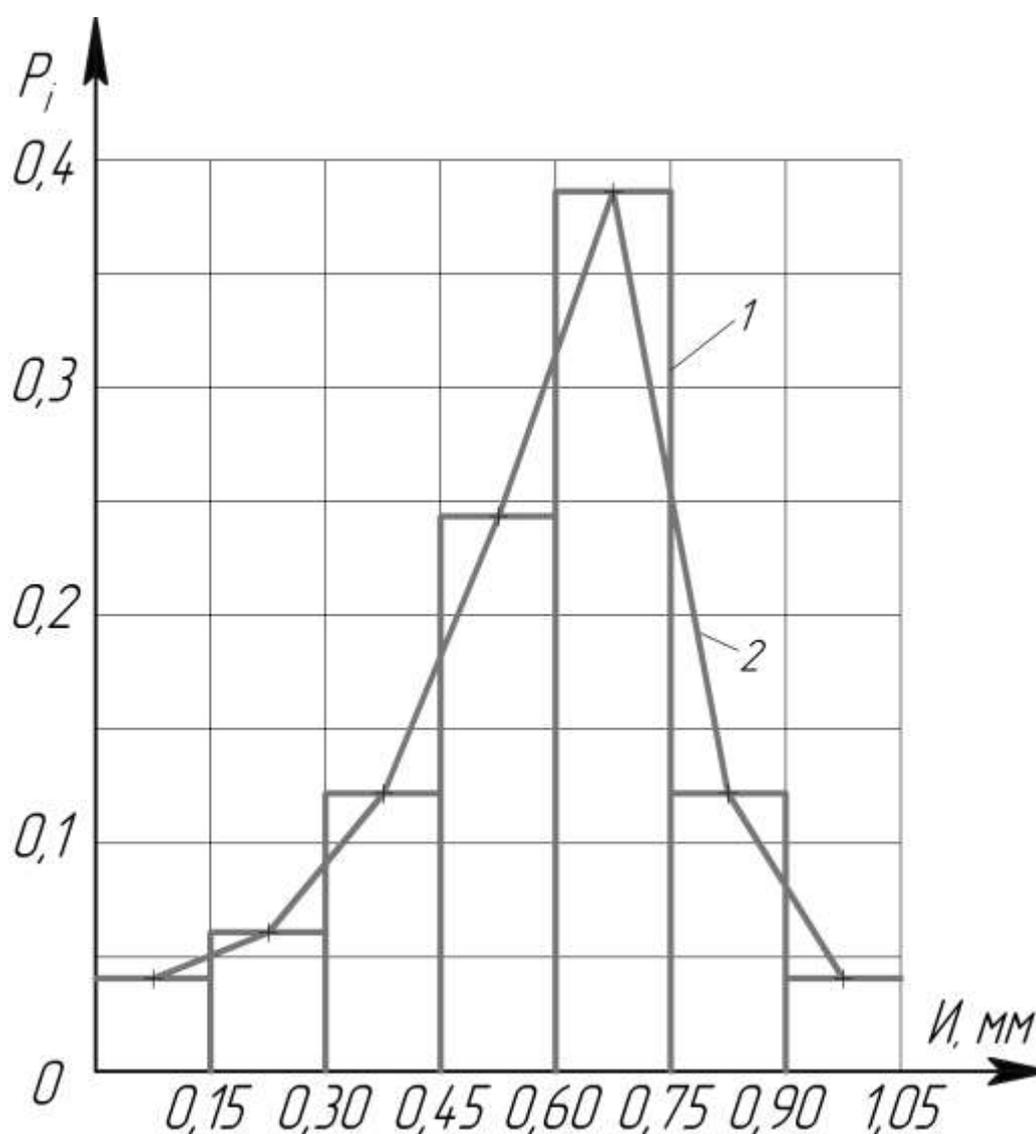


Рисунок 2.1 – Гистограмма (1) и полигон (2) распределение износов шлицев

Замена опытного закона распределения теоретическим называется сглаживанием или выравниванием статистической информации. Теоретический закон применим как для полной совокупности, так и для

любой частной совокупности деталей данного (рассматриваемого) наименования.

Применительно к надежности с/х техники используются в основном закон нормального распределения (ЗНР) и закон распределения Вейбулла (ЗРВ). Предварительный выбор теоретического закона распределения (ТЗР) осуществляется по величине **коэффициента вариации** V . Если $V < 0,3$, то распределение подчиняется ЗНР, если $V < 0,5$ – подчиняется ЗРВ.

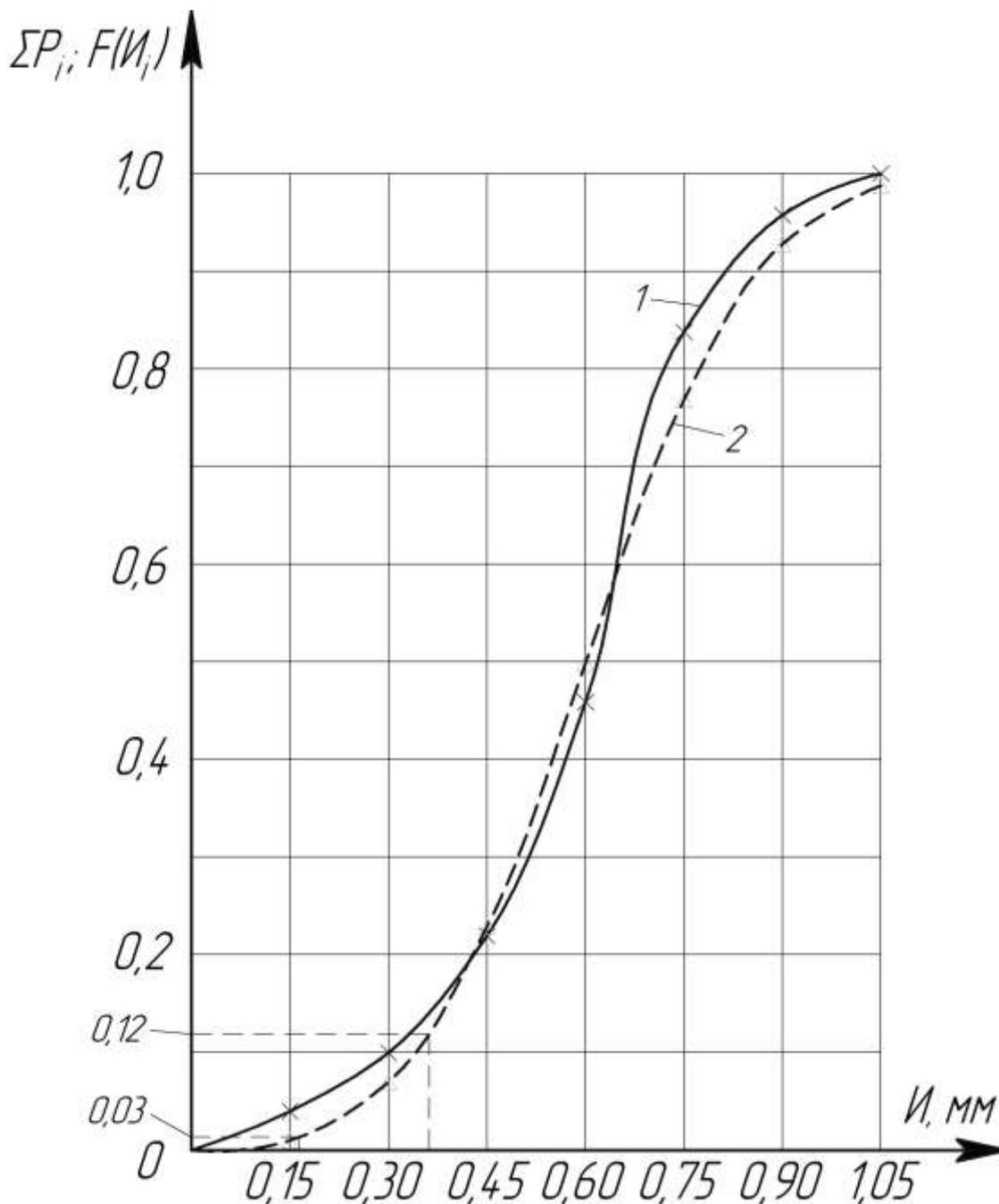


Рисунок 2.2 – Кривая накопленных опытных вероятностей (1) и интегральная функция (2) закона нормального распределения износов шлицев

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 примере коэффициент вариации $V = 0,33$, поэтому подходят как ЗНР, так и ЗРВ. Для окончательного решения необходимо рассчитать интегральную $F(I)$ функцию распределения износа детали для ЗНР и для ЗРВ, а затем с помощью критерия согласия выбирать ТЗР.

Значение интегральной функции $F(I_{ki})$ ЗНР в конце i -го интервала определяется по формуле:

$$F(I_{ki}) = F_o \left(\frac{I_{ki} - \bar{I}}{\sigma} \right), \quad (2.12)$$

где F_o – так называемая центрированная интегральная функция. Она

табулирована и ее значение определяют по приложению А;

I_{ki} – значение износа в конце i -го интервала, конец i -го интервала статистического ряда, мм;

\bar{I} – среднее значение износа.

Необходимо помнить, что

$$F_o(-I) = 1 - F(+I). \quad (2.13)$$

В нашем примере $\bar{I} = 0,60, \sigma = 0,20$, конец первого интервала $I_{ki} = 0,15$.

Тогда интегральная функция в конце первого интервала будет равна:

$$F_1 = (-2,25) = F_o \left(\frac{0,15 - 0,60}{0,20} \right) = F_o(-2,25) = 1 - F_o(2,25) = 1 - 0,99 = 0,01$$

Из таблицы А.2 приложения А находим, что $F_o(2,25) = 0,99$. Аналогично определяют значения $F(I)$ для других интервалов. Например, для седьмого интервала:

$$F_1 = (1,05) = F_o \left(\frac{0,15 - 0,60}{0,20} \right) = F_o(2,25) = 0,99.$$

Полученные значения интегральных функций записывают в таблицу 2.4.

Значение интегральной функции $F(I_{ki})$ ЗРВ в конце i -го интервала определяется по формуле:

$$F(I_{ki}) = F_T\left(\frac{I_{ki} - C}{a}\right), \quad (2.14)$$

где F_T – табулированное значение интегральной функции. Принимается по

таблице А.4 приложения А в зависимости от $\frac{I_{ki} - C}{a}$ и параметра b ;

C – сдвиг начала рассеивания;

a – параметр ЗРВ, определяется по формуле:

$$a = \frac{I - C}{K_b}, \quad (2.15)$$

где K_b – коэффициент ЗРВ.

Параметр b и коэффициент K_b определяют по приложению А в зависимости от коэффициента вариации.

В рассматриваемом примере $I = 60$, $C = 0$, $V = 0,33$. По таблице А.3 приложения А находим, что при $V = 0,33$, $b = 3,30$, $K_{св} = 0,90$.

Тогда
$$a = \frac{0,60 - 0}{0,90} = 0,67.$$

В конце первого интервала $F_T = \left(\frac{0,15 - 0}{0,67}\right) = F_T(0,22)$

По таблице А.4 приложения А находим, что интегральная функция в конце первого интервала при $V = 0,33$ и $b = 3,30$ будет равна: $F_1 = (0,15) = F_T(0,22) \approx 0,01$.

Аналогично определяют $F(I)$ для остальных интервалов, а полученные значения записывают в таблицу 2.4. Пользуясь таблицей А.4 приложения А, надо иметь в виду, что если b и $\frac{I_{ki} - C}{a}$ не точно совпадают с данными таблицы, то величину $F_T(I)$ следует определять интерполированием.

Окончательный выбор теоретического закона распределения износков выполняют с помощью **критерия согласия**. Примечательно к показателям надежности с/х техники чаще всего используют критерий **Пирсона** (χ^2) и критерий **Колмогорова** (λ). По величине критерия согласия можно определить вероятность совпадения опытных и теоретических законов и на этом основании принять или отбросить выбранный теоретический закон из двух или нескольких.

Следует помнить, что критической вероятностью совпадения принято считать $P = 0,1$. Если $P < 0,1$, то выбранный для выравнивания опытной информации теоретический закон распределения следует считать недействительным.

Критерий Пирсона дает более точную оценку вероятности совпадения опытного и теоретического законов распределения, но он сложен в расчетах. Критерий Колмогорова прост в определении, но дает завышенную вероятность совпадения.

Однако при выборе одного закона из двух или нескольких, когда важно оценить какой из них лучше выравнивает опытную информацию, можно пользоваться критерием Колмогорова.

Критерий согласия Колмогорова определяют по формуле:

$$\lambda = D_{\max} \sqrt{N},$$

где D_{\max} – максимальная абсолютная разность между накопленной опытной вероятностью и теоретической интегральной функцией распределения, то есть:

$$D_{\max} = \max \left| \sum_i^n P_i - F(I_{ki}) \right|, \quad (2.17)$$

где N – общее количество информации (число замеров, шт.).

Разницу между опытным и теоретическим значениями функций определяют для каждого интервала и заносят в таблицу 2.4.

Как видно из таблицы 2.4, для ЗНР $D_{\max} = 0,07$, а для ЗРВ $D_{\max} = 0,09$.

Тогда расчетное значение критерия согласия будет равно:

$$\text{для ЗНР } \lambda = D_{\max} \sqrt{N} = 0,07 \sqrt{50} = 0,49, \quad (2.18)$$

$$\text{для ЗРВ } \lambda = D_{\max} \sqrt{N} = 0,09 \sqrt{50} = 0,63. \quad (2.19)$$

Из таблицы А.5 приложения А находим вероятность совпадения теоретических законов с опытным распределением:

для ЗНР $P(\lambda) = 0,967$;

для ЗРВ $P(\lambda) = 0,864$ (при $\lambda = 0,6$), а с учетом интерполяции, то есть при $\lambda = 0,63$ $P(\lambda) = 0,818$.

Таблица 2.4 –Выбор теоретического закона распределения износа шлицев

Границы интервала, мм		0-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,45-0,60	0,60-0,75	0,75-0,90	0,90-1,05
Конец интервала, мм		0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05
Накопленная опытная вероятность, ΣP_i		0,04	0,10	0,22	0,46	0,84	0,96	1,00
ЗНР	$\frac{I_{ki} - \bar{I}}{\sigma}$	-2,25	-1,5	-0,75	0	0,75	1,5	2,25
	$F(\bar{I}_{ki})$	0,01	0,07	0,23	0,50	0,77	0,93	0,99
	$ \sum P_i - F(I_{ki}) $	0,03	0,03	0,01	0,04	0,07	0,03	0,01
ЗРВ	$\frac{I_{ki} - C}{a}$	0,22	0,45	0,67	0,89	1,12	1,34	1,56
	$F(I_{ki})$	0,01	0,08	0,20	0,51	0,75	0,92	0,99
	$ \sum P_i - F(I_{ki}) $	0,03	0,02	0,02	0,05	0,09	0,04	0,01

Следовательно, для выравнивания опытной информации ЗНР подходит лучше, чем ЗРВ. Выбрав окончательно в качестве теоретического закона ЗНР, наносим на график (рисунок 2.2) значения функции $F(I_{ki})$ по концам

интервалов и соединяем полученные точки плавной кривой, которая будет теоретической интегральной функцией распределения износов шлицев.

2.12 Определение доверительных границ рассеивания среднего значения износа шлицев

В результате измерения износов 50 деталей и их обработки мы нашли, что среднее значение износов равно $\bar{I} = 0,60\text{мм}$. Если выполнить ту же работу для той же детали, работавшей в других условиях (другой климатической зоне, например), то окажется, что среднее значение износа будет отличаться от 0,60мм. Таким образом, изменение условия эксплуатации и количества машин, за которыми ведется наблюдение, вызовет изменение количественных характеристик показателя надежности.

Хотя эти изменения носят случайный характер, они происходят в определенных границах или в определенном интервале. Интервал, в котором при заданной доверительной вероятности α попадают $100\alpha\%$ случаев от N , называется **доверительным интервалом**. Границы, в которых может колебаться среднее значение (или одиночное) показателя надежности, называются **нижней и верхней доверительными границами**.

Для ЗНР доверительные границы рассеивания среднего значения износа определяют по формулам:

$$I_{\alpha}^n = \bar{I} - t_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}; \quad (2.20)$$

$$I_{\alpha}^e = \bar{I} + t_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (2.21)$$

где I_{α}^n и I_{α}^e – соответственно нижняя и верхняя доверительные границы рассеивания, среднего значения износа при доверительной вероятности α ;

t_{α} – коэффициент **Стьюдента**, который определяют по таблице А.6 приложения А в зависимости от N и выбранной доверительной

вероятности α .

В рассматриваемом примере: $\bar{I} = 0,60$; $\sigma = 0,20$; $N = 50$.

Задавшись доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$, при $N = 50$ по таблице А.6 приложения А находим $t_\alpha = 2,01$. Тогда $I_\alpha'' = 0,60 - 2,01$;

$$\frac{0,20}{50} = 0,60 - 2,01 \cdot 0,03 = 0,54\text{мм.}$$

$$I_\alpha^\epsilon = 0,60 + 2,01 \frac{0,20}{50} = 0,66\text{мм.}$$

Таким образом, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что среднее значение износа шлицев вала будет находиться в интервале от 0,54мм до 0,66мм.

2.13 Определение относительной ошибки расчета характеристик износа

$$\epsilon_\alpha = \frac{I_\alpha^\epsilon - I}{I} \cdot 100 = \frac{0,66 - 0,60}{0,60} \cdot 100 = 10\% . \quad (2.22)$$

Точность расчетов вполне достаточна, так как по ГОСТу $\alpha \leq 20\%$.

2.14 Определение количества деталей, годных без ремонта и подлежащих восстановлению

Для определения количества годных деталей рассчитывают допустимые без ремонта износы детали в соединении ее с деталями, бывшими в эксплуатации, и новыми по формулам:

для валов:

$$I_{дб} = d_{\min} - d_{дб}; \quad (2.23)$$

$$I_{дн} = d_{\min} - d_{дн}; \quad (2.24)$$

для отверстий:

$$I_{дб} = D_{дб} - D_{\max}; \quad (2.25)$$

$$I_{дн} = D_{дн} - D_{\max}; \quad (2.26)$$

где d_{\min} и D_{\max} – соответственно наименьший и наибольший предельные

размеры вала и отверстия, мм;

$d_{дб}$ и $d_{дн}$ – допустимые без ремонта размеры вала в соединении соответственно с деталями, бывшими в эксплуатации, и с новыми, мм;

$D_{дб}$ и $D_{дн}$ – то же самое для отверстий, мм.

В исходных данных к этому пункту задания указано, что в соответствии с техническими требованиями на капитальный ремонт шасси трактора допустимый размер шлицев при соединении с деталями, бывшими в эксплуатации, составляет 6,80мм, а с новыми – 6,61мм.

Тогда в нашем примере получим ($d_{min} = 6,96$ мм.):

$$I_{дб} = 6,96 - 6,08 = 0,16\text{мм};$$

$$I_{дн} = 6,96 - 6,61 = 0,35\text{мм}.$$

Значения допустимых износов откладывают по оси абсцисс (рисунок 2.2) и из этих точек восстанавливают перпендикуляры до пересечения с теоретической интегральной кривой распределения износов. Из точек пересечения проводят горизонтальные линии до оси ординат и отсчитывают в процентах количество годных деталей, требующих восстановления.

В нашем примере общее количество деталей, годных без ремонта, равно 12%, из них 3% можно соединять как с новыми, так и с бывшими в эксплуатации деталями, а 9% – только с новыми деталями. У 88% деталей шлицы необходимо восстанавливать. Таким образом, коэффициент годности первичного вала по шлицам равен 0,12, а коэффициент восстановления – 0,88.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Изложите порядок обработки статистических данных о надежности с/х техники.
2. Что является исходной информацией и порядок составления статистического ряда.

3. Как рассчитать среднее значение износа среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации.
4. Как проверить информацию на наличие выпадающих точек.
5. Порядок построения гистограммы, полигона, дифференциальной и интегральной кривых опытного распределения.
6. Основные теоретические законы распределения (ТЗР) случайных величин, подбор ТЗР к конкретному случаю.
7. Как определить доверительные границы рассеивания параметра и статистическую ошибку расчетов.
8. Порядок расчета процента годных деталей и требующих восстановления.

3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Определение износа и остаточного ресурса деталей

Цель работы: оценить состояние износа втулки верхней головки шатуна дизельного двигателя СМД-14 в условиях ее эксплуатации.

- Задание.**
1. Ознакомиться с теоретическими предпосылками определения остаточного ресурса.
 2. На основе данных микрометража определить наибольший размер втулки ($D_{\text{изм}}$), подсчитать износ детали (i), среднюю скорость изнашивания (W_y), средний остаточный ресурс детали ($T_{\text{до}}$).
 3. Определить доверительные границы рассеивания остаточного ресурса ($T_{\text{до.н.}}$ и $T_{\text{до.в.}}$).
 4. Письменно сформулировать вывод о проделанной работе.

3.1 Теоретические предпосылки определения остаточного ресурса

Долговечность деталей определяется экономическими и техническими показателями. Экономическим показателем долговечности деталей служит средняя сделанная стоимость ее эксплуатации. К техническим показателям долговечности детали относятся полный, межремонтный и остаточный ресурсы.

В настоящей работе студенты осваивают методику оценки одного из показателей долговечности – остаточного ресурса детали.

Остаточный ресурс – это ресурс детали (группы деталей) в единицах наработки, по истечении которых ее (их) размеры достигнут предельной величины.

Предельное состояние наступает при величине износа детали, равной предельному износу $i_{\text{пр}}$.

При ремонте техники в ремонтных мастерских или специализированных предприятиях предельное состояние деталей оценивается не по предельным значениям износов $i_{пр}$, а по допустимым при ремонте значениям $i_{доп}$. Допустимые износы рассчитывают так, чтобы соответствующий этим значениям износа остаточный ресурс деталей был равен межремонтному ресурсу $T_{мр}$, установленного для узла, агрегата или машины, состав которых оцениваемая деталь.

Установка деталей с большим зазором, т.е. ресурсом, меньшим, чем $T_{мр}$, повлечет за собой преждевременный выход из строя детали, узла.

3.2 Определение остаточного ресурса детали методом индивидуального прогнозирования

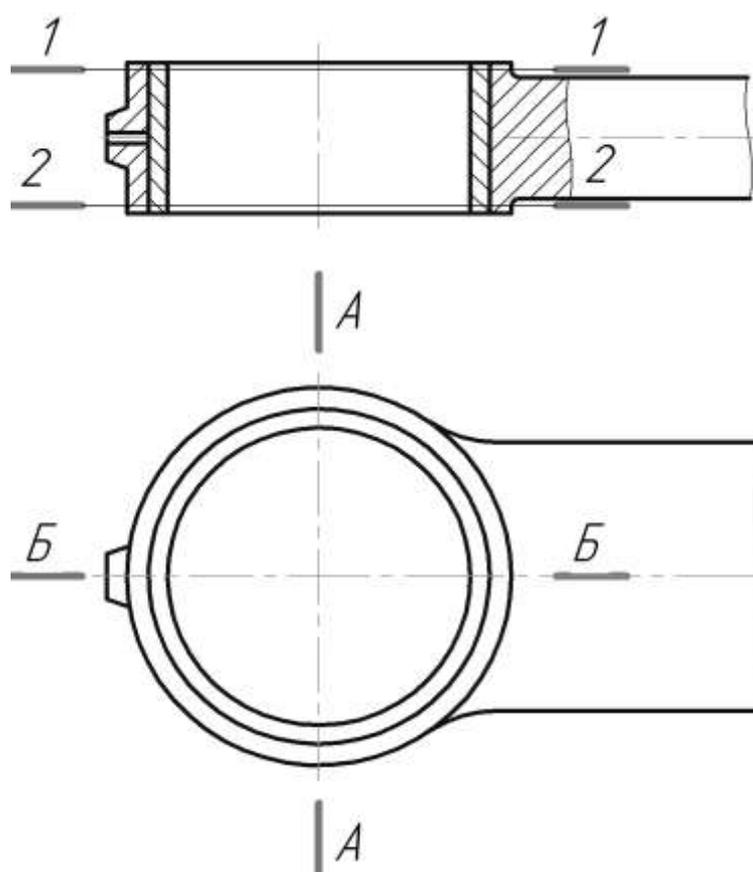


Рисунок 3.1 – Схема измерений втулки под поршневой палец

Для определения остаточного ресурса детали методом индивидуального прогнозирования необходимо определить наибольший размер втулки. При помощи индикаторного нутромера в случае

равномерного износа в двух плоскостях и по двум сечениям. В случае одностороннего износа – в плоскости пятна контакта по двум сечениям.

По данным варианта задания и техническим условиям на дефектацию, приведенным в таблице Б.1 приложения, необходимо рассчитать ниже приведенные показатели.

3.2.1 Определение износа детали к моменту измерения

$$I_{\text{изм}} = D_{\text{изм}} - D_{\text{ср}}, \quad (3.1)$$

где $D_{\text{изм}}$ – диаметр детали в момент измерения, мм;

$D_{\text{ср}}$ – средний диаметр, определяемый как сумма номинального диаметра и половины допуска на размер, мм.

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{ном}} + (ES + EI) / 2, \quad (3.2)$$

где $D_{\text{ном}}$ – номинальный диаметр детали, совпадает с начальным диаметром (определяется по варианту таблицы приложения Б.1);

ES – верхнее предельное отклонение на размер, мм;

EI – нижнее предельное отклонение на размер, мм.

3.2.2 Определение скорости изнашивания детали

Скорость изнашивания детали определяют (W_d мм/мото-ч), приняв, что изменение этой величины пропорционально изменению наработки детали.

$$W_d = I_{\text{изм}} / H_{\text{изм}}, \quad (3.3)$$

где $H_{\text{изм}}$ – наработка детали в момент измерения, мото-ч (таблица Б.1 приложения Б).

3.2.3 Средний остаточный ресурс детали

Средний остаточный ресурс определим по формуле:

$$T_{\text{до}} = (I_{\text{пр}} - I_{\text{зм}}) / W_d, \quad (3.4)$$

где $I_{пр}$ – предельный износ детали, мм.

Предельный износ детали (мм) можно определить из условия пропорциональности износа детали зазору сопряжения:

$$I_{пр} = I_{др}(S_{пр} - S_n)/(S_{пр} - S_{др}), \quad (3.5)$$

где $S_{пр}$, S_n , $S_{др}$ – соответственно предельный, начальный и допустимый зазор в сопряжении «втулка – поршневой палец» по техническим условиям (таблица Б.2 приложения Б).

3.2.4 Допустимый износ детали

Допустимый износ детали (мм) следует определять по формуле:

$$I_{др} = D_{др} - D_{ср}. \quad (3.6)$$

Так как величина остаточного ресурса носит вероятностный характер и как показали износные испытания, рассеивание его величины для одноименных деталей тракторов и с/х машин в большинстве случаев подчинено закону распределения Вейбулла с коэффициентом вариации, находящимся в пределах: $V = 0,33 \dots 0,40$.

3.2.5 Определение среднеквадратичного отклонения

Среднеквадратичное отклонение, характеризующее степень отклонения величины $T_{до}$, определяется по формуле:

$$\sigma = 0,7V T_{до}. \quad (3.7)$$

3.2.6 Определение значений параметров распределения Вейбулла

По таблице А.3 приложения А и принятому значению коэффициента вариации определяют значения параметров распределения Вейбулла.

$$b = \underline{\hspace{2cm}}; \quad C_b = \underline{\hspace{2cm}}.$$

3.2.7 Определение параметра «а» распределения Вейбулла

Параметр «а» определяют расчетным путем, используя соотношение:

$$a = \sigma/C_B = 0,7V T_{до}/ C_B. \quad (3.8)$$

3.2.8 Определение доверительных границ рассеивания

Приняв по таблице Б.1 приложения Б величину доверительной вероятности α , определяют доверительные границы рассеивания остаточного ресурса детали.

$$\text{Нижняя } T_{до.н.} = N_{к.в.}((1 - \alpha)/2)a + t_{см}; \quad (3.9)$$

$$\text{Верхняя } T_{до.в.} = N_{к.в.}((1 + \alpha)/2)a + t_{см}, \quad (3.10)$$

где $N_{к.в.}$ – квантиль закона распределения Вейбулла (таблица Б.3 приложения Б);

$t_{см}$ – величина смещения начала рассеивания, мото-ч.

$$t_{см} = 0,3T_{до}. \quad (3.11)$$

Квантилем называется нормированное значение показателя надежности, соответствующее данной величине интегральной функции $F(t)$ или накопленной опытной вероятности $\sum P_i$ (таблица А.4 приложения А). В данной таблице для определения значения функции в первом столбце в формулу вместо параметра \bar{I}_{ki} нужно подставить величину среднего остаточного ресурса $T_{до}$; вместо C нужно подставить рассчитанное значение начала смещения $t_{см}$.

3.2.9 Определение доверительного интервала

Таким образом, можно определить доверительный интервал, в котором с заданной вероятностью α будет находиться величина среднего остаточного ресурса детали $T_{до}$ (мото-ч).

$$J_a = T_{\text{до.в.}} - T_{\text{до.н.}} \quad (3.12)$$

Определив величину остаточного ресурса детали, необходимо сделать заключение о целесообразности дальнейшего ее использования.

3.3 Пример расчета остаточного ресурса детали

Исходными данными для выполнения расчетов служат следующие показатели: наработка детали в момент измерения $N_{\text{изм}}=1600$ мото-ч; межремонтный ресурс двигателя $T_{\text{мр}}=2000$ мото-ч; начальный диаметр детали $D_{\text{нр}} = 42^{+0,040}_{+0,020}$ мм; допустимый диаметр детали $D_{\text{др}} = 42,09$ мм; величина доверительной вероятности $\alpha = 0,90$ (90%).

Определим износ детали к моменту измерений:

$$I_{\text{изм}} = D_{\text{изм}} - D_{\text{ср}} = 42,040 - 42,010 = 0,030 \text{ мм,}$$

причем величина среднего диаметра определится по формуле:

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{ном}} + (ES + EI) / 2 = 42 + (0,040 - 0,020) / 2 = 42,010 \text{ мм.}$$

Далее определяем скорость изнашивания детали:

$$W_d = I_{\text{изм}} / N_{\text{изм}} = 0,030 / 1600 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ мм/мото-ч.}$$

Допустимый износ детали следует определяем по формуле:

$$I_{\text{др}} = D_{\text{др}} - D_{\text{ср}} = 42,090 - 42,010 = 0,080 \text{ мм.}$$

Далее определим предельный износ, для этого из таблицы Б.2. приложения Б ищем значения зазоров сопряжения «втулка – поршневой палец» дизельного двигателя СМД-14:

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{др}} (S_{\text{пр}} - S_{\text{н}}) / (S_{\text{пр}} - S_{\text{др}}) = 0,080 (0,25 - 0,022) / (0,25 - 0,10) = 0,090 \text{ мм.}$$

Средний остаточный ресурс определим по формуле:

$$T_{\text{до}} = (I_{\text{пр}} - I_{\text{зм}}) / W_d = (0,090 - 0,030) / 1,8 \cdot 10^{-5} = 3333 \text{ мото-ч.}$$

Задав коэффициентом вариации $V = 0,36$, определим величину среднеквадратичного отклонения по формуле:

$$\sigma = 0,7V T_{\text{до}} = 0,7 \cdot 0,36 \cdot 3333 = 839,9 \text{ мото-ч.}$$

Далее по таблице А.3 приложения А и принятому значению коэффициента вариации $V = 0,36$ определяем значения параметров распределения Вейбулла:

$$b = 3,0; C_B = 0,33.$$

Параметр «а» распределения Вейбулла определяем расчетным путем по формуле:

$$a = 0,7V T_{до} / C_B = 0,7 \cdot 0,36 \cdot 3333 / 0,33 = 2545.$$

Величина начала смещения будет равна:

$$t_{см} = 0,3T_{до} = 0,3 \cdot 3333 = 999 \text{ мото-ч.}$$

По таблице А.4 приложения А определим значение интегральной функции распределения Вейбулла $F(t)$, зная значение параметра $b = 3,0$.

Из таблицы следует, что значение переменной не совпадает со значениями, находящимися в колонке 1, поэтому для определения функции воспользуемся методом линейного интерполирования, решив которое получим значение функции равно $F(t) \approx 0,54$.

Далее по таблице Б.3 определяем квантиль распределения Вейбулла, который в нашем примере составит $N_{к.в.} = 0,92$.

Далее определим доверительные границы рассеивания остаточного ресурса детали при заданной величине доверительной вероятности $\alpha = 0,90$:

Нижняя $T_{до.н.} = N_{к.в.} \cdot ((1 - \alpha)/2)a + t_{см} = 0,92 \cdot ((1 - 0,9)/2)2545 + 999 = 1116$ мото-ч.

Верхняя $T_{до.в.} = N_{к.в.} \cdot ((1 + \alpha)/2)a + t_{см} = 0,92 \cdot ((1 + 0,9)/2)2545 + 999 = 3223$ мото-ч.

Далее определим доверительный интервал, в котором с заданной вероятностью α будет находиться величина среднего остаточного ресурса детали

$$J_a = T_{до.в.} - T_{до.н.} = 3223 - 1116 = 2107 \text{ мото-ч.}$$

Величина среднего остаточного ресурса детали превышает межремонтный ресурс двигателя. Деталь к дальнейшей эксплуатации признана годной.

3.4 Вывод по результатам проведенной работы

Отчет по результатам проведенных расчетов выполняется по основным пунктам методических разработок с указанием цели занятия, приведением расчетных формул, результатов расчетов и выводов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие показатели долговечности Вы знаете.
2. С какой целью определяется остаточный ресурс детали.
3. Как определить скорость изнашивания детали.
4. Как определить средний остаточный ресурс детали.
5. С какой целью определяются доверительные границы рассеивания остаточного ресурса детали.
6. Часть характеризующей величины износа предельного ($I_{пр}$) и допустимого износа ($I_{др}$).

4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Определение полного ресурса сопряжения и допустимых без ремонта размеров сопрягаемых деталей в месте их наибольшего износа

Цель работы: освоить методику расчета ресурса сопряжения, а также допустимых и предельных износов и размеров деталей сопряжения.

Задание: 1. Варианты заданий приведены в таблице В.1 приложения В.

В соответствии с заданным вариантом из таблицы

В.2 приложения В выписать данные из технических условий на дефектацию сопряжения и записать исходные данные (межремонтная наработка и скорость изнашивания деталей).

2. Рассчитать значения допустимого без ремонта $I_{др}$ и предельного $I_{пр}$ износов сопряжения, средней скорости изнашивания V_c и полного ресурса $T_{сп}$ сопряжения.

3. Рассчитать значения допустимых ($I_{др.вт}$, $I_{пр.вл}$) износов сопрягаемых деталей, а также допустимые без ремонта размеры деталей ($D_{др}$, $d_{др}$).

4. Начертить расчетную схему изнашивания деталей сопряжения, определение его полного ресурса, допустимых без ремонта и предельных износов сопрягаемых деталей.

4.1 Исходные данные

Из таблицы В.1 приложения В выписываются исходные технические данные в соответствии с заданным вариантом, которые заносятся в таблицу.

Например, для рассматриваемого варианта эти исходные данные будут иметь следующий вид (таблица В.2 приложения В).

Записываются также общие исходные данные:

- средняя межремонтная наработка $T_{мр} = 2000$ мото-ч (или 1000 мото-ч);

- средняя скорость изнашивания V_c по внутреннему диаметру –

$$V_{д.вт} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ мм/мото-ч};$$

- по наружному диаметру – $V_{д.вл} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ мм/мото-ч}$.

В наших расчетах используются предварительно установленные сроки по результатам эксплуатационных испытаний, средние скорости изнашивания деталей (в приводимом примере – втулки и поршневого пальца). В основу дальнейших расчетов может быть положена линейная зависимость износов деталей и сопряжения от наработки.

4.2 Определение величины износов, скорости изнашивания и полного ресурса сопряжения

При определении износов сопряжения (допустимого без ремонта $I_{др}$ и предельного $I_{пр}$), средней скорости изнашивания V_c сопряжения и полного ресурса $T_{сп}$ сопряжения используются следующие формулы:

$$I_{др} = S_{др} - S_{н.мах}; \quad (4.1)$$

$$I_{пр} = S_{пр} - S_{н.мах}; \quad (4.2)$$

$$V_c = V_{д.вт} + V_{д.вл}; \quad (4.3)$$

$$T_{сп} = I_{пр} / V_c, \quad (4.4)$$

где $S_{н.мах}$ – максимальный начальный зазор в сопряжении, мм;

$V_{д.вт}$; $V_{д.вл}$ – соответственно средняя скорость изнашивания первой (втулки) и второй (вала) сопрягаемых деталей, мм/мотто-ч.

Для нашего примера получаем:

$$I_{др} = 0,110 - 0,047 = 0,063 \text{ мм};$$

$$I_{пр} = 0,250 - 0,047 = 0,203 \text{ мм};$$

$$V_c = 5 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ мм/мотто-ч};$$

$$T_{сп} = 0,203 / 7 \cdot 10^{-5} = 2900 \text{ мото-ч}.$$

4.3 Определение допустимых износов и допустимых без ремонта размеров деталей сопряжения

Исходя из пропорциональности износа деталей (и сопряжений) скоростям их изнашивания предельные износы сопрягаемых деталей можно определить по уравнениям:

$$I_{\text{пр.вт}} = I_{\text{пр}} \cdot V_{\text{д.вт}}/V_{\text{с}}; \quad (4.5)$$

$$I_{\text{пр.вл}} = I_{\text{пр}} \cdot V_{\text{д.вл}}/V_{\text{с}}. \quad (4.6)$$

Тогда для рассматриваемого примера:

$$I_{\text{пр.вт}} = (0,203 \cdot 5 \cdot 10^{-5}/7 \cdot 10^{-5}) = 0,145 \text{ мм};$$

$$I_{\text{пр.вл}} = (0,203 \cdot 2 \cdot 10^{-5}/7 \cdot 10^{-5}) = 0,058 \text{ мм}.$$

Допустимые износы деталей ($I_{\text{др.вт}}$, $I_{\text{др.вл}}$) определяют из формул, отражающих физическую сущность понятия «скорость изнашивания», как отношение износа детали (сопряжения) к ресурсу:

$$V_{\text{д}} = (I_{\text{пр}} - I_{\text{др}})/T_{\text{мр}}. \quad (4.7)$$

Из выражения (4.7) определяют допустимый износ детали (втулки и вала):

$$I_{\text{др.вт}} = I_{\text{пр.вт}} - T_{\text{мр}} \cdot V_{\text{д.вт}}; \quad (4.8)$$

$$I_{\text{др.вл}} = I_{\text{пр.вл}} - T_{\text{мр}} \cdot V_{\text{д.вл}}. \quad (4.9)$$

Для нашего примера получим:

$$I_{\text{др.вт}} = 0,145 - 2000 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 0,045 \text{ мм};$$

$$I_{\text{др.вл}} = 0,058 - 2000 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 0,018 \text{ мм}.$$

Допустимые без ремонта размеры деталей сопряжения в месте их наибольшего определяются следующим образом:

$$\text{для втулки} - D_{др} = D_{max} + T_{мп} \cdot V_{д.вт}, \quad (4.10)$$

$$\text{для вала} - d_{др} = d_{min} - T_{мп} \cdot V_{д.вл}. \quad (4.11)$$

где D_{max} , d_{min} – соответственно максимальный наружный и минимальный внутренний диаметры сопрягаемых деталей с учетом

допусков на их изготовление (см. табл. В.2).

Для рассматриваемого сопряжения «втулка – поршневой палец» получим:

$$D_{др} = 42,038 + 2000 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 42,138 \text{ мм};$$

$$d_{др} = 41,991 - 2000 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 41,951 \text{ мм}.$$

4.4 Построение расчетной схемы изнашивания

Вычерчивается расчетная схема изнашивания деталей сопряжения в функции от наработки, определения его полного ресурса, допустимых без ремонта и предельных износов сопрягаемых деталей. Пример выполнения расчетной схемы для заданного варианта исходных условий показан на рисунке 4.1.

В выводе необходимо отразить результаты, полученные в ходе проведения работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие размеры называют допустимыми без ремонта.
2. Какие размеры называются предельными.
3. Как определяется предельный износ сопряжения.
4. Как определяется скорость изнашивания детали.
5. От чего зависит полный ресурс сопряжения.
6. Как определяется допустимый без ремонта износ сопряжения.
7. Как определяются предельные размеры деталей.

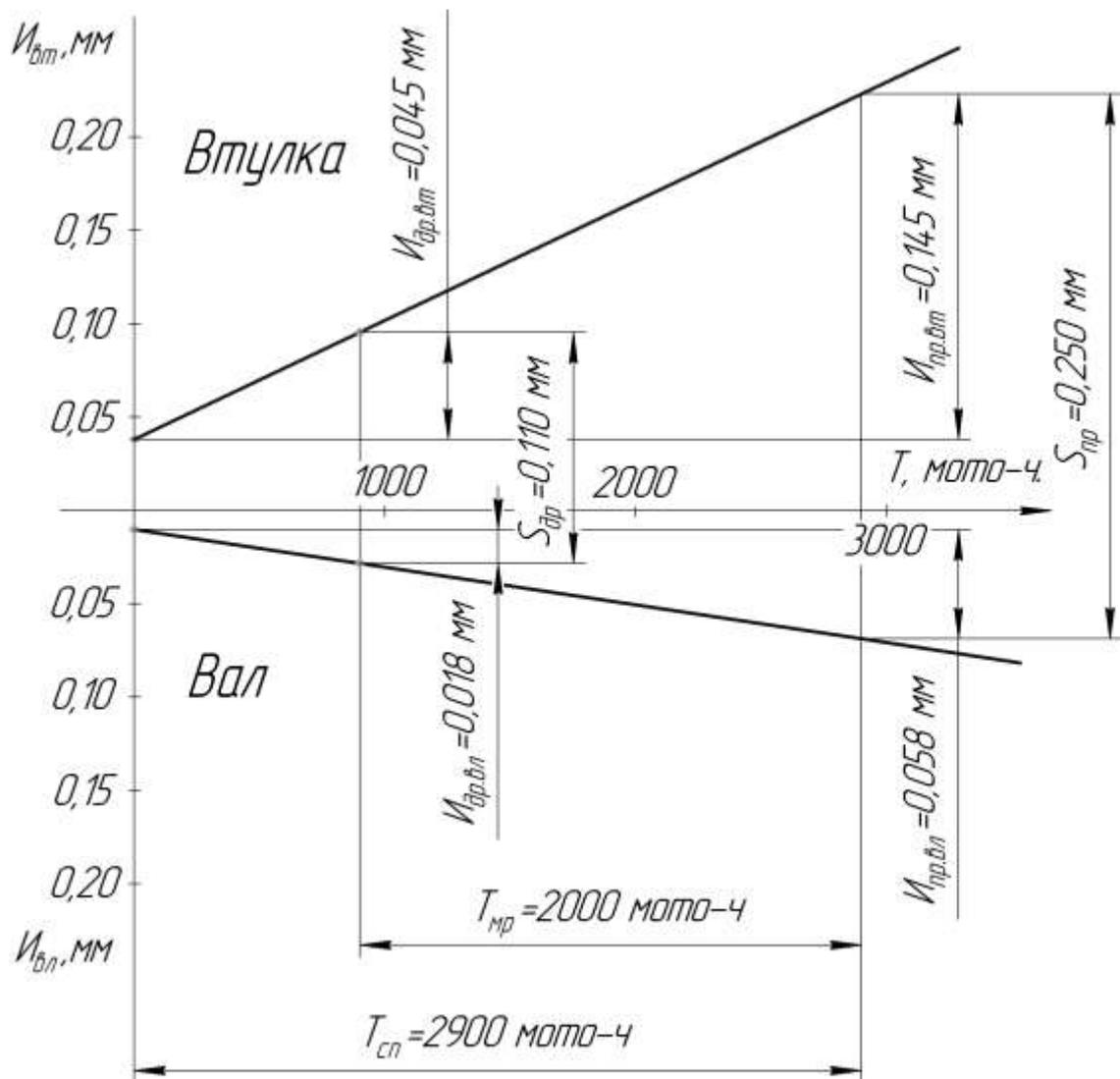


Рисунок 4.1 – Расчетная схема изнашивания деталей сопряжения, определение его полного ресурса, допустимых без ремонта и предельных износов сопрягаемых деталей

5 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение технического ресурса звена гусеницы трактора класса 3 кН по результатам стендовых испытаний

Цель работы: освоить методику определения ресурса изделий по результатам стендовых износных испытаний и известным условиям их эксплуатации.

Задание: 1. На основе предварительно полученной зависимости по результатам стендовых износных испытаний скорости изнашивания проушины звена гусеницы трактора класса 3кН от воздействующих факторов и имеющих эксплуатационные статистические характеристики этих факторов найти параметры распределения скорости изнашивания как случайной величины.

2. Построить закон распределения ресурса звена.

3. Определить среднее значение ресурса, его среднеквадратическое отклонение и 80-процентный γ -процентный ресурс.

5.1 Определение ресурса детали

Технический ресурс – наработка объекта от начала ввода его в эксплуатацию до достижения им предельного состояния из-за воздействия на долговечность конкретного изделия большого числа факторов, величину которых заранее предвидеть и учесть невозможно, является величиной случайной.

При абразивном изнашивании, если изнашивание детали происходит в строго определенных условиях, ресурс детали находится по выражению:

$$T_{\partial} = \frac{I_{np}}{V_{\partial}} \quad (5.1)$$

где T_{∂} – ресурс детали, мото-ч;

I_{np} – величина предельного износа, мм;

v_0 – скорость изнашивания.

Если при эксплуатации изделий скорость изнашивания является величиной случайной, распределенной по нормальному закону, то ресурс такого изделия также будет величиной случайной.

При этом:

$$F(T) = 1 - \Phi^* [(I_{np}/v - T)/v_v \cdot T]; \quad (5.2)$$

где $F(T)$ – вероятность того, что ресурс изделия меньше заданной наработки;

T – закон распределения ресурса;

$\Phi^*(x)$ – нормальная функция распределения величины x ;

v – скорость изнашивания (средняя);

v_v – коэффициент вариации скорости изнашивания.

При нахождении закона распределения ресурса таких изделий на специальных испытательных стендах определяют зависимость скорости от действующих основных конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов. При этом такую зависимость обычно находят в виде линейного полигона:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \dots + B_nX_n, \quad (5.3)$$

где $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ – основные действующие факторы;

$B_0, B_1, B_2, \dots B_n$ – коэффициенты регрессии полигона.

Если каждый из действующих факторов при эксплуатации изделия считать величиной случайной, случайной величиной будет являться и эксплуатационная скорость изнашивания v .

Параметры ее распределения находятся по выражениям (5.4) и (5.5):

$$Y = B_0 + B_1\bar{X}_1 + B_2\bar{X}_2 + \dots B_n\bar{X}_n \quad (5.4)$$

$$\sigma_v = \sqrt{B_1^2\sigma_1^2 + B_2^2\sigma_2^2 + B_3^2\sigma_3^2 + \dots B_n^2\sigma_n^2}, \quad (5.5)$$

где $\bar{X}_1, \bar{X}_2 \dots \bar{X}_n$ – средние значения каждого фактора;

$\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_n$ – средние квадратические отклонения факторов.

5.2 Определение скорости изнашивания

Расчетная работа выполняется по вариантам. Общая для всех вариантов является зависимость скорости изнашивания проушины звена от действующих факторов:

$$v = 10^{-5} \cdot (3,96C + 3,60v + 9,00\eta + 0,792p - 288), \quad (5.6)$$

где v – скорость изнашивания проушины звена, мм/цикл;

C – процентное содержание кварцевого песка в почве;

v – циклическая скорость качания звена относительно пальца гусеницы при работе трактора, цикл/мин;

η – абсолютная влажность почвы, %;

p – усилие в гусеничном ободе, кг.

Предельный износ проушины звена по техническим условиям на дефектовку $I_{пр} = 7$ мм.

5.3 Определение статистических характеристик и графическое построение закона распределения ресурса звена

Статистические характеристики действующих факторов для каждого варианта приведены в таблице Г.1 приложения Г.

При выполнении задания с учетом варианта, указанного преподавателем каждый студент вначале по формулам (5.4) и (5.5) находит статистические характеристики изнашивания проушины за 1 час работы трактора, определяет коэффициент вариации скорости изнашивания и затем, используя выражение (5.2) и данные таблицы Г.2 приложения Г находят максимальное и минимальное значение ресурса. При этом за минимальное значение принимается ресурс при $F(T) = 0,025$, за максимальное – при $F(T) = 0,975$.

Для определения среднего значения ресурса весь практический диапазон ресурса ($T_{\min} \dots T_{\max}$) разбивается на 10 равных интервалов, и для каждого интервала по выражению (5.2) находятся граничные значения функции:

$$F(T) - F(t_{iM}); F(t_{iB}).$$

Примечание: Каждый из факторов при фиксированной наработке тракторов является величиной случайной, распределенной по нормальному закону.

Разность между $F(t_{iM})$ и $F(t_{iB})$ представляет вероятность попадания ресурса звена в каждый из i -ых интервалов наработки:

$$\Delta F(T) = F(t_{iB}) - F(t_{iM}) \quad (5.7)$$

Принимая, что в испытаниях по определению ресурса участвовало 1000 звеньев, среднее значение ресурса находим по выражению:

$$T = (\sum_1^{10} n_i \cdot t_{iCP}) / 950 \quad (5.8)$$

где $n_i = 1000 \cdot \Delta F(t_i)$ – число звеньев, ресурс которых находим в i -том интервале наработки;

$t_{iCP} = (t_{iB} + t_{iM}) / 2$ – средняя наработка в i -том интервале.

Расчет ресурса T удобно производить последовательным заполнением колонок таблицы 5.1.

Данные колонок 2 и 16 таблицы 5.1 позволяют построить график закона распределения ресурса звена гусеницы.

Закон нормального распределения ресурса звена строится на миллиметровой бумаге (рукописный вариант) или в электронном виде с использованием соответствующих программ.

Следовательно, при $F(T) = 0,8$

$$\frac{\frac{I_{np}}{v} - T_{\gamma} (= 80\%)}{v \cdot T_{\gamma} (= 80\%)} = -0,842 \quad (5.11)$$

где $T_{\gamma} = 80\%$ – 80-ти процентный ресурс звена, который находится решением уравнения (5.11).

Таблица 5.2 – Расчет среднеквадратического отклонения ресурса звена гусеницы

№ интервала	Границы интервалов		Середина интервала t_{icp}	Число попаданий ресурса в интервал n_i	$t_{icp} - T$	$(t_{icp} - T)^2$	$(t_{icp} - T)^2 \cdot n_i$
	t_{im}	t_{ib}					
1	2	3	4	5	6	7	8
1... ...10							

$$\sum_1^{10} (t_{icp} - T)^2 \cdot n_i$$

5.5 Пример определения ресурса звена гусеницы трактора по результатам стендовых износных испытаний

Исходные данные. Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Заданные статистические характеристики факторов, влияющих на скорость изнашивания звена гусеницы трактора

$\bar{c}, \%$	$\sigma_c, \%$	$v,$ цикл/мин	$\sigma_v,$ цикл/мин	$\bar{\eta}, \%$	$\sigma_{\eta}, \%$	$\bar{p}, \text{кг}$	$\sigma_p, \text{кг}$
45	10	55	15	30	10	950	240

Как указывалось выше, сначала по формуле (5.6) определим скорость изнашивания проушины звена гусеницы, используя данные таблицы 5.3:

$$v = 10^{-5} \cdot (3,96C + 3,60v + 9,00\eta + 0,792p - 288) = \\ = 10^{-5} \cdot (3,96 \cdot 45 + 3,60 \cdot 55 + 9,0 \cdot 30 + 0,792 \cdot 950 - 288) = 0,0111 \text{ мм/цикл.}$$

Далее используя формулы (2.9) и (5.6) определяем формулу для расчета среднеквадратического отклонения скорости изнашивания звена гусеницы трактора:

$$\sigma_v = 10^{-5} \sqrt{3,96^2 \sigma_c^2 + 3,6^2 \sigma_v^2 + 9,0^2 \sigma_\eta^2 + 0,792^2 \sigma_p^2}, \quad (5.12)$$

где σ_c , σ_v , σ_η , σ_p – среднеквадратические отклонения действующих факторов (см. таблицу 5.3).

Подставляем заданные по условиям значения среднеквадратических отклонений в формулу 5.12, получим:

$$\sigma_v = 10^{-5} \sqrt{3,96^2 \cdot 10^2 + 3,6^2 15^2 + 9,0^2 10^2 + 0,792^2 240^2} = 0,00221 = 0,221 \cdot 10^{-2} \text{ мм/цикл.}$$

Используя формулу (2.10) и условившись, что за начало сдвига рассеивания значений скоростей изнашивания примем 0, определим коэффициент вариации скорости изнашивания по следующей формуле:

$$v_v = \frac{\sigma_v}{v}. \quad (5.13)$$

$$v_v = \frac{0,221 \cdot 10^{-2}}{0,0111} = 0,199.$$

Следом за этим, находим максимальное и минимальное значение ресурса, используя формулу (5.2).

За минимальное значение ресурса принимаем значение функции распределения ресурса $F(T)=0,025$. Тогда, подставив значения функции, предельного износа, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации в формулу (5.2), получим:

$$0,025 = 1 - \Phi^* \left(\frac{\frac{7}{0,0111} - T}{0,199 \cdot T} \right).$$

При этом $F(T) = 0,025 = 1 - \Phi^*(x)$.

Откуда $\Phi^*(x) = 1 - 0,025 = 0,975$.

Используя таблицу Г.2 приложения Г, находим $x = 1,94$ и подставляем его в уравнение:

$$1,94 = \left(\frac{\frac{7}{0,0111} - T}{0,199 \cdot T} \right);$$

Упрощаем уравнение и выражаем из него величину T:

$$1,94 = \left(\frac{630,6 - T}{0,199 \cdot T} \right);$$

$$630,6 - T = 0,386T;$$

$$630,6 = 1,386T;$$

$$T = 454,98 \approx 455 \text{ мото-ч.}$$

Максимальное значение ресурса принимаем при $F(T) = 0,975$.

Тогда, подставив значения функции, предельного износа, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации в формулу (5.2), получим:

$$0,975 = 1 - \Phi^* \left(\frac{\frac{7}{0,0111} - T}{0,199 \cdot T} \right).$$

При этом $F(T) = 0,975 = 1 - \Phi^*(x)$.

Откуда $\Phi^*(x) = 1 - 0,975 = 0,025$.

Используя таблицу Г.2 приложения Г, находим $x = -1,95$ и подставляем его в уравнение:

$$-1,95 = \left(\frac{\frac{7}{0,0111} - T}{0,199 \cdot T} \right);$$

Упрощаем уравнение и выражаем из него величину T:

$$-1,95 = \left(\frac{630,6 - T}{0,199 \cdot T} \right);$$

$$630,6 - T = -0,388T;$$

$$630,6 = 0,612T;$$

$$T = 1030,4 \approx 1030 \text{ мото-ч.}$$

Далее приступаем к расчету и заполнению колонок 2...4 таблиц 5.4 и 5.5. Используя формулу 2.4, разделив статистический ряд на 10 интервалов (как было рекомендовано выше) определяем протяженность интервалов:

$$A = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{10} = \frac{1030 - 455}{10} \cong 57 \text{ мото-ч.}$$

В качестве примера все последующие расчеты будут проведены для первого интервала. Для остальных интервалов расчеты проводятся аналогично примеру.

Начало первого интервала $t_{1M} = 455$ мото-ч. С учетом продолжительности интервала $A = 57$ мото-ч. — $t_{1B} = 512$ мото-ч. Результаты заносим в колонки 2 и 3 таблиц 5.4 и 5.5.

Середину интервала определим по формуле, указанной в шапке таблицы 5.4:

$$t_{1cp} = \frac{(t_{1B} + t_{1M})}{2} = \frac{(512 + 455)}{2} = 484 \text{ мото-ч.}$$

Полученные результаты заносим в колонки 4 таблиц 5.4 и 5.5.

Далее проводим расчеты по формулам, указанным в шапке таблицы 5.4, и заполняем колонки 5...7.

В качестве примера приведем расчет для первого интервала.

Колонка 5:

$$(И/У) - t_{1M} = (7/0,0111) - 455 = 176.$$

Колонка 6:

$$v_v \cdot t_{1M} = 0,199 \cdot 455 = 90,5.$$

Таблица 5.4 – Расчет среднего значения ресурса звена гусеницы

№ интервала	t_{iM}	t_{ib}	$t_{icp}=(t_{ib}+t_{iM})/2$	$(И/В)-t_{iM}$	$v_v \cdot t_{iM}$	$((И/В)-t_{iM})/(v_v \cdot t_{iM})=X_{iM}$	$\Phi^*(X_{iM})$	$(И/В)-t_{ib}$	$v_v \cdot t_{ib}$	$((И/В)-t_{ib})/(v_v \cdot t_{ib})=X_{ib}$	$\Phi^*(X_{ib})$	$\Delta F(T_i) = \Phi^*(X_{iM}) - \Phi^*(X_{ib})$	$n_i = 1000 \Delta F(T_i)$	$n_i \cdot t_{icp}$	$F(t_{iM}) = 1 - \Phi^*(X_{iM})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	455	512	484	176	90,5	1,94	0,9737	119	101,9	1,17	0,8707	0,103	103	49852	0,0263
2	512	569	541	119	101,9	1,17	0,8707	62	113	0,549	0,7976	0,0731	73	39493	0,1293
3	569	626	598	62	113	0,549	0,7976	5	124,6	0,04	0,6554	0,142	142	84916	0,2024
4	626	683	655	5	124,6	0,04	0,6554	-52	135,9	-0,383	0,352	0,303	303	198465	0,3446
5	683	740	712	-52	135,9	-0,383	0,352	-109	147,3	-0,74	0,2297	0,122	122	86864	0,648
6	740	797	769	-109	147,3	-0,74	0,2297	-166	158,6	-1,047	0,1476	0,0821	82	63058	0,7703
7	797	854	826	-166	158,6	-1,047	0,1476	-223	170	-1,31	0,0951	0,0525	53	43778	0,8524
8	854	911	883	-223	170	-1,31	0,0951	-280	181,3	-1,54	0,0618	0,0333	33	29139	0,905
9	911	968	940	-280	181,3	-1,54	0,0618	-337	192,6	-1,75	0,0401	0,0217	22	20680	0,9382
10	968	1030	999	-337	192,6	-1,75	0,0401	-399	205	-1,95	0,0256	0,0145	15	14985	0,9599

$$\sum n_i t_{icp} = 631230$$

Таблица 5.5 – Расчет среднеквадратического отклонения ресурса звена гусеницы

№ интер-вала	Границы интервалов		Середина интервала t_{icp}	Число попаданий ресурса в интервал n_i	$t_{icp}-T$	$(t_{icp}-T)^2$	$(t_{icp}-T)^2 \cdot n_i$
	t_{im}	t_{ib}					
1	2	3	4	5	6	7	8
1	455	512	484	103	-180	32400	3337200
2	512	569	541	73	-123	15129	1104417
3	569	626	598	142	-66	4356	618552
4	626	683	655	303	-9	81	24543
5	683	740	712	122	48	2304	281088
6	740	797	769	82	105	11025	904050
7	797	854	826	53	162	26244	1390932
8	854	911	883	33	219	47961	1582713
9	911	968	940	22	276	76176	1675872
10	968	1030	999	15	335	112225	1683375

$$\sum_1^{10} (t_{icp} - T)^2 \cdot n_i = 12602742$$

Колонка 7:

$$((И/v) - t_{1M}) / (v \cdot t_{1M}) = x_{1M} = ((7/0,0111) - 455) / (0,199 \cdot 455) = 1,94.$$

Используя таблицу Г.2 приложения Г, находим значения нормальной функции распределения для первого интервала: при $x_{1M} = 1,94$, значение функции $\Phi^*(1,94) = 0,9737$. Необходимо отметить, что некоторые значения аргумента не совпадают с теми, которые определены в таблице Г.2. В этом случае необходимо проводить линейное интерполирование.

Далее аналогичным образом определим значение функции распределения для наибольшего значения ресурса первого интервала, рассчитав колонки 9...11 таблицы 5.4.

Колонка 9:

$$(I/v)-t_{1b} = (7/0,0111) - 512 \approx 119.$$

Колонка 10:

$$v_v \cdot t_{1b} = 0,199 \cdot 512 \approx 101,9.$$

Колонка 11:

$$((I/v)-t_{1b})/(v_v \cdot t_{1b})=x_{1b} = ((7/0,0111) - 512)/(0,199 \cdot 512) = 1,17.$$

Используя таблицу Г.2 приложения Г, находим значения нормальной функции распределения для максимального значения первого интервала: при $x_{1b} = 1,17$, значение функции $\Phi^*(1,94) = 0,8707$ – заносим в колонку 12 таблицы 5.4.

По формуле в колонке 13 таблицы 5.4. определяем вероятность попадания ресурса звена в (в нашем примере) первый интервал:

$$\Delta F(T_1) = \Phi^*(x_{1M}) - \Phi^*(x_{1b}) = 0,9737 - 0,8707 = 0,103.$$

Полученное значение заносим в колонку 13.

Число звеньев, ресурс которых находим в первом интервале, определим по формуле:

$$n_i = 1000 \Delta F(T_i) = 1000 \cdot 0,103 = 103 \text{ шт.}$$

Рассчитанное значение заносим в колонку 14.

Далее определим произведения и заполним колонку 15:

$$n_i t_{i\text{ср}} = 103 \cdot 484 = 49852$$

После заполнения всех строк колонки 15, определяем суммарное значение $\sum n_i t_{i\text{ср}} = 631230$ и записываем его под таблицей 5.4.

Рассчитаем значения функции закона нормального распределения и заполним колонку 16 таблицы 5.4. Для первого интервала значение функции будет следующее:

$$F(t_{im}) = 1 - \Phi^*(x_{im}) = 1 - 0,9737 = 0,0263.$$

Заполнив колонку 16 таблицы 5.4, строим закон нормального распределения ресурса звена гусеницы трактора, который изображен на рисунке 5.1.

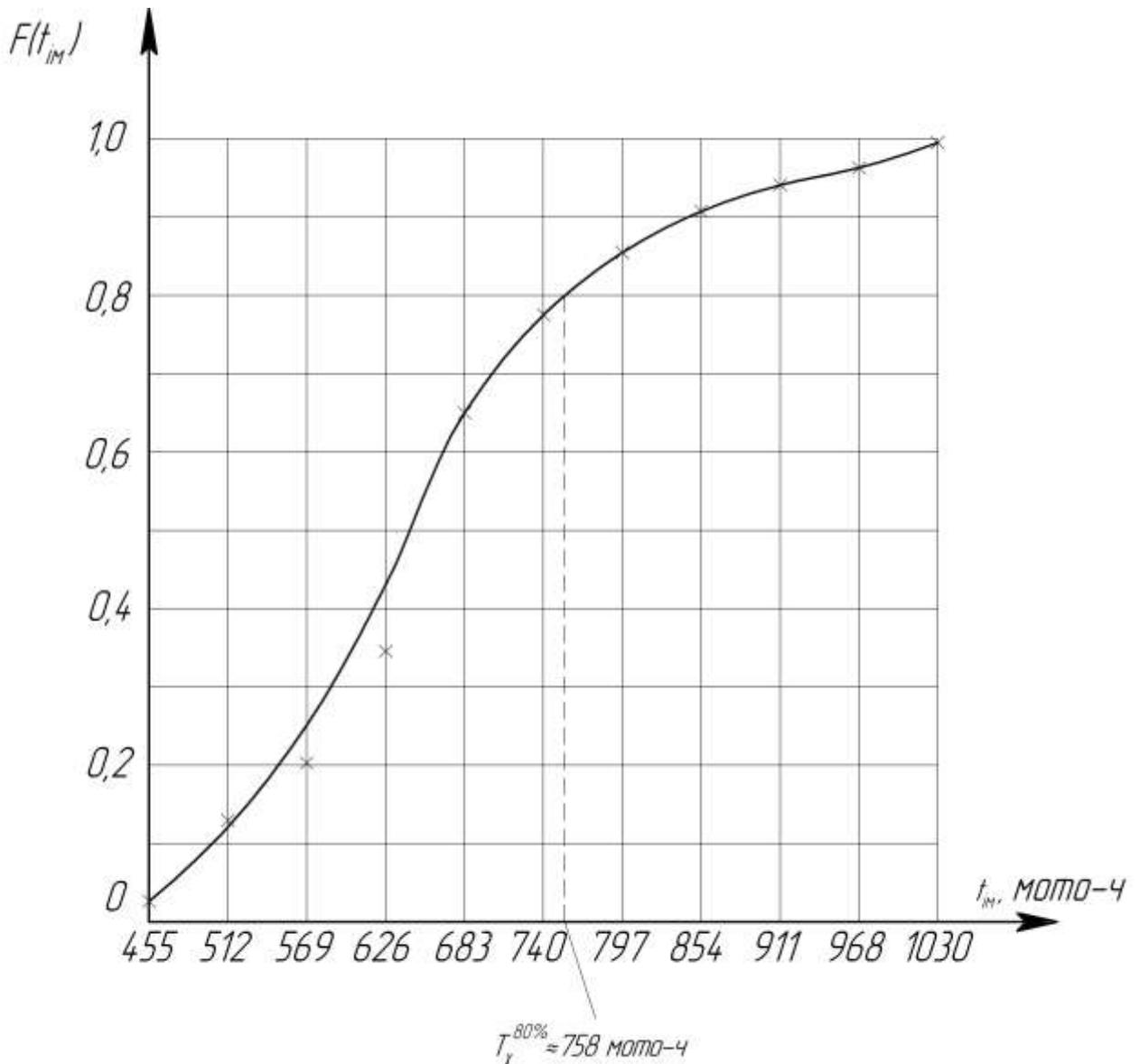


Рисунок 5.1 – График закона нормального распределения ресурса звена гусеницы трактора

Используя данные колонки 15 таблицы 5.4, определяем среднее значение ресурса по формуле (5.8):

$$T = \left(\sum_1^{10} n_i \cdot t_{icp} \right) / 950 = 631230 / 950 = 664 \text{ мото-ч.}$$

Для определения среднеквадратического отклонения необходимо рассчитать значения колонок 6...8 таблицы 5.5.

Для рассматриваемого первого интервала расчет будет выглядеть следующим образом.

Колонка 6:

$$t_{1cp}-T = 484 - 664 = - 180.$$

Колонка 7:

$$(t_{1cp}-T)^2 = (484 - 664)^2 = 32400.$$

Колонка 8:

$$(t_{1cp}-T)^2 n_1 = (484 - 664)^2 \cdot 103 = 3337200.$$

Заполнив оставшиеся колонки таблицы 5.5, рассчитаем среднеквадратическое отклонение ресурса по формуле (5.9):

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \sqrt{\sum_1^{10} (t_{icp} - T)^2 \cdot n_i / (950 - 1)} = \\ &= \sqrt{\frac{3337200 + 1104417 + 618552 + 24543 + 281088 + 904050 + 1390932 + 1582713 + 1675872 + \\ &\quad + 1683375}{(950 - 1)}} = 115,2 \text{ мото-ч.} \end{aligned}$$

Последним пунктом необходимо определить 80% γ - процентный ресурс звена гусеницы трактора, используя выражение 5.2.

$$F(T) = 0,8 = 1 - \Phi^*(x)$$

Откуда $\Phi^*(x) = 1 - 0,8 = 0,2$.

Используя таблицу Г.2 приложения Г, находим $x = - 0,842$.

Тогда:

$$\frac{I_{np} - T_\gamma}{v \cdot T_\gamma} = -0,842.$$

Подставив в выражение известные значения предельного износа, средней скорости изнашивания и коэффициента вариации, получим:

$$\left(\frac{\frac{7}{0,0111} - T_{\gamma}}{0,199 \cdot T_{\gamma}} \right) = -0,842;$$

Упрощаем уравнение и выражаем из него величину T_{γ} :

$$\left(\frac{630,6 - T_{\gamma}}{0,199 \cdot T_{\gamma}} \right) = -0,842;$$

$$630,6 - T_{\gamma} = -0,168T_{\gamma};$$

$$630,6 = 0,832T_{\gamma};$$

$$T_{\gamma} \approx 758 \text{ мото-ч.}$$

Если расчеты произведены верно, то значения 80% γ - процентный ресурс, полученные аналитическим и графическим способами (при помощи графика на рисунке 5.1) должны совпасть. Расхождение может составлять до 5%.

По результатам выполненной работы необходимо сделать вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как оценивается вероятность случайного события.
2. Что такое случайная величина.
3. Что понимается под термином «технический ресурс изделия».
4. Назовите основные числовые характеристики ресурса.
5. Что такое γ - процентный ресурс изделия.
6. Что является исчерпывающей характеристикой ресурса.

Заключение

В ходе проведения лабораторных работ на лабораторно-практических занятиях по дисциплине «Методика экспериментальных исследований технических средств в АПК» обучающиеся приобретают умения правильного проведения испытаний отдельных элементов машин, с целью расчета необходимых показателей.

Навыки проведения расчетов, полученные в ходе проведения лабораторных работ, могут быть использованы в практической деятельности будущих магистров сельскохозяйственного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы научных исследований: учеб. пособие для вузов по инженер. спец. / М. Ф. Трофимова, Заика П.М., Устюжанин А.П. – М.: Колос, 1993. – 239 с
2. Надёжность и ремонт машин: учебник / под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил.
3. А.Н. Дорохов Обеспечение надежности сложных технических систем [Электронный ресурс]: учебник / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов [и др.]. — Электрон.дан. — СПб.: Лань, 2011. — 349 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=629 — Загл. с экрана.
4. Е.А. Лисунов Практикум по надежности технических систем: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2015. – 240 с.: ил
5. Рыжков, И.Б. Основы научных исследований и изобретательства [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.Б. Рыжков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 224 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30202>. — Загл. с экрана.
6. С.И. Малафеев Надежность технических систем. Примеры и задачи [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.И. Малафеев, А.И. Копейкин. — Электрон.дан. — СПб.: Лань, 2012. — 314 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2778 –Загл. с экрана.
7. Поливаев, О.И. Испытание сельскохозяйственной техники и энергосиловых установок. [Электронный ресурс] / О.И. Поливаев, О.М. Костиков. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2017. — 280 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/90151> — Загл. с экрана.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А.1 – Коэффициент Ирвина λ_T

Повторность информации N	10	20	30	50	100	400
λ_T при $\alpha=0,95$	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
λ_T при $\alpha=0,99$	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3

Таблица А.2 – Интегральная функция (Функция распределения) закона

нормального распределения $F_0\left(\frac{I_{ki} - \bar{I}}{\sigma}\right)$

$\left(\frac{I_{ki} - \bar{I}}{\sigma}\right)$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,50	50	51	51	52	52	52	53	53	54
0,1	0,54	54	55	55	56	56	56	57	57	58
0,2	0,58	58	59	59	60	60	60	61	61	61
0,3	0,62	62	63	63	63	63	64	64	65	65
0,4	0,66	66	66	67	67	67	68	68	68	69
0,5	0,69	70	70	70	71	71	71	72	72	72
0,6	0,73	73	73	74	74	74	75	75	75	76
0,7	0,76	76	76	77	77	77	78	78	78	79
0,8	0,79	79	79	80	80	80	81	81	81	81
0,9	0,82	82	82	82	83	83	83	83	84	84
1,0	0,84	84	85	85	85	85	86	86	86	86
1,1	0,86	87	87	87	87	87	88	88	88	88
1,2	0,89	89	89	89	89	89	90	90	90	90
1,3	0,90	91	91	91	91	91	91	92	92	92
1,4	0,92	92	92	92	93	93	93	93	93	93
1,5	0,93	93	94	94	94	94	94	94	94	94
1,6	0,95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1,7	0,96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
1,8	0,96	97	97	97	97	97	97	97	97	97
1,9	0,97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
2,0	0,98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
2,1	0,98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
2,2	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,3	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,4	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,5	0,99	99	99	99	99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица А.3 – Параметры и коэффициенты распределения Вейбулла (ЗРВ)

$$a = \frac{I - C}{K_B}; a = \frac{\sigma}{C_B}; \bar{I} = a \cdot K_B + C$$

V	b	K _B	C _B	V	b	K _B	C _B	V	b	K _B	C _B
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1,26	0,80	1,13	1,43	0,55	1,90	0,89	0,49	0,36	3,00	0,89	0,33
1,11	0,90	1,07	1,20	0,52	2,00	0,89	0,46	0,35	3,10	0,89	0,32
1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	2,10	0,89	0,44	0,34	3,20	0,90	0,31
0,91	1,10	0,97	0,88	0,48	2,20	0,89	0,43	0,33	3,30	0,90	0,30
0,84	1,20	0,94	0,79	0,46	2,30	0,89	0,41	0,33	3,40	0,90	0,29
0,78	1,30	0,92	0,72	0,44	2,40	0,89	0,39	0,32	3,50	0,90	0,29
0,72	1,40	0,91	0,66	0,43	2,50	0,89	0,38	0,31	3,60	0,90	0,28
0,68	1,50	0,90	0,61	0,41	2,60	0,89	0,37	0,30	3,70	0,90	0,27
0,64	1,60	0,90	0,57	0,40	2,70	0,89	0,35	0,29	3,80	0,90	0,27
0,61	1,70	0,89	0,54	0,39	2,80	0,89	0,34	0,29	3,90	0,91	0,26
0,58	1,80	0,89	0,51	0,38	2,90	0,89	0,34	0,28	4,00	0,91	0,25

Таблица А.4 – Интегральная функция (функция распределения) $F(I_{ki} - C)$ закона Вейбулла

$\frac{\bar{I}_{ki} - C}{a}$	b										
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
0,1	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
0,2	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05
0,3	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10
0,4	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16
0,5	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24
0,6	0,47	0,45	0,43	0,42	0,40	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	0,32
0,7	0,52	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,43	0,41	0,40
0,8	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48
0,9	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,60	0,63	0,63
1,1	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70
1,2	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76
1,3	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81
1,4	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
1,5	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89
1,6	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91
1,7	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,92	0,98	0,94
1,8	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
1,9	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
2,0	0,85	0,87	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
2,1	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98
2,2	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
2,3	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
2,4	0,86	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00
2,5	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00

Продолжение таблицы А.4

$\bar{I}_{ki} - C$	b											
	a	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
2,6	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
2,7	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
2,8	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
2,9	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3,0	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3,5	0,95	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4,0	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Продолжение таблицы А.4

$I_{ki} - C$	b											
	a	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	
0,1	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
0,3	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
0,4	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
0,5	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13
0,6	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,20
0,7	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,30	0,30
0,8	0,47	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41
0,9	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
1,2	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82
1,3	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88
1,4	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93
1,5	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96
1,6	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
1,7	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
1,8	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,9	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,0	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,1	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,2	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Продолжение таблицы А.4

$I_{ki} - C$	b											
	a	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,3	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,4	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
0,5	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
0,6	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,03	0,13	0,12	0,12

Продолжение таблицы А.4

$\frac{I_{ki} - C}{a}$	b										
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,7	0,29	0,29	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21
0,8	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34
0,9	0,52	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
1,2	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87
1,3	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
1,4	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
1,5	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
1,6	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,7	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица А.5 – Критерий Колмогорова P(λ)

λ	P(λ)	λ	P(λ)	λ	P(λ)
0,0	1,000	0,7	0,711	1,4	0,04
0,1	1,000	0,8	0,544	1,5	0,022
0,2	1,000	0,9	0,393	1,6	0,012
0,3	1,000	1,0	0,270	1,7	0,006
0,4	0,997	1,1	0,178	1,8	0,003
0,5	0,967	1,2	0,112	1,9	0,002
0,6	0,864	1,3	0,068	2,0	0,001

Таблица А.6 – Коэффициенты t_α , r_1 и r_3 для двусторонних доверительных границ

α	$\alpha = 0,80$			$\alpha = 0,90$			$\alpha = 0,95$		
	t_α	r_1	r_3	t_α	r_1	r_3	t_α	r_1	r_3
10	1,38	1,61	0,70	1,83	1,83	0,64	2,26	2,09	0,59
15	1,35	1,46	0,74	1,76	1,62	0,68	2,15	1,79	0,64
20	1,33	1,37	0,77	1,73	1,51	0,72	2,09	1,64	0,67
25	1,32	1,33	0,79	1,71	1,44	0,74	2,06	1,55	0,70
30	1,31	1,29	0,80	1,70	1,39	0,76	2,04	1,48	0,72
40	1,30	1,24	0,83	1,68	1,32	0,78	2,02	1,40	0,75
50	1,30	1,21	0,84	1,68	1,28	0,80	2,01	1,35	0,77
60	1,30	1,19	0,86	1,67	1,25	0,82	2,00	1,31	0,79
80	1,29	1,16	0,87	1,66	1,21	0,84	1,99	1,27	0,81
100	1,29	1,14	0,88	1,66	1,19	0,86	1,98	1,23	0,83

Приложение Б

Таблица Б.1 – Варианты заданий и технические условия дефектации втулки верхней головки шатуна дизельного двигателя СМД-14

Номер варианта	Наработка в момент измерения $N_{изм}$, мото-ч	Межремонтный ресурс двигателя $T_{мр}$, мото-ч	Начальный диаметр $D_{нр}$, мм	Допустимый диаметр $D_{др}$, мм	Величина доверительной вероятности α
1	1200	2000	$42^{+0,040}_{+0,020}$	42,09	0,90
2	1300				0,85
3	1400				0,80
4	1500				0,95
5	1600				0,90
6	1500	2200	$42^{+0,056}_{+0,030}$	42,080	0,85
7	1600				0,95
8	1700				0,80
9	1800				0,90
10	1900				0,85
11	1800	2400	$42^{+0,020}_{+0,090}$	42,095	0,80
12	1900				0,90
13	2000				0,95
14	2100				0,85
15	2200				0,90
16	2100	2600	$42^{+0,020}_{+0,010}$	42,070	0,95
17	2200				0,85
18	2300				0,80
19	2400				0,90
20	2500				0,95

Таблица Б.2 – Данные из технических условий на дефектацию сопряжения «втулка – поршневой палец» дизельного двигателя СМД-14

Зазоры в сопряжении, мм		
Начальный S_n	Допустимый $S_{др}$	Предельный S_p
0,022 – 0,047	0,10	0,25

Таблица Б.3 – Квантили $N_{к.в.}$ закона распределения Вейбулла

F(t); $\sum P_i$	Параметр b															
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,16	0,22	0,27	0,32
0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,25	0,31	0,37	0,42
0,05	0,04	0,05	0,07	0,06	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,31	0,37	0,43	0,48
0,07	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,35	0,42	0,47	0,52
0,10	0,08	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,41	0,47	0,53	0,57
0,15	0,14	0,17	0,19	0,23	0,25	0,29	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,50	0,56	0,60	0,63
0,20	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41	0,44	0,45	0,47	0,55	0,61	0,65	0,69
0,25	0,25	0,29	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,61	0,66	0,70	0,73
0,30	0,32	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,56	0,58	0,60	0,66	0,71	0,75	0,77
0,35	0,40	0,44	0,47	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,64	0,66	0,71	0,75	0,79	0,81
0,40	0,47	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70	0,72	0,76	0,80	0,83	0,85
0,45	0,57	0,60	0,63	0,66	0,68	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,81	0,84	0,86	0,88
0,50	0,67	0,69	0,72	0,74	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,86	0,89	0,90	0,91
0,55	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,93	0,94	0,95
0,60	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
0,65	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02
0,70	1,23	1,20	1,18	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,05	1,05
0,75	1,45	1,40	1,36	1,33	1,30	1,27	1,25	1,23	1,22	1,21	1,20	1,18	1,14	1,11	1,10	1,09
0,80	1,70	1,61	1,54	1,49	1,44	1,41	1,37	1,35	1,32	1,30	1,29	1,27	1,21	1,17	1,15	1,13
0,85	2,11	1,96	1,94	1,74	1,67	1,61	1,55	1,51	1,47	1,45	1,32	1,39	1,31	1,25	1,21	1,18
0,90	2,53	2,30	2,13	2,00	1,90	1,81	1,74	1,68	1,63	1,59	1,55	1,52	1,40	1,32	1,27	1,23
0,93	2,96	2,66	2,43	2,26	2,12	2,01	1,92	1,84	1,78	1,72	1,67	1,63	1,48	1,39	1,32	1,28
0,95	3,38	3,00	2,71	2,49	2,33	2,19	2,08	1,99	1,91	1,84	1,78	1,73	1,55	1,44	1,37	1,32
0,97	4,03	3,51	3,13	2,84	2,63	2,45	2,31	2,19	2,09	2,01	1,94	1,87	1,65	1,52	1,43	1,37
0,99	5,46	4,60	4,01	3,57	3,24	2,98	2,77	2,60	2,46	2,34	2,23	2,15	1,84	1,66	1,55	1,46

Приложение В

Таблица В.1 – Варианты заданий к лабораторной работе № 3:

Вариант	Средняя межремонтная наработка T_{MP} , мото-ч	Средняя скорость изнашивания по внутреннему диаметру $V_{iвт}$, мм/мото-ч, $\cdot 10^{-5}$	Средняя скорость изнашивания по наружному диаметру $V_{iвл}$, мм/мото-ч, $\cdot 10^{-5}$
1	3000	1,50	0,50
2	3100	1,19	0,19
3	3200	1,48	0,48
4	3300	1,47	0,47
5	3400	1,46	0,46
6	3500	1,45	0,45
7	3600	1,44	0,44
8	3700	1,43	0,43
9	3800	1,42	0,42
10	3900	1,41	0,41
11	4000	1,40	0,40
12	4100	1,39	0,39
13	4200	1,38	0,38
14	4300	1,37	0,37
15	4400	1,36	0,36
16	4500	1,35	0,35
17	4600	1,34	0,34
18	4700	1,33	0,33
19	4800	1,32	0,32
20	4900	1,31	0,31
21	5000	1,30	0,30
22	4900	1,29	0,29
23	4800	1,28	0,28
24	4700	1,27	0,27
25	4600	1,26	0,26
26	4500	1,25	0,25
27	4400	1,24	0,24
28	4300	1,23	0,23
29	4200	1,22	0,22
30	4100	1,21	0,21
31	4000	1,20	0,20
32	3900	1,19	0,19
33	3800	1,18	0,18
34	3700	1,17	0,17
35	3600	1,16	0,16
36	3500	1,15	0,15
37	3400	1,14	0,14
38	3300	1,13	0,13
39	3200	1,12	0,12
40	3100	1,11	0,11

Таблица В.2 – Данные из технических условий на дефектацию сопряжений тракторных деталей

Наименование деталей и место измерения	Размеры по чертежу, мм	Номинальный зазор, мм $S_{нач}$	Допустимый зазор, мм $S_{дп}$	Предельный, зазор, мм $S_{пр}$
Втулка (внутренний диаметр)	42 ^{+0,038} _{-0,023}	0,022	0,11	0,25
Палец поршневой (наружный диаметр)	42 ^{+0,001} _{-0,009}	0,047	0,11	0,25

Приложение Г

Таблица Г.1 – Статистические характеристики факторов, влияющих на скорость изнашивания звена гусеницы трактора (варианты для расчета)

№ варианта	$\bar{c}, \%$	$\sigma_c, \%$	$\nu,$ цикл/мин	$\sigma_\nu,$ цикл/мин	$\bar{\eta}, \%$	$\sigma_\eta, \%$	$\bar{p}, \text{кг}$	$\sigma_p, \text{кг}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	50	8,1	58	14	27	6,3	900	210
2	70	10	60	15	20	5,0	800	200
3	40	10	50	15	30	10	950	240
4	60	15	50	20	20	5,0	900	200
5	35	10	60	20	34	10	800	200
6	30	10	40	15	35	6,0	950	250
7	55	15	45	15	30	10	1000	300
8	45	15	60	20	30	10	800	200
9	55	9,0	55	15	32	10	975	220
10	65	15	50	17	25	7,0	950	240
11	45	10	58	20	25	10	850	220
12	60	10	60	20	30	6	900	210
13	50	9	14	27	25	6	1000	250
14	40	10	60	15	30	10	900	200
15	35	15	58	14	27	6,3	950	250

Таблица Г.2 – Значения нормальной функции распределения $\Phi^*(x)$

X	$\Phi^*(x)$	X	$\Phi^*(x)$	X	$\Phi^*(x)$
1	2	3	4	5	6
0,00	0,5000	-1,65	0,0495	0,85	0,8023
-0,05	0,4801	-1,70	0,0446	0,90	0,8159
-0,10	0,4602	-1,75	0,0401	0,95	0,8289
-0,15	0,4404	-1,80	0,359	1,00	0,8413

Продолжение таблицы Г.2

1	2	3	4	5	6
-0,20	0,4207	-1,85	0,0322	1,05	0,8531
-0,25	0,4013	-1,90	0,0288	1,10	0,8643
-0,30	0,3821	-1,95	0,0256	1,15	0,8749
-0,35	0,3632	-2,00	0,0228	1,20	0,8849
-0,40	0,3446	-2,10	0,0179	1,25	0,9015
-0,45	0,3264	-2,20	0,0139	1,30	0,9032
-0,50	0,3085	-2,30	0,0107	1,35	0,9115
-0,55	0,2912	-2,40	0,0082	1,40	0,9192
-0,60	0,2743	-2,50	0,0062	1,45	0,9265
-0,65	0,2578	-2,60	0,0047	1,50	0,9332
-0,70	0,2480	-2,70	0,0035	1,55	0,9394
-0,75	0,2266	-2,80	0,0026	1,60	0,9452
-0,80	0,2119	-2,90	0,0019	1,65	0,9505
-0,85	0,1977	-3,00	0,0014	1,70	0,9554
-0,90	0,1841	0,00	0,5000	1,80	0,9641
-0,95	0,1711	0,05	0,0199	1,85	0,9678
-1,00	0,1527	0,10	0,5598	1,95	0,9744
-1,05	0,1469	0,15	0,5596	2,00	0,9772
-1,10	0,1257	0,20	0,5793	2,10	0,9821
-1,15	0,1251	0,25	0,5987	2,20	0,9851
-1,20	0,1151	0,30	0,6179	2,30	0,9833
-1,25	0,1056	0,35	0,6368	2,40	0,9918
-1,30	0,0958	0,40	0,6554	2,50	0,9938
-1,35	0,885	0,45	0,6756	2,60	0,9953
-1,40	0,0808	0,53	0,7988	2,70	0,9965
-1,45	0,0735	0,60	0,7257	2,80	0,9974
-1,50	0,0668	0,70	0,7580	2,90	0,9981
-1,55	0,0606	0,75	0,7734	3,00	0,9986
-1,60	0,0548	0,80	0,7881	—	—