



В.Г. Новоселов  
Т.В. Полякова

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Екатеринбург  
2016

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра механической обработки древесины  
и производственной безопасности

В.Г. Новоселов

Т.В. Полякова

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие  
по расчету показателей надежности  
для обучающихся по направлению подготовки магистров  
35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих  
производств», профиль «Технология деревообработки»  
(академическая магистратура)  
всех форм обучения

Екатеринбург  
2016

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.  
Протокол № 8 от 23 октября 2015 г.

Рецензент – А.С. Красиков, доцент, канд. техн. наук.

Редактор А.Л. Ленская  
Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

---

Подписано в печать 26.12.16		Поз. 58
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,16	Цена руб. коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ВВЕДЕНИЕ

Учебная дисциплина «Теоретические основы надежности технологических систем» является специальной дисциплиной, которая позволяет магистру получить компетенции в области анализа и обеспечения надежности технологических систем деревоперерабатывающих производств. Дисциплина имеет большое значение в практической деятельности магистра, она формирует следующие профессиональные компетенции:

- способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень (ОК-1);

- способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);

- умение профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы (в соответствии с целями магистерской программы) (ОПК-2);

- способность ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований (ПК-11);

- готовность применять методы анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений (ПК-19).

В ходе выполнения расчетов обучающиеся совершенствуют практические навыки самостоятельной работы с литературой, развивают творческую инициативу в решении инженерных задач, связанных с анализом и обеспечением надежности технологических систем, включая оборудование, предметы производства и исполнителей.

## РАСЧЕТНАЯ РАБОТА 1

### Дано

По результатам натурных испытаний нижних шатунных подшипников двухэтажных лесопильных рам в количестве  $N_o$  получены значения наработок до отказов, сгруппированные в равных интервалах  $\Delta t$  со средними значениями  $t_i$  по  $\Delta n_{ti}$  в каждом (Приложение А).

### Требуется

Определить статистические оценки и построить графики вероятности безотказной работы, плотности распределения наработки до отказа, интенсивности отказов, среднюю и 80 %-ную наработку до отказа.

### Порядок выполнения

1. Запустить приложение MS Excel, сохранить пустую книгу, выбрав в меню «Файл» команду «Сохранить как» и указав путь: с:\...\Мои документы\Надежность\<имя файла>. Последние пункты выполняются созданием вложенной папки «Надежность» и заданием имени файла, в качестве которого рекомендуется использовать обозначение группы и фамилию, например, «МТД\_М2\_Иванов». При дальнейшей работе с данными во избежание их утраты при случайных отключениях, сбоях в работе компьютера или ошибочных действиях необходимо периодически производить сохранение.

2. Лист 1 открытой книги переименовать в «Раб1». В верхних строках листа последовательно записать группу, фамилию, номер варианта, текст задания.

3. Создать таблицу со следующими колонками:

Среднее значение наработки в интервале $t_i$ , час	Количество отказов в интервале $\Delta n_{ti}$	Количество объектов, работоспособных к моменту $t_i$ $N_{ti}$	Вероятность безотказной работы $P^*(t_i)$	Плотность распределения наработки до отказа $f^*(t_i)$	Интенсивность отказов $\lambda^*(t_i)$	Расчет средней наработки до отказа $t_i \Delta n_{ti}$
--	--	--	---	--	--	--

4. Расположить в первом и втором столбцах таблицы исходные данные в соответствии с заданным вариантом в порядке возрастания значений наработки до отказа. Пустые и нулевые строки в конце таблицы игнорировать. Правильность ввода данных проверить по сумме значений  $\Delta n_{ti}$ , которая должна быть равна общему количеству испытанных объектов  $N_o$ .

5. В третьем столбце произвести расчет количества объектов, оставшихся работоспособными к моменту  $t_i$ , считая, что все отказы объектов в данном интервале уже произошли:

$$N_{ti} = N_{ti-1} - \Delta n_{ti},$$

где  $N_{i-1}$  – количество объектов, оставшихся работоспособными до начала рассматриваемого интервала; для первого интервала  $N_{i-1} = N_0 = 100$ .

6. В четвертом столбце рассчитать статистическую оценку вероятности безотказной работы:

$$P^*(t_i) = N_{i-1}/N_0.$$

7. В пятом столбце рассчитать статистическую оценку плотности распределения наработки до отказа:

$$f^*(t_i) = \Delta n_{ii} / (N_0 \Delta t).$$

8. В шестом столбце рассчитать статистическую оценку интенсивности отказов:

$$\lambda^*(t_i) = \Delta n_{ii} / (N_{i-1} \Delta t).$$

9. В седьмом столбце рассчитать взвешенные значения наработок до отказа в каждом интервале  $t_i \Delta n_{ii}$ . В последней ячейке столбца определить среднюю наработку до отказа:

$$T_1 = \sum_{i=1}^m \frac{t_i \Delta n_{ii}}{N_0},$$

где  $m$  – количество интервалов наработки до отказа (заполненных строк таблицы).

10. С помощью мастера диаграмм приложения MS Excel построить графики вероятности безотказной работы, плотности распределения наработки до отказа, интенсивности отказов (каждый на отдельной диаграмме). Строки с неопределенными данными типа «ДЕЛ/0», «ЗНАЧЕНИЕ» не включать. Выбрать тип диаграммы – «Точечная» и вид – «Точечная ... со значениями, соединенными сглаживающими линиями».

11. По графику вероятности безотказной работы определить 80 %-ную наработку до отказа.

12. Сделать выводы по работе.

Примечание: По окончании каждого занятия данные сохранять по указанному пути, закрыть книгу, закрыть Excel, затем скопировать папку «Надежность» на личный носитель информации.

## РАСЧЕТНАЯ РАБОТА 2

### Дано

Результаты статистической обработки данных натуральных испытаний нижних шатунных подшипников двухэтажных лесопильных рам, приведенные в расчетной работе 1.

### Требуется

Графоаналитическим методом определить параметры закона Вейбулла распределения наработки до отказа; проверить соответствие принятого закона распределения по критерию Пирсона.

### Порядок выполнения

1. В ранее созданной и сохраненной книге Excel переименовать Лист 2 в «Раб2», в верхних строках последовательно записать группу, фамилию, номер варианта, текст задания.

2. Создать таблицу со следующими колонками:

Средние значения интервалов наработки, $t_i$	Статистическая оценка ВБР, $P^*(t_i)$	Новая переменная $X_i = \ln t_i$	Новая функция $Y_i = \ln\{-\ln[P^*(t_i)]\}$ .
--	---------------------------------------	----------------------------------	---

3. Два первых столбца заполнить копированием значений из расчетной работы 1.

4. В третьем и четвертом столбцах произвести вычисления новой переменной  $X_i$  и новой функции  $Y_i$ .

5. Построить график  $Y_i = Y(X_i)$ , используя мастер диаграмм, тип "Точечная" (без линий). Подвести указатель мыши к одной из точек на графике и нажать ее правую кнопку. В появившемся меню выбрать "Добавить линию тренда". В закладке "Тип" выбрать "Линейная", а в закладке "Параметры" указать "Показывать уравнение на диаграмме". График разместить на имеющемся листе (Раб2) на свободном поле рядом с таблицей.

6. Привести уравнение к виду  $Y_i = b(X_i - X_o)$  и вычислить параметр масштаба закона распределения Вейбулла:

$$a = \exp(X_o).$$

7. Определить значение критерия Пирсона, для чего создать таблицу со следующими столбцами:

Теоретическая вероятность безотказной работы $P(t) = \exp[-(t/a)^b]$	Теоретическая частота отказов $\Delta n_{ii}^T = [P(ti-1) - P(ti)]N_o$	Эмпирическая частота отказов $\Delta n_{ii}^*$	Относительные квадраты разностей теоретических и эмпирических частот $(\Delta n_{ii}^T - \Delta n_{ii}^*)^2 / \Delta n_{ii}^T$
--	--	--	--

\* Второй столбец из таблицы данных в расчетной работе 1.

8. Построить совместный график теоретических и эмпирических частот, используя мастер диаграмм. Визуально определить соответствие выбранных параметров закона распределения Вейбулла эмпирическим данным. При явном несоответствии проверить правильность определения параметров закона распределения, выполнения расчетов, построения графиков (исключить неопределенные данные типа «ДЕЛ/0!» «ЗНАЧЕНИЕ» и «выпадающие» точки), выполнения расчетов (программирования формул).

9. Просуммировать относительные квадраты разностей теоретических и эмпирических частот, результатом будет критерий Пирсона  $\chi^2$  :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(\Delta n_{ii}^T - \Delta n_{ii})^2}{\Delta n_{ii}^T},$$

где  $m$  – количество сравниваемых частот.

10. Вычислить количество степеней свободы при определении параметров закона распределения

$$k = m - r - 1,$$

где  $r$  – количество параметров закона распределения ( $r = 2$ );

1 – объединение граничных интервалов наработки.

11. По таблице (Приложение Б) определить вероятность согласия теоретического и эмпирического законов распределения.

12. Сделать выводы по работе.

### РАСЧЕТНАЯ РАБОТА 3

#### **Дано**

*Время восстановления подшипникового узла нижней головки шатуна лесопильной рамы подчиняется закону распределения Вейбулла с параметрами, приведёнными в таблице (Приложение В).*

#### **Требуется**

*Построить графики вероятности восстановления и интенсивности восстановления, определить среднее и 80 %-ное время восстановления; определить коэффициенты готовности и оперативной готовности за 80 часов работы.*

#### **Порядок выполнения**

1. В ранее созданной и сохраненной книге Excel Лист 3 переименовать в «Раб3», в верхних строках последовательно записать группу, фамилию, номер варианта, текст задания.



2. Создать таблицу со следующими столбцами:

Время восстановления $t_{ei}$	Вероятность восстановления $P(t_{ei})$	Теоретическая частота восстановлений $\Delta n_{t_{ei}}$	Количество не восстановленных к моменту времени $t_{ei}$ подшипниковых узлов $N(t_{ei})$	Интенсивность восстановления $\lambda(t_{ei})$	Взвешенные значения времени восстановления $t_{bi} \Delta n_{t_{bi}}$
----------------------------------	---	---	---	---	--

3. В первый столбец занести значения времени восстановления от  $t_{e0} = 0$  до  $t_{e \max} = 3a$  с интервалом  $\Delta t_e = 0,1 t_{e \max}$ .

4. Во втором столбце рассчитать вероятность восстановления:

$$P(t_{ei}) = 1 - \exp[-(t_{ei}/a)^b].$$

5. В третьем столбце рассчитать теоретическую частоту восстановлений:

$$\Delta n_{t_{ei}} = [P(t_{ei}) - P(t_{ei-1})] N_0.$$

6. В четвертом столбце рассчитать количество не восстановленных к моменту времени  $t_{ei}$  подшипниковых узлов, считая, что к данному моменту все восстановления в данном интервале уже были завершены:

$$N(t_{ei}) = N(t_{ei-1}) - \Delta n_{t_{ei}}.$$

7. В пятом столбце рассчитать интенсивность восстановления:

$$\lambda(t_{ei}) = \Delta n_{t_{ei}} / [N(t_{ei}) \Delta t_e].$$

8. В шестом столбце рассчитать взвешенные значения времени восстановления:

$$t_{bi} \Delta n_{t_{bi}}.$$

9. С помощью мастера диаграмм построить графики вероятности восстановления и интенсивности восстановления.

10. Вычислить среднее время восстановления.

$$T_e = \sum_{i=1}^m (t_{bi} \Delta n_{t_{bi}}) / N_0.$$

11. По графику вероятности восстановления определить 80 %-ное время восстановления.

12. Рассчитать коэффициент готовности:

$$K_2 = T_1 / (T_1 + T_e),$$

где  $T_1$  – средняя наработка до отказа (см. работу 1).

13. Рассчитать коэффициент оперативной готовности:

$$K_{oz} = K_z P(80),$$

где  $P(80)$  – вероятность безотказной работы за 80 часов (см. работу 1).

14. Сделать выводы по работе.

#### РАСЧЕТНАЯ РАБОТА 4

##### **Дано**

При обработке деревянных деталей на рейсмусовом станке допуск на отклонение размера детали по толщине в соответствии с нормами точности по ГОСТ 7228-75 составляет  $\delta = 0,15$  мм. Заданы значения параметров станка, инструмента и заготовки (Приложение Г).

##### **Требуется**

Построить объемную диаграмму изменения наработки до отказа по параметру продукции «точность» в зависимости от припуска на обработку  $\Pi$  и интенсивности изнашивания инструмента  $\gamma_{\Delta}$  и вычислить среднюю и 80 %-ную наработку до отказа.

##### **Порядок выполнения**

1. Определить величину допускаемого отклонения поверхности обработки от номинального расположения при одностороннем фрезеровании:

$$d = (0, \dots, 0,25)\delta.$$

2. Вычислить средние значения параметров  $\bar{X}$ , их средние квадратические отклонения  $\sigma_X$  и дисперсии  $D\{X\}$ :

$$\bar{X} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2};$$

$$\sigma_X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{6};$$

$$D\{X\} = \sigma_X^2.$$

3. Разбить диапазон изменения припуска на обработку  $\Pi$  и интенсивности изнашивания инструмента  $\gamma_{\Delta}$  на четное количество равных интервалов, создать двумерную таблицу  $\{\Pi; \gamma_{\Delta}\}$  и вычислить для каждой пары значений величину наработки до отказа по параметру продукции «точность» при средних значениях прочих параметров:

$$t_1 \approx \frac{16,7\bar{d}}{\gamma_{\Delta} \bar{n} \sqrt{\Pi D_p (\bar{e} - \bar{\varepsilon}_o)}},$$

где  $d$  – допускаемое отклонение поверхности обработки от ее номинального расположения, мкм;

$\gamma_{\Delta}$  – интенсивность изнашивания инструмента, мкм/м;

$n$  – частота вращения инструмента, мин<sup>-1</sup>;

$\Pi$  – толщина срезаемого слоя (припуск на обработку), мм;

$e$  – вспомогательная величина;

$\varepsilon_0$  – относительная остаточная деформация древесины под поверхностью резания;

$D_p$  – диаметр окружности резания, мм.

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}.$$

Здесь  $\beta$  – угол заострения, град;

$\alpha$  – задний угол лезвия, град.

4. По полученным значениям, пользуясь мастером диаграмм прикладного пакета Excel, построить объемную диаграмму изменения наработки до отказа по параметру продукции «точность» в зависимости от припуска на обработку  $\Pi$  и интенсивности изнашивания инструмента  $\gamma_{\Delta}$ .

5. Вычислить значения частных производных наработки по всем параметрам при их средних значениях:

$$\frac{\partial t}{\partial d} = \frac{16,7}{\gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p (e - \varepsilon_0)}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}^2 n \sqrt{\Pi D_p (e - \varepsilon_0)}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial n} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta} n^2 \sqrt{\Pi D_p (e - \varepsilon_0)}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial l} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta} n \Pi * D_p (e - \varepsilon_0)};$$

$$\frac{\partial t}{\partial e} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p (e - \varepsilon_0)} e};$$

$$\frac{\partial t}{\partial \varepsilon_0} = \frac{16,7d}{\gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p (e - \varepsilon_0)} \varepsilon_0};$$

$$\frac{\partial l}{\partial \Pi} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{D_p}{\Pi}};$$

$$\frac{\partial l}{\partial D_p} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\Pi}{D_p}};$$

$$\frac{\partial e}{\partial \alpha} = \frac{\cos(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)};$$

$$\frac{\partial e}{\partial \beta} = -\frac{\sin \alpha}{2\sin^2(\beta/2)}.$$

6. Вычислить дисперсию и среднее квадратическое отклонение наработки до отказа:

$$D\{l\} = \left(\frac{\partial l}{\partial \Pi}\right)^2 D\{\Pi\} + \left(\frac{\partial l}{\partial D_p}\right)^2 D\{D_p\};$$

$$D\{e\} = \left(\frac{\partial e}{\partial \alpha}\right)^2 D\{\alpha\} + \left(\frac{\partial e}{\partial \beta}\right)^2 D\{\beta\};$$

$$\sigma_t^2 = D\{t\} = \left(\frac{\partial t}{\partial d}\right)^2 D\{d\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \gamma_\Delta}\right)^2 D\{\gamma_\Delta\} + \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)^2 D\{n\} + \left(\frac{\partial t}{\partial l}\right)^2 D\{l\} + \left(\frac{\partial t}{\partial e}\right)^2 D\{e\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \varepsilon_0}\right)^2 D\{\varepsilon_0\}.$$

7. Вычислить 80-ную наработку до отказа.

$$t_{0,8} = \bar{T}_1 - 0,841\sigma_t;$$

8. Сравнить среднюю и 80 %-ную наработку до отказа.

9. Проанализировать полученную зависимость наработки до отказа от переменных факторов.

10. Сделать выводы о влиянии переменных факторов на наработку до отказа.

## РАСЧЕТНАЯ РАБОТА 5

### **Дано**

При обработке массивной древесины на четырехстороннем строгальном станке предельные значения параметров шероховатости в соответствии с нормами ГОСТ 7016-82 составляют  $R_{m \max} = 16 \dots 250$  мкм. Заданы значения параметров станка, инструмента и заготовки (Приложение Д).

### **Требуется**

Построить объемную диаграмму изменения наработки до отказа по параметру продукции «шероховатость поверхности» в зависимости от припуска на обработку  $\Pi$  и интенсивности изнашивания инструмента  $\gamma_\Delta$  и вычислить среднюю и 80 %-ную наработку до отказа.

### **Порядок выполнения**

1. Вычислить средние значения параметров  $\bar{X}$ , их средние квадратические отклонения  $\sigma_X$  и дисперсии  $D\{X\}$ :

$$\bar{X} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2};$$

$$\sigma_X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{6};$$

$$D\{X\} = \sigma_X^2.$$

2. Разбить диапазон изменения припуска на обработку  $\Pi$  и интенсивности изнашивания инструмента  $\gamma_{\Delta}$  на четное количество равных интервалов, создать двумерную таблицу  $\{\Pi; \gamma_{\Delta}\}$  и вычислить для каждой пары значений наработку до отказа по параметру продукции «шероховатость поверхности» при средних значениях прочих параметров, полагая  $\bar{R}_{m \max_o} = 16$  мкм,  $\bar{R}_{m \max_{\max}} = 250$  мкм.

$$T_1 \approx \frac{16,7}{k \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{m \max_{\max}}}{\bar{R}_{m \max_o}},$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности экспоненциальной зависимости шероховатости  $R_{m \max}$  от радиуса затупления резца  $\rho$ ;

$\gamma_{\Delta}$  – интенсивность изнашивания – величина затупления режущей кромки в микрометрах на одном метре пути резания;

$n$  – частота вращения инструмента,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$\Pi$  – припуск на обработку, мм;

$D_p$  – диаметр окружности резания, мм;

$\bar{R}_{m \max_o} = 16$  мкм – параметр шероховатости поверхности, обработанной остро заточенным инструментом ( $\rho = \rho_o$ );

$\bar{R}_{m \max_{\max}} = 250$  мкм – параметр шероховатости поверхности, обработанной затупленным инструментом ( $\rho = \rho_{\max}$ ).

3. По полученным значениям, пользуясь мастером диаграмм прикладного пакета Excel, построить объемную диаграмму изменения наработки до отказа по параметру продукции «шероховатость» в зависимости от припуска на обработку  $\Pi$  и интенсивности изнашивания инструмента  $\gamma_{\Delta}$ .

4. Вычислить значения частных производных наработки до отказа при средних значениях параметров:

$$\frac{\partial t}{\partial k} = -\frac{16,7}{k^2 \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z \max}}{\bar{R}_{z_o}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}} = -\frac{16,7}{k \gamma_{\Delta}^2 n \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z \max}}{\bar{R}_{z_o}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial n} = -\frac{16,7}{\bar{k}\bar{\gamma}_\Delta\bar{n}^2\sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial \Pi} = -\frac{16,7}{2\bar{k}\bar{\gamma}_\Delta\bar{n}\sqrt{\Pi^3 D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial D_p} = -\frac{16,7}{2\bar{k}\bar{\gamma}_\Delta\bar{n}\sqrt{\Pi D_p^3}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial R_{z\max}} = \frac{16,7}{\bar{k}\bar{\gamma}_\Delta\bar{n}\sqrt{\Pi D_p R_{z\max}}};$$

$$\frac{\partial t}{\partial R_{zo}} = -\frac{16,7}{\bar{k}\bar{\gamma}_\Delta\bar{n}\sqrt{\Pi D_p R_{zo}}}.$$

5. Вычислить дисперсию и среднее квадратическое отклонение наработки до отказа:

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 = D\{t\} = & \left(\frac{\partial t}{\partial R_{zo}}\right)^2 D\{R_{zo}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial R_{z\max}}\right)^2 D\{R_{z\max}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \gamma_\Delta}\right)^2 D\{\gamma_\Delta\} + \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)^2 D\{n\} + \\ & + \left(\frac{\partial t}{\partial k}\right)^2 D\{k\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \Pi}\right)^2 D\{\Pi\} + \left(\frac{\partial t}{\partial D_p}\right)^2 D\{D_p\}. \end{aligned}$$

6. Вычислить 80 %-ную наработку до отказа.

$$t_{0,8} = \bar{T}_1 - 0,841\sigma_t.$$

7. Сравнить среднюю и 80 %-ную наработку до отказа.

8. Проанализировать полученную зависимость наработки до отказа от переменных факторов.

9. Сделать выводы о влиянии переменных факторов на наработку до отказа.

После выполнения всех работ распечатать твердую копию на белой бумаге, оформить титульный лист по СТП 3-2001, скрепить и сдать преподавателю для проверки.

## РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Есюнин Е.Г. Основы надежности машин: учебн. пособие / Е.Г. Есюнин, В.Г. Новоселов, А.П. Панычев. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. 156 с.
2. ГОСТ 27.002 -89. Надежность в технике. Термины и определения [Текст]. Введ. 1990-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1990. 88 с.
3. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2002. 18 с.
4. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. [Текст]. Введ. 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 50 с.
5. ГОСТ 27.203-83. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности. [Текст]. Взамен ГОСТ 22955-78; введ. 1983-09-09. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 9 с.
6. ГОСТ 7016-82. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности [Текст]. Введ. 1983-07-01. М.: Госстандарт России. Изд-во стандартов, 2002. 8 с.
7. Рогожникова И.Т. Гамма-процентный период стойкости фрезерных ножей по критерию «шероховатость обработанной поверхности» / И.Т. Рогожникова, В. Г. Новоселов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды IX международного евразийского симпозиума 23-25 сентября 2014 г. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2014. – С. 198–202.
8. Полякова Т. В. Определение периода стойкости дереворежущего инструмента по критерию «точность обработки» / Т.В. Полякова, В.Г. Новоселов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды IX международного евразийского симпозиума 23-25 сентября 2014 г. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2014. – С. 181–188.

Результаты натуральных испытаний нижних шатунных подшипников  
двухэтажных лесопильных рам

Варианты заданий											
1-9	10-18	19-27	1,10, 19	2,11, 20	3,12, 21	4,13, 22	5,14, 23	6,15, 24	7,16, 25	8,17, 26	9,18, 27
$t_i$ , час			$\Delta n_{ii}$								
80	100	120	10	11	4	3	2	1	1	1	0
160	200	240	8	8	6	7	3	4	2	1	0
240	300	360	8	7	7	7	6	5	3	2	2
320	400	480	7	7	8	7	7	6	5	3	2
400	500	600	6	7	8	8	7	7	6	6	5
480	600	720	6	7	7	8	8	8	8	8	6
560	700	840	5	6	7	7	8	9	9	10	10
640	800	960	5	6	6	6	8	8	10	11	12
720	900	1080	5	5	6	6	7	9	10	12	13
800	1000	1200	5	4	5	6	7	7	9	11	13
880	1100	1320	5	4	5	6	7	7	9	9	14
960	1200	1440	5	4	5	5	5	6	7	8	8
1040	4300	1560	4	4	4	4	5	6	6	7	7
1120	1400	1680	3	3	4	4	4	3	5	5	4
1200	1500	1800	3	2	3	3	3	5	4	3	2
1280	1600	1920	2	3	3	3	3	2	2	1	1
1360	1700	2040	2	2	2	2	3	2	2	1	1
1440	1800	2160	2	2	2	2	2	2	1	1	0
1520	1900	2280	2	2	2	2	1	1	1	0	0
1600	2000	2400	2	1	2	1	1	1	0	0	0
1680	2100	2520	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1760	2200	2640	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1840	2300	2760	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1920	2400	2880	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2000	2500	3000	1	1	0	0	0	0	0	0	0
$N_o$			100	100	100	100	100	100	100	100	100



Вероятность согласия  $P(\chi^2, k)$

$\chi^2$	k														
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0,9998	0,9999	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	9979	9991	0,9998	0,9998	0,9998	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	9912	9955	9977	9989	9996	0,9998	0,9999	1	1	1	1	1	1	1	1
5	9752	9858	9921	9958	9978	9989	9994	0,9997	0,9999	0,9999	1	1	1	1	1
6	9462	9665	9797	9881	9932	9962	9979	9899	9994	9997	0,9999	0,9999	1	1	1
7	9022	9343	9576	9733	9835	9901	9942	9967	9981	9990	9993	9997	0,9999	0,9999	1
8	8436	8893	9238	9489	9665	9786	9867	9919	9951	9972	9984	9991	9995	9997	0,9999
9	7729	8311	8785	9134	9403	9597	9735	9829	9892	9933	9960	9976	9986	9992	9995
10	6939	7622	8197	8666	9063	9319	9529	9682	9789	9863	9913	9945	9967	9980	9988
11	6108	6860	7526	8095	8566	8944	9238	9462	9628	9747	9832	9890	9929	9955	9972
12	5276	6063	6790	7440	8001	8472	8856	9161	9396	9574	9705	9799	9866	9912	9943
13	4478	5265	6023	6728	7362	7916	8386	8774	9086	9332	9520	9661	9765	9840	9892
14	3738	4497	5255	5987	6671	7291	7837	8305	8696	915	9269	9466	9617	9780	9813
15	3074	3782	4514	5246	5955	6620	7226	7764	8230	8622	8946	9208	9414	9573	9784
16	2491	3134	3821	4530	5238	5925	5673	7166	7696	8159	8553	8881	9148	9362	9529
17	1993	2562	3189	3856	4544	5231	5899	6530	7111	7634	8093	8487	8818	9311	9486
18	1575	2068	2627	3239	3888	4557	8224	5874	6490	7060	7575	8030	8424	8758	9035
19	1231	1649	2137	2687	3285	3218	4568	5218	5851	6453	7012	7520	7971	8364	8700
20	0952	1301	1719	2202	2202	3328	3946	4579	5213	5830	6419	6968	7468	7916	8308
21	0729	1016	1368	1785	1785	2794	3368	3971	4589	5207	5811	6387	6926	7420	7863
22	0554	0786	1078	1432	1432	2320	2843	3405	3995	4599	5203	5793	6357	6887	7374
23	0417	0603	0841	1137	1137	1806	2373	2888	3440	4017	4608	5198	5776	6329	6850
24	0311	0458	0651	0895	0895	1550	1962	2424	2931	3472	4038	4616	5194	5760	6303
25	0231	0346	0499	0698	0698	1249	1605	2014	2472	2971	3503	4058	4624	5190	5745

Приложение В

Вариант		1,11, 21	2,12, 22	3,13 23	4,14, 24	5,15 25	6,16, 26	7,17, 27	8,18, 28	9,19, 29	10,20, 30
Вариант	b	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
1-10	a	5	7,5	10	5	7,5	10	5	7,5	10	5
11-20		7,5	10	5	7,5	10	5	7,5	10	5	7,5
21-30		10	5	7,5	10	5	7,5	10	5	7,5	10

Приложение Г

Вариант	Значения параметров							
	$\delta, \text{мкм}$	$\gamma_{\Delta}$ <i>мкм/м</i>	$n, \text{мин}^{-1}$	$\Pi, \text{мм}$	$D_p, \text{мм}$	$\beta, \text{град}$	$\alpha, \text{град}$	$\epsilon_0$
1	0...150	0,0001... 0,0010	5640... 6000	1,5...3,0	110±0,025	35±0,5	25±0,5	0,25...0,30
2					115±0,025	40±0,5	20±0,5	0,20...0,25
3					120±0,025	45±0,5	15±0,5	0,15...0,20
4					125±0,025	50±0,5	10±0,5	0,10...0,15
5					110±0,025	40±0,5	20±0,5	0,25...0,30
6					115±0,025	45±0,5	15±0,5	0,20...0,25
7					120±0,025	50±0,5	10±0,5	0,15...0,20
8					125±0,025	35±0,5	25±0,5	0,10...0,15
9					110±0,025	45±0,5	15±0,5	0,25...0,30
10					115±0,025	50±0,5	10±0,5	0,20...0,25
11					120±0,025	35±0,5	25±0,5	0,15...0,20
12					125±0,025	40±0,5	20±0,5	0,10...0,15
13					110±0,025	50±0,5	10±0,5	0,25...0,30
14					115±0,025	35±0,5	25±0,5	0,20...0,25
15					120±0,025	40±0,5	20±0,5	0,15...0,20
16					125±0,025	45±0,5	15±0,5	0,10...0,15
17					110±0,025	35±0,5	25±0,5	0,25...0,30
18					115±0,025	40±0,5	20±0,5	0,20...0,25
19					120±0,025	45±0,5	15±0,5	0,15...0,20
20					125±0,025	50±0,5	10±0,5	0,10...0,15

Вариант	Значения параметров						
	$\gamma_{\Delta}$ МКМ/М	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$П$ , мм	$R_{m\ max\ o}$ , МКМ	$R_{m\ max\ max}$ , МКМ	$D_p$ , мм	$k$
1	0,0001... 0,0010	5640... 6000	1,5 ...3, 0	16±5	250±5	110±0,025	0,0765±0,0005
2						115±0,025	0,0760±0,0005
3						120±0,025	0,0755±0,0005
4						125±0,025	0,0750±0,0005
5						110±0,025	0,0745±0,0005
6						115±0,025	0,0740±0,0005
7						120±0,025	0,0735±0,0005
8						125±0,025	0,0730±0,0005
9						110±0,025	0,0725±0,0005
10						115±0,025	0,0720±0,0005
11						120±0,025	0,0765±0,0005
12						125±0,025	0,0760±0,0005
13						110±0,025	0,0755±0,0005
14						115±0,025	0,0750±0,0005
15						120±0,025	0,0745±0,0005
16						125±0,025	0,0740±0,0005
17						110±0,025	0,0735±0,0005
18						115±0,025	0,0730±0,0005
19						120±0,025	0,0725±0,0005
20						125±0,025	0,0720±0,0005