



ТОЛЬЯТТИНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

М.В. Кравцова

НАДЁЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы



Тольятти
ТГУ
2011

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Автомеханический институт
Кафедра «Управление промышленной и экологической
безопасностью»

М.В. Кравцова

НАДЁЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы

Тольятти
ТГУ
2011

УДК 62-192

ББК 30.14

К771

Рецензенты:

начальник отдела охраны труда управления муниципальной службы
и кадровой политики мэрии г. о. Тольятти *Л.А. Сазанская*;
к.т.н., доцент Тольяттинского государственного университета
И.В. Кузьмич.

К771 Кравцова, М.В. Надёжность технических систем и техногенный риск : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы / М.В. Кравцова. — Тольятти : ТГУ, 2011. — 51 с.

Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине «Надёжность технических систем и техногенный риск» содержит описание структуры курсовой работы, рекомендации по выбору темы и исходные данные для анализа, изложение содержания расчетно-пояснительной записки, требования к оформлению курсовой работы и порядок ее защиты.

Предназначено для студентов специальности 280102 «Безопасность технологических процессов и производств» и направления 280700 «Техносферная безопасность» всех форм обучения, а также может быть использовано при реализации технологии дистанционного обучения.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© ГОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», 2011.

ВВЕДЕНИЕ

Появление, развитие и распространение сложных технических систем требуют новых подходов к расчету их надежности. Технико-экономические результаты работы машиностроительных предприятий в значительной мере зависят от эффективности работы технологического оборудования, надежности всех элементов технологической системы. Основными причинами крупных техногенных аварий являются отказы технических систем из-за дефектов изготовления и нарушений режимов эксплуатации, ошибочные действия операторов технических систем, концентрации различных производств в промышленных зонах. Техническая система – совокупность технических устройств (элементов), предназначенных для выполнения определенной функции или функций. Соответственно, элемент – составная часть системы.

Надежность – одна из составных частей качества любой технической системы. Под надежностью технического объекта понимают его свойство сохранять во времени способность к выполнению требуемых функций при условии, что соблюдены правила эксплуатации. Надежность – важнейший технический параметр аппаратуры, ее количественные характеристики обязательно указываются в техническом задании на разработку изделия. К основным вопросам теории и практики надежности сложных технических систем, представляющих интерес для изучения, относят:

- математическое моделирование функционирования системы;
- разработку методов, алгоритмов и программ расчета, анализа и прогнозирования надежности сложных систем, испытания на надежность;
- техническую эксплуатацию, обеспечивающую высокую надежность системы;
- разработку путей обеспечения и повышения надежности сложных систем при недостаточной надежности составляющих ее элементов.

Оценка и обеспечение надежности и безопасности технических систем при их создании, отработке и эксплуатации – важнейшие проблемы в современной технике и экономике. Оценка опасности различных производственных объектов заключается в определении возникновения возможных чрезвычайных ситуаций, оценке степени этих воздействий на стадии проектирования объектов на основе теории надежности

и нормативных требований, разработанных с учетом наиболее опасных условий протекания чрезвычайных ситуаций и проявления их негативных факторов.

Основными способами повышения надежности являются улучшение физических свойств элементов и введение избыточности различного вида.

Представленное пособие содержит методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Надёжность технических систем и техногенный риск».

Цель курсовой работы – формирование у специалиста технической компетентности в области анализа надежности технических систем и оценки техногенного риска. Для этого в работе проводятся моделирование и расчет показателей надежности, безопасности и риска функционирования структурно сложных системных объектов на основе выявления причинно-следственных связей между случайными событиями, приводящих к отказам технической системы, и оценки риска на основе вероятностного метода анализа.

Проведение анализа надежности и обеспечение работоспособного состояния технических систем на этапах проектирования и эксплуатации технических объектов включают:

- 1) описание рисков, имеющих место при реализации различных проектов;
- 2) идентификацию таких рисков с причинами отказов;
- 3) расчет показателей надежности функционирования предприятия (проекта) с использованием методов теории надежности, адаптированных для исследования проектов.

1. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Объем пояснительной записки – 25–30 страниц.

Графическая часть курсовой работы оформляется на двух листах формата А3.

1.1. Тема курсовой работы

Темы курсовых работ для всех студентов формулируются следующим образом: «Анализ надежности и техногенного риска технической системы <наименование технической системы>».

В качестве наименования технической системы должно фигурировать конкретное название технической системы, например: «машинно-строительная система изготовления детали типа «Вал»», «блок питания шкафа управления токарного станка», «технологический процесс» и др.

1.2. Исходные данные

Исходными данными для выполнения курсовой работы по проведению анализа надежности и техногенного риска технической системы являются:

1) техническая система, которая определяется исходя из отраслевой специализации студента:

- «Машиностроение» (в качестве объекта исследования можно выбрать технологический процесс изготовления деталей, технологическое оборудование, используемое в данной отрасли);
- «Энергетика и энергоснабжение» (в качестве исследуемого объекта можно выбрать схему энергоснабжения цеха, здания, электрическую схему промышленного оборудования);
- «Химическая промышленность» (технологическое оборудование, используемое в данной отрасли, технологический процесс);
- «Строительство и производство строительных материалов» (технология монтажа зданий, сооружений, оборудование для проведения строительных работ, технологический процесс изготовления строительных материалов);

– «Автомобильный комплекс» (предполагает выбор в качестве объекта исследования автомобиля, станции технического обслуживания, специализированное оборудование для СТО, технологический процесс сборки автомобиля);

2) описание технической системы: назначение, показатели надежности элементов (сборочных единиц, деталей) системы, принципиальная схема или структурная схема системы на основе конструкторской документации мест прохождения практики.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Расчетно-пояснительная записка должна содержать следующие структурные компоненты:

Аннотация

Введение

1. Описание исследуемой системы
2. Определение требований надежности и работоспособности системы
3. Распределение требований надежности системы по различным подсистемам
4. Проведение анализа надежности системы и техногенного риска на основе методов надежности
5. Исследования и рекомендации

Заключение

Список литературы

Приложение

Аннотация – краткое содержание курсовой работы. Автор в нескольких предложениях излагает содержание выполненного проекта, новизну принятых решений и то, как эти решения обеспечивают надежность технических систем.

Введение. Во введении должны быть представлены: назначение технической системы, обоснование необходимости проведения анализа надежности выбранной технической системы, исходя из отраслевой специализации («Машиностроение», «Энергетика и энергоснабжение», «Химическая промышленность», «Строительство и производство строительных материалов», «Автомобильный комплекс»), мест прохождения практики и конструкторской документации; значение выполнения условий технической эксплуатации для обеспечения высокой надежности систем, а также формулируются цель и алгоритм проведения работы.

2.1. Описание исследуемой системы

Большинство технических объектов являются сложными системами, состоящими из отдельных узлов, деталей, агрегатов, устройств контроля, управления и т. д. Техническая система – совокупность технических устройств (элементов), предназначенных для выполнения определенной функции или функций. Соответственно, элемент – составная часть системы.

Описание выбранной технической системы содержит:

1. Название, назначение, режимы и условия работы, функциональные связи.

2. Описание производственных процессов:

- 1) техническое назначение промышленной системы, схема или упрощенный чертеж потоков процесса;
- 2) основные принципы технологических процессов: основные операции; физические и химические реакции; сбор, хранение, утилизация, обработка и полное уничтожение (захоронение) промышленных отходов; выпуск или очистка отработанных газов, технологической воды;
- 3) условия производственного процесса: описание процесса и данные по безопасности (давление, температура) для отдельных стадий процесса; допустимые пределы температуры, давления, расхода веществ;
- 4) описание технологических характеристик процесса (эти данные лучше всего представлять на соответствующих графиках схемы потока) содержит информацию о компонентах процесса; различных видах энергопитания; характеристиках рабочих режимов; размере (объеме) сосудов и трубопроводов, содержащих опасные вещества; системах контроля давления;
- 5) энергопитание: здесь следует описать все виды энергопитания, применяемые для обеспечения безопасности (электрический ток, охладители, сжатый воздух, инертный газ), а в случае необходимости – и аварийные коммуникации;
- 6) проект систем вентиляции и пожаротушения.
- 7) стандарты и правила, которыми руководствовались при проектировании.

3. Описание опасных веществ:

- a) стадия процесса, на которой находятся или могут находиться вещества; количество вещества; данные о веществах (физические и химические свойства); данные, имеющие отношение к безопасности (взрывоопасный предел, точка воспламенения, термоустойчивость, коррозионные свойства, тепловая и химическая стабильность, опасные эффекты возможного непреднамеренного смешивания различных веществ); токсикологические данные (токсичность, различные воздействия на организм человека, уровень запаха); пороговые значения (величины пороговых пределов, смертельные концентрации);

б) форма состояния веществ: состояние, в котором находится вещество или в которое оно может перейти в случае нарушения нормального режима работы установки;

4. Конструктивные особенности и используемые материалы.

5. Технологические карты.

6. Принципиальные схемы.

7. Техническая характеристика объекта (наработка, срок службы и т. д.).

Необходимо представить чертеж исследуемой системы, общую схему ее размещения на предприятии. Результаты определения системы являются входом в процесс разработки системы.

2.2. Определение требований надежности и работоспособности системы

Определение требований (целей) надежности. Определение всех требований или целей надежности и работоспособности системы, а также характеристик и особенностей системы, режимов ее эксплуатации, условий окружающей среды и требований обслуживания.

Выявленные в процессе предварительного анализа опасностей элементы, обеспечивающие безопасность, необходимо описать более подробно с тем, чтобы провести оценку возможности возникновения опасностей и развития крупных производственных аварий. Требуются следующие данные:

1) функция по назначению;

2) тип нагрузки и ее величина;

3) важность в обеспечении безопасности;

4) специальные конструктивные критерии;

5) органы управления системой и средства аварийной сигнализации;

6) системы сброса давления;

7) коллекторные сборники;

8) системы противопожарной защиты.

На основе видов и характеристик опасностей, выявленных путем выполнения предварительного анализа, а также использования информации о промышленной установке из отчета по безопасности, можно выполнить оценку развития опасности в технической системе. В качестве дополнительной информации в оценку опасностей должны входить

сведения об известных случаях отказов аналогичных систем и аварий, имеющих место как на данном предприятии, так и любом другом аналогичном производстве.

Рекомендуется, чтобы в отношении элементов системы безопасности использовался анализ опасностей и опасных производственных процессов, документация по которому может включаться в отчет по безопасности.

В тех случаях, когда оценка ведет к выявлению особо чувствительных свойств элементов системы безопасности (предохранительных приспособлений, контрольной аппаратуры или действий работающего персонала), необходимо учитывать надежность этих свойств. При этом выявляется достаточность мер, принятых для того, чтобы избежать аварии. В противном случае выявленные особо чувствительные элементы системы безопасности следует усовершенствовать и таким образом повысить их надежность.

Определение отказа системы, критериев отказов и условий, основанных на функциональной спецификации системы, ожидаемой продолжительности и условий эксплуатации (оформляется в виде табл. 1, 2 или алгоритма). Определение требований надежности для подсистем является существенной частью проектирования системы.

Таблица 1

Перечень отказов системы

Отказ системы	Причина возникновения
Конструкционный отказ	Недостатки конструкции объекта
Производственный отказ	Ошибки при изготовлении объекта по причине несовершенства или нарушения технологии
Эксплуатационный отказ	Нарушение правил эксплуатации

Таблица 2

Показатели надёжности элементов изделия

Наименование элемента	Число элементов n	Средняя наработка до отказа, ч T_i	Среднее время восстановления, T_{vi}
1	2	3	4
1.			
2.			
...			

2.3. Распределение требований надежности системы по различным подсистемам

Цель распределения требований надежности по различным подсистемам – найти наиболее эффективную архитектуру системы, соответствующую требованиям надежности (технико-экономической целесообразности). Распределение требований необходимо проводить для каждого показателя надежности с учетом анализа сложности, критичности, особенностей и условий эксплуатации системы. Распределение требований надежности проводят в следующем порядке:

- анализируют систему и идентифицируют области, для которых разработан проект, а информация о значениях характеристик надежности доступна или может быть легко оценена;
- определяют соответствующие величины и их вклад в требования надежности системы. Разность между требованиями и фактическим уровнем надежности является частью требований надежности, которая должна быть распределена между другими составными частями системы.

Для распределения надежности существуют ограничения:

- часто предполагается, что элементы системы независимы, то есть отказ одного элемента не влияет на работу других элементов. Так как это предположение часто не выполняется, оно ограничивает область применения метода;
- распределение для систем с резервированием является более сложным.

Расчленение технической системы на элементы достаточно условно и зависит от постановки задачи расчета надежности. Например, при анализе работоспособности технологической линии ее элементами могут считаться отдельные установки и станки, транспортные и грузозачерпывающие устройства и т. д. Станки и устройства также могут считаться техническими системами и при оценке их надежности должны быть разделены на элементы – узлы, блоки, которые, в свою очередь, делятся на детали и т. д.

При определении структуры технической системы в первую очередь необходимо оценить влияние каждого элемента и его работоспособности на работоспособность системы в целом. С этой точки зрения целесообразно разделить все элементы на четыре группы:

- 1) элементы, отказ которых практически не влияет на работоспособность системы (например, деформация кожуха, изменение окраски поверхности и т. п.);
- 2) элементы, работоспособность которых за время эксплуатации практически не изменяется и вероятность безотказной работы близка к единице (корпусные детали, малонагруженные элементы с большим запасом прочности);
- 3) элементы, ремонт или регулировка которых возможна при работе изделия или во время планового технического обслуживания (наладка или замена технологического инструмента оборудования и т. д.);
- 4) элементы, отказ которых сам по себе или в сочетании с отказами других элементов приводит к отказу системы.

2.4. Проведение анализа надежности и техногенного риска системы на основе методов надежности

Проведение анализа надежности системы осуществляется на основе методов надежности и соответствующих данных эффективности. При анализе определяются элементы (сборочные единицы, детали), приводящие к отказам изделия, и взаимосвязь отказывающихся элементов. Выявляются факторы, приводящие к разрушению элементов изделия, соответствующий им характер проявления разрушения (постепенный или внезапный) и возможность наблюдения за разрушением (или его проявлением). Наличие последнего обстоятельства дает возможность предупреждать отказы путем своевременного проведения ремонта (технического обслуживания) и является основой при определении системы планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания. В теории надежности различают качественный и количественный анализ надежности системы.

Качественный анализ включает:

- 1) анализ функциональной структуры системы: анализ надежности человеческого фактора, анализ дерева событий, анализ дерева неисправностей, видов и последствий отказов, исследование опасности и удобства использования элементов системы; марковский анализ, составление таблицы истинности, прогнозирование интенсивности отказов, анализ статистических методов надежности (результатом анализа может быть построение «дерева отказов», таблица истин-

ности, численные данные интенсивности отказов элементов, построение графов);

- 2) определение режимов неисправностей системы и компонентов, механизмов отказов, причин и последствий отказов (оформляются в виде таблицы);
- 3) определение механизма деградации, который может привести к отказу;
- 4) анализ путей отказа/неисправности;
- 5) анализ ремонтпригодности с учетом времени, метода изоляции и метода восстановления;
- 6) определение адекватности методов диагностики неисправностей;
- 7) анализ возможностей предотвращения неисправностей;
- 8) определение стратегий технического обслуживания и ремонта.

Количественный анализ делится на следующие компоненты:

1) разработка моделей надежности и/или эксплуатационной готовности (изображение структуры технического объекта в виде цепей элементов);

2) определение необходимых числовых данных (интенсивностей отказов элементов из справочников, нормативных данных предприятия, технической документации); назначение гамма-процентного ресурса технического объекта в соответствии с действующими нормативами или по указанию преподавателя; определение покупных агрегатов, узлов и других сборочных единиц; установление по техническим условиям на эти изделия их гамма-процентных ресурсов (покупные изделия имеют значение безотказности в виде гамма-процентного ресурса, деленного на 100); методические указания к выбору и расчету необходимых числовых данных в прил. 1;

3) определение числовых оценок показателей надежности с учетом структуры и равнонадежности элементов; расчет показателей безотказности и долговечности отдельных деталей узлов технической системы производят в следующем порядке:

- определение показателей безотказности – наработка на отказ (табл. 3);
- определение показателей долговечности (ресурс между плановыми ремонтами: текущим, средним, капитальным, срок службы до списания);

- определение показателей ремонтпригодности (среднее время восстановления, продолжительность плановых ремонтов);
- определение комплексных показателей надёжности и эффективности функционирования (коэффициент готовности, коэффициент технического использования). Данные показатели следует рассчитывать исходя из годового фонда времени (8640 ч).
- проведение необходимого анализа критичности и чувствительности: построение графика изменения вероятности безотказной работы исходной системы от времени (рис. 1).

Результаты расчета оформляются в виде табл. 4.

Таблица 3

Показатели надёжности изделия

Элемент	$\lambda_i \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$	Наработка $t \cdot 10^6 \text{ ч}$			
		0,1	0,2	...	2,0

Таблица 4

Показатели надёжности изделия

Наименование показателя	Обозначение	Значение
Показатели безотказности		
вероятность безотказной работы	$P(t)$	
наработка на отказ, ч	T	
интенсивность отказов, ч^{-1}	λ_i	
Показатели долговечности		
ресурс между плановыми ремонтами:		
– текущим, ч	$T_{\text{рт}}$	
– средним, ч	$T_{\text{рс}}$	
– капитальным, ч	$T_{\text{рк}}$	
срок службы до списания, лет	$T_{\text{сл}}$	
гамма-процентный срок службы	γ	
Показатели ремонтпригодности		
среднее время восстановления, ч	$T_{\text{в}}$	
продолжительность плановых ремонтов:		
– текущего ремонта, ч	$T_{\text{пт}}$	

Наименование показателя	Обозначение	Значение
– среднего ремонта, ч	$T_{пс}$	
– капитального, ч	$T_{пк}$	
Комплексные показатели		
коэффициент готовности	K_r	
коэффициент технического использования	$K_{ти}$	

Достоверность результата зависит от точности и правильности данных об основных событиях. Для проведения анализа надежности сложных или многофункциональных систем, как правило, необходимо применять несколько дополнительных методов анализа. Пример количественного анализа надежности узла внутришлифовального станка представлен в прил. 2.

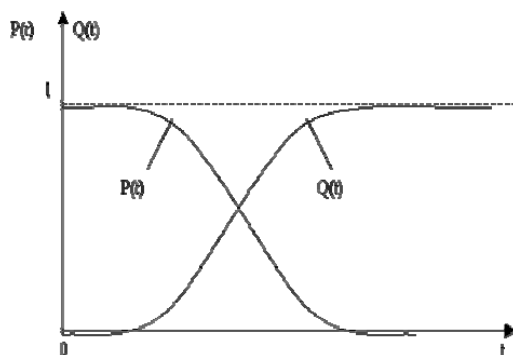


Рис. 1. График изменения вероятности безотказной работы исходной системы от времени

Помимо приведенных показателей надежность агрегатов оценивается также такими свойствами, как сохраняемость и безопасность. Сохраняемость – свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования. Она оценивается коэффициентом сохранения эффективности, характеризующим степень влияния отказов элементов объекта на эффективность его применения по назначению. Безопасность – совокупность свойств технической системы, позволяющих предупредить аварии и обеспечить невредимость обслуживаю-

шего персонала. Безопасность определяется такими свойствами, как безотказность и ремонтпригодность. В процессе эксплуатации безопасность зависит от работоспособности и совершенства измерительных средств, а также от уровня технического обслуживания.

Для расчетов параметров надежности удобно использовать структурно-логические схемы надежности технической системы, которые графически отображают взаимосвязь элементов и их влияние на работоспособность системы в целом. Структурно-логическая схема представляет собой совокупность ранее выделенных элементов, соединенных друг с другом последовательно или параллельно. Критерием для определения вида соединения элементов (последовательного или параллельного) при построении схемы является влияние их отказа на работоспособность технической системы.

Последовательным (с точки зрения надежности) считается соединение, при котором отказ любого элемента приводит к отказу всей системы.

Параллельным (с точки зрения надежности) считается соединение, при котором отказ любого элемента не приводит к отказу системы, пока не откажут все соединенные элементы.

В целом анализ структурной надежности технической системы включает следующие операции.

1. Анализируются устройства и выполняемые системой и ее составными частями функции, а также взаимосвязь составных частей.

2. Формируется содержание понятия «безотказной работы» для данной конкретной системы.

3. Определяются возможные отказы составных частей и системы, их причины и возможные последствия.

4. Оценивается влияние отказов составных частей системы на ее работоспособность.

5. Система разделяется на элементы, показатели надежности которых известны.

6. Составляется структурно-логическая схема надежности технической системы, которая является моделью ее безотказной работы.

7. Составляются расчётные зависимости для определения показателей надёжности технической системы с использованием данных по надежности её элементов и с учётом структурной схемы.

Количественная оценка надежности структурно-сложных технических объектов различных видов, классов и назначения предусмотрена нормативно-техническими требованиями к их промышленной разработке, производству и эксплуатации. Это необходимо для объективной и научно обоснованной оценки существующего уровня надежности структурно-сложных технических объектов и выработки, обоснования и оптимизации различных управленческих решений, направленных на ее повышение.

2.5. Исследования и рекомендации

Анализ выполнения целей требований надежности для рассматриваемого проекта и возможности их выполнения при использовании альтернативных проектов. Действия в этом направлении могут включать решение следующих задач:

- оценка улучшения надежности системы по результатам проектирования и производства (например, резервирование, снижение нагрузок, совершенствование стратегий технического обслуживания системы, контроля продукции и технологических процессов, системы менеджмента качества и материально-технической базы производства);
- исследование проекта системы и определение слабых мест и режимов критичности отказов компонентов;
- исследование проблем свойств и механизмов отказоустойчивости;
- разработка альтернативных путей повышения надежности, например использование резервирования, контроля эффективности, обнаружения неисправностей, методов реконфигурации системы, процедур технического обслуживания, заменяемых компонентов, процедур восстановления (строятся графики системы с повышенной надежностью и системы со структурным резервированием элементов, выполняется расчет повышения надежности и увеличения 50% наработки системы в 1,5 раза); пример представлен в прил. 3;
- выполнение исследований по оценке стоимости и сложности альтернативных проектов;
- оценка влияния возможностей производственного процесса;
- оценка результатов и сравнение их с требованиями.

В зависимости от поставленной задачи и на основании результатов расчета характеристик надежности технической системы делаются вы-

воды и принимаются решения о необходимости изменения или доработки элементной базы, резервировании отдельных элементов или узлов, об установлении определенного режима профилактического обслуживания, о номенклатуре и количестве запасных элементов для ремонта.

Заключение

Проводится анализ целесообразности и эффективности используемых в работе методов качественного и количественного анализа технической системы. Представляются выводы о достижении цели курсовой работы, рекомендации по поддержанию уровня надежности и совершенствованию системы восстановления и ремонта.

На этапе эксплуатации надежность технических систем должна обеспечиваться:

- своевременным выявлением и устранением отказов и неисправностей;
- организацией учета и анализа данных о надежности средств технической системы;
- своевременным выявлением и устранением причин возникновения неисправностей, корректировкой (при необходимости) конструкторской, технологической, эксплуатационной и ремонтной документации;
- наличием оптимальной системы технического обслуживания и ремонта.

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Текст курсовой работы печатается на одной стороне листа формата А4 (297×210 мм) по ГОСТ 2.301-68 «ЕСКД. Форматы». Размеры полей страниц: слева – 25 мм, сверху и снизу – по 15 мм, справа – 10 мм. Абзацы в тексте начинают с отступом 15–17 мм.

Текст работы должен быть набран в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 14 pt, интервал полуторный, выравнивание по ширине. Весь текст, излагаемый в пояснительной записке, должен быть разбит на составные части. Разбивка текста производится делением его на разделы (главы) и подразделы. При необходимости подразделы могут делиться на пункты. При делении пояснительной записки на разделы (согласно ГОСТ 2.105-95) их обозначают в пределах всей записки порядковыми номерами – арабскими цифрами без точки и записывают с абзацного отступа. Номер пункта пояснительной записки должен состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделённых точками. В конце номера раздела (подраздела), пункта (подпункта) точку не ставят, например:

3 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1 Приборы, материал и реактивы

Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзацного отступа. Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Наименование разделов должно быть кратким и записываться в виде заголовков (в красную строку) прописными буквами не подчеркивая без точки в конце. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов, пунктов. Заголовки подразделов, пунктов следует печатать с прописной буквы и далее строчными без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Расстояние между заголовком и текстом при выполнении пояснительной записки машинописным способом должно быть равно трем интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – два интервала. Каждый раздел текста пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

Нумерация страниц пояснительной записки и приложений, входящих в состав этой пояснительной записки, должна быть сквозная.

Рисунки и диаграммы должны иметь прямое отношение к тексту, без лишних изображений и данных, которые нигде не поясняются. На все иллюстрации должны быть ссылки в тексте пояснительной записки. Наименования, приводимые в тексте пояснительной записки и на иллюстрациях, должны быть одинаковыми. Ссылки на иллюстрации разрешается помещать в скобках в соответствующем месте текста без указания *см.* (смотри). Ссылки на ранее упомянутые иллюстрации записывают сокращенным словом *смотри*, например, *см. рисунок 3*.

Размещаемые в пояснительной записке иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами в пределах всей записки, например: *Рисунок 1*, *Рисунок 2* и т. д. Надписи, загромождающие рисунок, чертеж или схему, необходимо помещать в тексте или под иллюстрацией.

Если в тексте пояснительной записки имеется иллюстрация, на которой изображены составные части изделия, то на этой иллюстрации должны быть указаны номера позиций этих составных частей в пределах данной иллюстрации, которые располагают в возрастающем порядке, за исключением повторяющихся позиций.

В формулах и уравнениях условные буквенные обозначения, изображения или знаки должны соответствовать обозначениям, принятым в действующих государственных стандартах. В тексте записки перед обозначением параметра дают его пояснение, например: *Временное сопротивление разрыву σ_B* .

При необходимости применения условных обозначений, изображений или знаков, не установленных действующими стандартами, их следует пояснять в тексте или в перечне обозначений.

Формулы и уравнения располагают на середине строки, а связывающие их слова (*следовательно, откуда* и т. п.) – в начале строки.

Для основных формул и уравнений, на которые делаются ссылки, вводят сквозную нумерацию арабскими цифрами. После написания формулы или уравнения помещают перечень символов, применяемых в них, с пояснением их значений и размерностей. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой они приведены в формуле или уравнении. Символ отделяют от его пояснения знаком тире. Размерность буквенного обозначения отделяют от текста запятой, а в конце пояснения ставят точку с запятой.

Пример:

$$N = \frac{S_{\text{пост}}}{C - S_{\text{пер}}}, \quad (1)$$

где N – критический объём выпуска, шт.; $S_{\text{пост}}$ – постоянные затраты в себестоимости продукции, руб.; C – цена единицы изделия, руб.; $S_{\text{пер}}$ – переменные затраты на одно изделие, руб.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц. Их применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы должно отражать её содержание, быть точным и кратким. Лишь в порядке исключения таблица может не иметь названия.

Таблицы в пределах всей записки нумеруют арабскими цифрами сквозной нумерацией, перед которыми записывают слово *Таблица*. Слово *Таблица* указывают один раз справа над первой частью таблицы. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово таблица в тексте пишут полностью, например: *в таблице 4...*

Приложения оформляют как продолжение пояснительной записки на последующих ее листах или в виде самостоятельного документа.

В тексте пояснительной записки на все приложения должны быть даны ссылки, например: *Производные единицы системы СИ (приложения 1, 2 и 5)*.

Каждое приложение должно начинаться с нового листа (страницы) с указанием наверху посередине страницы слова *Приложение* и его обозначения. Приложение должно иметь заголовок, который записывают с прописной буквы отдельной строкой, симметрично относительно текста. Приложения должны иметь общую с остальной частью пояснительной записки сквозную нумерацию страниц.

Пример оформления титульного листа расчетно-пояснительной записки курсовой работы представлен в прил. 4.

Графическая часть курсовой работы оформляется на листах формата А4 или А3 (в зависимости от чертежа).

На первом листе представляется техническая система в виде принципиальной или структурной схемы.

На втором листе – модель надежности и/или эксплуатационной готовности технической системы.

Шифр на чертеже имеет следующий вид:

09.КР.04.001.014.001

09 – год выполнения работы,

КР – курсовая работа,

04 – порядковый номер кафедры «УПиЭБ»,

014 – номер темы по приказу,

001 – номер листа.

4. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Для защиты курсовой работы студент должен:

- 1) получить допуск у преподавателя к защите. Основным критерий получения допуска – наличие зачетов по каждому этапу выполнения работы;
- 2) представить курсовую работу (доклад на 3–4 минуты, в котором излагается суть выполненной работы);
- 3) ответить на вопросы.

Библиографический список

1. Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание: математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М. : Радио и связь, 1988. – 392 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 506 с.
3. Ветошкин, А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза : ПГУАиС, 2003. – 154 с.
4. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
5. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1979. – 22 с.
6. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. – М. : Издательство стандартов, 1981. – 23 с.
7. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. – М. : Издательство стандартов, 1978. – 12 с.
8. ГОСТ 21623-76. Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтпригодности. – М. : Издательство стандартов, 1976. – 14 с.
9. ГОСТ 27.002-89. Надёжность техники. – М. : Издательство стандартов, 1989. – 24 с.
10. Гуськов, А.В. Надежность технических систем и техногенный риск / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2007. – 427 с.
11. Дружинин, Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г.В. Дружинин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
12. Калявин, В.П. Надежность и диагностика / В.П. Калявин. – СПб. : Элмор, 1998. – 230 с.
13. Надежность в машиностроении: справочник / под ред. В.В. Шашкина, Г.П. Карзова. – СПб. : Политехника, 1992. – 719 с.
14. Надежность технических систем: справочник / под ред. И.А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.

15. Оценка работоспособности объектов при постепенных отказах : метод. указания / сост. А.Б. Колобов, Ф.Б. Огурцов. – Иваново : ИГЭУ, 1991. – 40 с.
16. Переездчиков, И.В. Надежность технических систем и техногенный риск. В 2 ч. Ч. 2. Анализ опасностей сложных систем «человек – машина – среда» : учеб. пособие / И.В. Переездчиков, О.В. Крышевич. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 455 с.
17. Половко, А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 704 с.
18. Расчет показателей надежности по результатам экспериментов : методические указания / сост. А.Б. Колобов. – Иваново : ИГЭУ, 1998. – 36 с.
19. Регрессионный анализ результатов испытаний : методические указания / сост. А.Б. Колобов. – Иваново, ИГЭУ, 1996. – 36 с.
20. Решетов, Д.Н. Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. – М. : Высш. шк., 1988. – 238 с.
21. Статистико-вероятностная оценка прочностной надежности элементов механических систем : метод. указания / сост. А.Б. Колобов. – Иваново : ИГЭУ, 1994. – 40 с.
22. Теория вероятностей в моделях расчета надежности и задачах диагностики технического состояния : метод. указания / сост. А.Б. Колобов. – Иваново : ИГЭУ, 1995. – 40 с.
23. Ястребенецкий, М.А. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами / М.А. Ястребенецкий, Г.М. Иванова. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.

Определение показателей безотказности

В качестве исходных данных для расчёта безотказности разрабатываемого изделия следует использовать значения наработки на отказ (средней наработки до отказа) элементов изделия-аналога или другого изделия в сходных условиях эксплуатации.

При изменении масштаба элемента по сравнению с элементом аналогичного назначения и конструктивного исполнения определение средней наработки до отказа элемента может быть выполнено с использованием масштабного пересчёта по формуле

$$T_i = T_{ia} \cdot M^{-1/b}, \text{ ч}, \tag{1.1}$$

Где T_i – средняя наработка до отказа i -го элемента аналога, ч; M – масштаб элемента, определяемый по табл. 1.1; b – параметр, определяемый в зависимости от коэффициента вариации наработки до отказа ν по табл. 1.2.

Таблица 1.1

Определение величины масштаба элемента

Основная причина разрушения элемента изделия	Величина масштаба (M) определяется
Разрушение сварных швов и других неразъёмных соединений поверхностей	Отношением длин швов соединений
Коррозионное разрушение поверхностей, гидро- и газообразивное разрушение поверхностей	Отношением площадей изнашиваемых поверхностей
Истирание рабочих поверхностей (в том числе торцевых и сальниковых уплотнений, подшипников скольжения)	Отношением площадей изнашиваемых поверхностей
Усталостное и хрупкое разрушение, пластическое деформирование, деструкция или разупрочнение	Отношением объёмов нагруженных участков элементов

Таблица 1.2

Значения параметров b и $K\vartheta$ в зависимости от коэффициента вариации ν

b	$K\vartheta$	ν	b	$K\vartheta$	ν
0,8	1,130	1,260	3,1	0,895	0,354
0,9	1,050	1,110	3,2	0,896	0,343

<i>b</i>	<i>K_в</i>	<i>v</i>	<i>b</i>	<i>K_в</i>	<i>v</i>
1,0	1,000	1,000	3,3	0,897	0,335
1,1	0,965	0,910	3,4	0,898	0,326
1,2	0,941	0,837	3,5	0,900	0,316
1,3	0,924	0,775	3,6	0,901	0,310
1,4	0,911	0,723	3,7	0,902	0,302
1,5	0,903	0,678	3,8	0,903	0,297
1,6	0,897	0,640	3,9	0,905	0,288
1,7	0,892	0,605	4,0	0,906	0,281
1,8	0,889	0,575	4,5	0,913	0,253
1,9	0,887	0,547	5,0	0,918	0,230
2,0	0,836	0,523	6,0	0,928	0,194
2,1	0,886	0,498	7,0	0,935	0,168
2,2	0,886	0,480	8,0	0,942	0,148
2,3	0,886	0,471	9,0	0,947	0,132
2,4	0,887	0,444	10,0	0,951	0,120
2,5	0,387	0,428	12,0	0,960	0,102
2,6	0,888	0,413	14,0	0,964	0,088
2,7	0,889	0,398	16,0	0,969	0,077
2,8	0,890	0,386	18,0	0,971	0,069
2,9	0,8915	0,375	20,0	0,974	0,0625
3,0	0,893	0,365	25,0	0,978	0,0510

При отсутствии данных об отказах элемента, но известном распределении ресурса для таких элементов (это возможно при известных закономерностях изнашивания элементов) среднюю наработку до отказа элемента (T_i) за период эксплуатации изделия между ремонтами T_p , во время которых производится его замена или восстановление, следует определять по формуле

$$T_i = \frac{T_p}{\ln\left(\frac{1}{P(T_p)}\right)}, \text{ ч}, \quad (1.2)$$

где $P(T_p)$ – вероятность безотказной работы элемента за наработку T_p (см. прил. 2). Формула (1.2) даёт нижнюю оценку T_i , т. е. с некоторым запасом.

При отсутствии сведений об элементах их средняя наработка до отказа может быть определена ориентировочно по справочным данным (см. справочное прил. 2 табл. 2.4) с использованием зависимости $T_i = 1/\lambda_i$, ч.

Для учёта рассеяния значений показателей надёжности результаты расчёта могут быть представлены в виде доверительных интервалов (в соответствии с ГОСТ 27503-81). В этом случае рекомендуется значение доверительной вероятности принимать равным 0,8 для всех рассматриваемых вариантов разрабатываемого изделия.

При наличии информации о законах распределения ресурсов элементов расчёт безотказности и долговечности можно выполнить более точно, используя известные методы. Приведем пример.

1. Определение показателей долговечности.

Оценка долговечности изделия должна включать в себя определение ресурса до текущего, среднего и капитального ремонта, срока службы до списания и составление структуры ремонтного цикла.

За ремонтный цикл рекомендуется принимать ресурс до капитального ремонта, в течение которого планировать проведение текущих (средних) ремонтов. Численные значения ресурсов до плановых ремонтов следует определять на основании анализа структур ППР.

Значение ресурса между текущими ремонтами следует определять по гамма-процентному ресурсу (см. справочное прил. 2) наименее долговечного быстроизнашиваемого элемента. Периодичность текущих ремонтов следует назначать кратной месячной наработке (при непрерывной эксплуатации 720 ч) или (для малонадёжных элементов) суточной наработке (24 ч).

Значение ресурса до капитального ремонта изделия следует определять по гамма-процентному ресурсу наименее долговечного базового элемента. К базовым элементам относят основные части изделия, предназначенные для его компоновки и установки других составных частей.

При наличии в изделии элементов с ресурсом значительно большим, чем ресурс быстроизнашиваемых элементов, но меньшим гамма-процентного ресурса базовых элементов, в ремонтный цикл следует включать средние ремонты с периодичностью, равной гамма-процентному ресурсу указанных элементов.

Срок службы до списания непрерывно работающих изделий следует определять по формуле

$$T_{сл} = \frac{T^{\gamma} \cdot (d + 1)}{8640}, \text{ лет}, \quad (1.3)$$

где d – целесообразное число капитальных ремонтов; для химического оборудования обычно равно 1–5; количество капитальных ремонтов должно быть обосновано и назначено с учётом условий эксплуатации и системы предупредительно-планового ремонта.

Для периодически работающих изделий в формулу (1.3) необходимо вводить коэффициент, учитывающий планируемые простои изделия.

2. Определение показателей ремонтпригодности.

Определение среднего времени восстановления после отказа T_v должно осуществляться по формуле, представленной в табл. 1.4, где T_{vi} – среднее время восстановления элемента.

Для определения цели и содержания каждого из плановых ремонтов следует использовать рекомендации ГОСТ 18322-78 (в квадратных скобках указана позиция документа в перечне ссылочных документов).

Продолжительность простоя в каждом из плановых ремонтов следует принимать по данным эксплуатации аналога или дополнительным расчетам исходя из допущения, что ремонты выполняются одной бригадой последовательным методом по группам сборочных единиц.

Продолжительность текущего ремонта должна определяться по времени, необходимому для замены (ремонта) элементов, лимитирующих безотказность изделия.

Продолжительность среднего ремонта должна определяться по времени, необходимому для замены (ремонта) элементов, имеющих ресурс, равный периодичности средних ремонтов.

Продолжительность капитального ремонта должна определяться временем, необходимым на восстановление базовых элементов.

В дополнение к основному должно учитываться время, затрачиваемое на удаление продуктов переработки, подготовительные операции, разборку изделия и последующую после ремонта сборку, регулировку и испытание.

Техническое обслуживание изделия, осуществляемое без остановки изделия, в расчете надежности не учитывается. При необходимости ос-

тановки продолжительность простоя должна определяться аналогично продолжительности простоя в плановом ремонте.

Определение количества плановых ремонтов, общей продолжительности плановых ремонтов, числа отказов и продолжительности простоя в неплановых ремонтах должно осуществляться по формулам, представленным в табл. 1.4.

Данные о структуре ремонтных циклов и продолжительности простоя в плановых ремонтах следует представлять в форме таблицы (табл. 1.3).

3. Определение комплексных показателей надежности и эффективности функционирования.

Комплексными показателями надежности являются коэффициент готовности и коэффициент технического использования, который вместе с тем является показателем эффективности функционирования, так как определяет годовой ресурс изделия.

Вторым показателем эффективности функционирования изделия является годовой объем выпускаемой продукции, значение которого зависит от показателей надежности и часовой производительности изделия.

Формулы для определения указанных показателей приведены в табл. 1.4. Данные формулы справедливы для изделий, предназначенных для непрерывной работы, в таких случаях ресурс между плановыми ремонтами принимают равным их периодичности. Для изделий, работающих периодически, необходимо учитывать перерывы в использовании изделия.

Таблица 1.3

Показатели системы планово-предупредительных ремонтов изделия

Наименование показателя	Обозначение	Числовое значение
Ресурс между плановыми ремонтами		
– текущим, ч	Трт	
– средним, ч	Трс	
– капитальным, ч	Трк	
Продолжительность ремонтов		
– текущего, ч	Тпт	
– среднего, ч	Тпс	
– капитального, ч	Тпк	

Расчет показателей надежности и эффективности
функционирования изделия

Наименование показателя	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение
1. Нарботка на отказ, ч	$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^z \frac{n_i}{T_i}},$ <p>где z – число элементов; T_i, n_i – см. табл. 1.5</p>	
2. Среднее время восстановления, ч	$T_b = \sum_{i=1}^z \frac{n_i \cdot T_{bi}}{T_i},$ <p>где T_{bi} – см. табл. 1.5</p>	
3. Число плановых ремонтов	$d_n = \frac{8640}{T_{пр}},$ <p>где $T_{пр}$ – см. табл. 1.3</p>	
4. Число капитальных ремонтов	$d_k = \frac{8640}{T_{рк}},$ <p>где $T_{рк}$ – см. табл. 1.3</p>	
5. Число средних ремонтов	$d_c = \frac{8640}{T_{рс}} - d_k,$ <p>где $T_{рс}$ – см. табл. 1.3</p>	
6. Число текущих ремонтов	$d_t = d_n - d_k - d_c$	
7. Продолжительность плановых ремонтов, ч	$t_n = d_n \cdot T_{nm} + d_c \cdot T_{нс} + d_k \cdot T_{нк},$ <p>где $T_{пт}, T_{пс}, T_{пк}$ – см. табл. 1.3</p>	
8. Коэффициент готовности	$K_{г} = \frac{T}{T + T_b}$	
9. Коэффициент технического использования	$K_{ти} = \frac{8640 - t_n}{8640} \cdot K_{г}$	
10. Годовой ресурс, ч	$T_{пр} = 8640 \cdot K_{ти}$	
11. Годовой объём продукта, т (м ³)	$B = T_{пр} \cdot q_0,$ <p>где q_0 – часовая производительность, т (м³)/ч</p>	
12. Число отказов	$m = \frac{T_{пр}}{T}$	
13. Продолжительность неплановых ремонтов, ч	$t_b = 8640 - T_{пр} - t_n$	

Примечание.

1. В формуле пункта 7 учитывается продолжительность плановых ремонтов с ресурсом менее или равным 8640 ч.
2. При определении числового значения по формулам пунктов 3, 4, 5 и 12 учитывается только целая часть числа без округления в сторону увеличения.

Таблица 1.5

Показатели надёжности элементов изделия

Наименование элемента	Число элементов n	Средняя наработка до отказа, ч T_i	Среднее время восстановления T_{vi}
1.			
2.			
3.			
...			

Определение гамма-процентного ресурса элементов

Величины ресурсов элементов (и изделий) одной и той же партии не имеют равных значений даже при строгом поддержании нагрузки на одном и том же уровне, а подчиняются некоторому статистическому распределению, группирующемуся около некоторой величины, называемой средним ресурсом T_{cp} (рис. 2.1).

В соответствии с ГОСТ 13377-75 гамма-процентным ($\gamma\%$) ресурсом до отказа элемента называется такой ресурс, который имеет или превышает $\gamma\%$ элементов данного типа. Для одного элемента это означает, что вероятность достижения элементом указанного ресурса составляет $\gamma\%$. Величина γ выбирается равной 1,00; 0,99; 0,95; 0,90; 0,80; 0,50 в зависимости от ответственности элемента и его стоимости. При выборе повышенных значений уменьшается межремонтный период и возрастают затраты на ремонты.

В общем случае определение $\gamma\%$ ресурса может быть осуществлено по кривой вероятности распределения ресурса элемента (рис. 2.1).

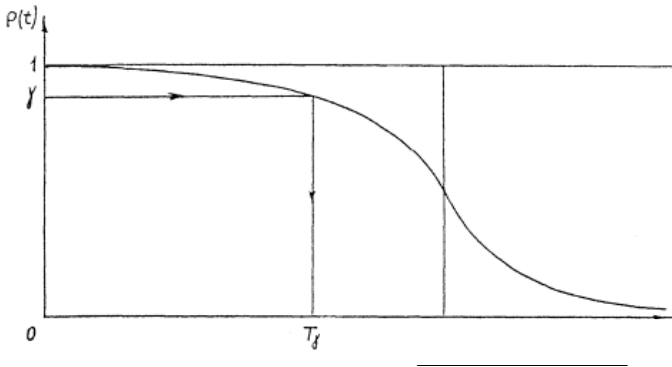


Рис. 2.1. Определение $\gamma\%$ ресурса элемента по кривой $P(t)$

При нормальном распределении ресурса элемента:

$$P(t) = F_0(x) = F_0\left(\frac{T_{cp} - t}{T_{cp} \cdot v}\right); \quad (2.1)$$

гамма-процентный ресурс элемента определяется по формуле

$$T_\gamma = T_{cp}(1 - x \cdot v), \text{ ч}, \quad (2.2)$$

где x – определяется в зависимости от $\gamma = F_0(x)$ по табл. 2.3 приложения.

При распределении Вейбулла

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t \cdot K_b}{T_{cp}} \right)^B \right] \quad (2.3)$$

гамма-процентный ресурс определяется по формуле

$$T_\gamma = \frac{T_{cp}}{K_B} \left(\ln \frac{1}{\gamma} \right)^{1/B}, \quad (2.4)$$

где параметры K_b и b определяются в зависимости от коэффициента вариации v по табл. 1.2 прил. 1.

Если разработчику неизвестен закон распределения ресурса элемента, то вид закона распределения и его параметры могут быть ориентировочно определены по табл. 2.1 и 2.2 прил. 2. Ограничение двумя распределениями – нормальным и Вейбулла – объясняется тем, что эти распределения хорошо аппроксимируют все возможные случаи распределения ресурсов элементов машин и агрегатов и рекомендованы в тех случаях, когда законы распределения ресурсов элементов неизвестны.

Таблица 2.1

Классификация факторов, определяющих вид распределения ресурса элементов

Общее определение классифицируемого фактора	Признак проявления фактора	Шифр фактора
Характер разрушения	Постепенный	1
	Внезапный	2
Стабильность условий эксплуатации	Стабильные	1
	Изменяющиеся в широких пределах	2
Степень нагруженности	Нагрузки, близкие к максимальным	1
	Средние нагрузки	2
Уровень технологии изготовления	Высокий уровень	1
	Средний уровень	2

Таблица 2.2

Значения коэффициентов вариации распределений ресурсов
для ориентировочных расчетов надежности элементов

Шифры определяющих факторов из табл. 2.1				Вид закона распределения (Н – нормальный, В – Вейбулла)	Диапазон изменения коэффициента вариации, ν
Характер разрушения	Стабильность эксплуатации	Степень нагруженности	Уровень технологии изготовления		
1	1	1	1	Н	0,10–0,20
1	1	1	2	Н	0,20–0,25
1	1	2	1	Н	0,20–0,30
1	2	1	1	В	0,30–0,40
1	2	1	2	В	0,40–0,50
1	2	2	1	В	0,40–0,60
1	2	2	2	В	0,50–0,60
2	1	1	1	В	0,30–0,40
2	1	1	2	В	0,30–0,45
2	1	2	1	В	0,35–0,50
2	2	1	1	В	0,35–0,55
2	2	1	2	3	0,40–0,55
2	2	2	1	В	0,40–0,60
2	2	2	2	В	0,50–0,70

Таблица 2.3

Значения $F_0(x)$

x	F_0	x	F_0	x	F_0
0,00	0,5000	1,35	0,9115	2,70	0,9965
0,05	0,5199	1,40	0,9192	2,75	0,9970
0,10	0,5393	1,45	0,9265	2,30	0,9974
0,15	0,5596	1,50	0,9332	2,85	0,9978
0,20	0,5793	1,55	0,9394	2,90	0,9981
0,25	0,5987	1,60	0,9452	2,95	0,9984
0,30	0,6179	1,65	0,9505	3,00	0,9986
0,35	0,6368	1,70	0,9554	3,05	0,9983
0,40	0,6554	1,75	0,9599	3,10	0,9990
0,45	0,6736	1,80	0,9641	3,15	0,9992

x	F_0	x	F_0	x	F_0
0,50	0,6915	1,85	0,9673	3,20	0,9993
0,55	0,7088	1,90	0,9713	3,25	0,9994
0,60	0,7257	1,95	0,9744	3,30	0,9995
0,65	0,7422	2,00	0,9772	3,35	0,9996
0,70	0,7530	2,05	0,9790	3,40	0,99966
0,75	0,7734	2,10	0,9821	3,45	0,99972
0,80	0,7881	2,15	0,9842	3,50	0,99977
0,85	0,8023	2,20	0,9861	3,55	0,99931
0,90	0,8159	2,25	0,9878	3,60	0,99984
0,95	0,8289	2,30	0,9893	3,65	0,99987
1,00	0,8413	2,35	0,9906	3,70	0,99989
1,05	0,8531	2,40	0,9918	3,8	0,99993
1,10	0,8643	2,45	0,9929	3,9	0,99995
1,15	0,8749	2,50	0,9933	4,0	0,999963
1,20	0,8849	2,55	0,9946	4,1	0,999979
1,25	0,8944	2,60	0,9953	4,2	0,999937
1,30	0,9032	2,65	0,9960	4,3	0,999991
				4,4	0,999995
				4,5	0,999997
				4,6	0,999998
				4,7	0,999999

Таблица 2.4

Справочные данные по интенсивности отказов некоторых деталей
и сборочных единиц, опубликованные в литературе

Наименование элементов	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$		
	Нижний предел	Среднее значение	Верхний предел
Арматура светосигнальная	0,1	0,9	1,2
Байонетный затвор	—	5,0	—
Болт – гайка (пара), болт фундаментный	0,03	0,13	5,5
Вал	0,1	0,15	0,72
Вал-шестерня	0,2	0,25	1,0
Вариатор цепной пластинчатый:			

Наименование элементов	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$		
	Нижний предел	Среднее значение	Верхний предел
1) для зубчатых редукторов	–	28,0	–
2) для червячных редукторов	–	50,0	–
Вариатор			
1) типа ННР-50-0,6-2,8 по ГОСТ 5.1521-72	–	2,0	–
2) типа СН-1 и СН1-2-1, ГОСТ 23333-78, ГОСТ 23384-78	–	5,0	–
Вентиль			
1) диафрагмовый эмалированный из серого чугуна, ГОСТ 5.1996-73	–	11,6	–
2) запорный мембранный с электромагнитным приводом	–	16,0	–
3) запорный игольчатый, ГОСТ 3149-70	–	20,0	–
4) запорный из антикоррозионной стали, ГОСТ 22446-77	–	20,0	–
5) запорный муфтовый и фланцевый из серого чугуна, ГОСТ 18722-73	–	6,0	–
6) запорный прямооточный фаолитированный фланцевый чугунный, ГОСТ 13696-68	–	13,0	–
7) запорный стальной фланцевый, ГОСТ 19192-73	–	6,0	–
8) запорный угловой сильфонный, ГОСТ 12884-76	–	71,4	–
9) ртутный металлический (игнитрон) типа ИВУ-500/4А, ГОСТ 5.1606-72	–	25,0	–
10) муфтовый латунный	–	6,6	–
11) терморегулирующий, ГОСТ 22541-77	–	20,0	–
12) штампованный стальной, ГОСТ 8436	–	13,0	–
Воздухосборник ВС-3,2 и ВС-5,0, ГОСТ 5.1803-73	–	27,7	–
Гидрораспределитель дросселирующий с плоским поворотным золотником, ГОСТ 17698-80		5,0	
Дроссель (гидравлический и пневматический)	10	16	73
Задвижка клиновья			
1) с невыдвижным шпинделем, ГОСТ 11033-73		20	
2) с выдвижным шпинделем на $P_y = 1$ МПа ГОСТ 5.2001-73	–	3,2	–
3) с выдвижным шпинделем на $P_y = 16$ МПа ГОСТ 10194-69	–	3,4	–
4) фланцевая, ГОСТ 3437-75	3,2	10	20

Наименование элементов	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$		
	Нижний предел	Среднее значение	Верхний предел
Затвор поворотный	–	20,3	–
Золотник напорный			
1) типов Г54-22, БГ54-22, ПБГ54-22; ГОСТ 5.1333-72	–	125,0	–
2) типов ПГ54-24, ПБГ54-24, ПВГ54-24, ГОСТ 5.867-71	–	125,0	–
Клапан обратный	1,1	6,4	13,2
Клапан предохранительный, ГОСТ 10019-74	–	6,3	–
Клапан регулирующий	–	28	–
Кожух защитный	0,15	0,4	0,6
Колесо зубчатое цилиндрическое	0,2	0,25	1,0
коническое	0,2	1,2	9,5
Колесо червячное	0,2	1,2	9,5
Кольцо уплотнительное	1	3,0	9,4
Компрессор воздушный поршневой общего назначения 202 ВП, ГОСТ 5.28-67	27	33	40
Конденсатоотводчик			
1) термодинамический	–	12	–
2) термодинамический муфтовый чугунный, ГОСТ 12386-67	–	12	–
3) термостатический	–	28	–
Корпус подшипника	0,16	2,4	9,1
Кран пробковый проходной сальниковый сланцевый и муфтовый чугунный, ГОСТ 19193-73	–	12,6	–
Кран шаровой проходной фланцевый чугунный	–	14,6	–
Кулачок	1,0	2,4	4,3
Лубрикатор	–	13	–
Манжета	3,8	4,3	6,3
Манометр			
1) показывающий МГ-1	0,13	1,3	15
2) дифференциальный, ГОСТ 18140-77	–	70	–
3) дифференциальный мембранный типа ДМИ; ГОСТ 5.897-71	–	31	–
Маслёнка, ГОСТ 19653-74	–	5,0	–

Наименование элементов	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$		
	Нижний предел	Среднее значение	Верхний предел
Механизм исполнительный гидравлический поршневой, ГОСТ 10038-74	–	10	–
Мотор гидравлический	1,4	4,3	22,5
Муфта			
1) соединительная вращающаяся	0,1	2,5	4,9
2) упругая	2,7	3,9	13,5
3) фрикционная предохранительная	0,7	3,0	9,4
4) электромагнитная	4,5	6,0	9,3
Пневмоклапан редуционный П-КР12-21	–	6,4	–
Пневмораспределитель			
1) крановый	–	2,0	–
2) трехлинейный типов В76-21, В76-21, ИВ76-21, КВ76-21, МВ76-21, ОВ76-21, ГВ76-21, ДВ76-21	2,5	11	48,5
Пневмоусилитель, ГОСТ 5.1862-73	–	1,5	–
Пневоцилиндр, ГОСТ 15608-70	10	22	49
Подшипники качения	0,3	5,0	10
Поршень	0,8	2,0	5
Предохранитель	3,0	5,0	8,2
Прокладка	0,2	0,3	0,4
Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения	0,4	1,1	2,2
Пускатель			
1) магнитный	3,0	10	16
2) электромагнитный	–	5,2	–
Редуктор давления ГОСТ 5.1853-73		5,0	
Редуктор			
1) планетарный зубчатый двухступенчатый типоразмеров П 2-31,5, П 2-63, ГОСТ 22916-78	31	40	56
2) типов ЦД-115У и ЦД-150М, ГОСТ 5.221-69	–	20	–
3) типа ЦДН-3, ГОСТ 5.235-69	–	31	–
4) типа Ц2У-160-40-12У2	–	60	–
5) цилиндрический двухступенчатый крановый Ц2-400, ГОСТ 5.900-71; У2	–	27	–
6) цилиндрический двухступенчатый типоразмеров ЦЭУ-100-Ц2У-250, ГОСТ 20758-75	31	40	56

Наименование элементов	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$		
	Нижний предел	Среднее значение	Верхний предел
7) червячный, ТУ 2-056-061-72	–	28	–
Ремни приводные передач	–	3,6	–
Рукава гибкие напорные	0,5	2,0	5,2
Сильфон			
1) многослойный металлический, ГОСТ 21744-76	1,0	6,5	13
2) однослойный разделительный и компенсаторный из нержавеющей стали	–	9,0	–
3) сварной металлический, ГОСТ 21754-76	–	1,0	–
4) бесшовный однослойный	–	16	–
Соединение трубопроводов			
1) гидравлическое	0,4	1,2	2,1
2) пневматическое	0,2	1,5	11,5
Станция жидкой смазки, ГОСТ 5.1172-71	–	62	–
Счётчик			
1) жидкости кольцевой, ГОСТ 14684-69	–	52	–
2) жидкости с овальными шестернями, ГОСТ 12671-71	–	81	–
3) жидкости лопастной, ГОСТ 22548-77	–	10	–
Тахогенератор магнитоиндукционный типа ТМ	–	42	–
Тахометр магнитоиндукционный дистанционный типа ТМ	–	2,0	–
Теплообменник	2,2	15	19
Термометр манометрический, ГОСТ 3624-71	–	8,0	–
Трансформатор постоянного тока типа ТПТ	1	1,1	2,3
Тройник трубный	0,25	1,1	4,3
Тягомер, напоромер и тягонапоромер	–	3,0	–
Угольник (колено), ГОСТ 8946	0,25	1,1	4,8
Уровнемер поплавковый	1,2	5,3	53
Усилители магнитные, ГОСТ 20819-75	1,0	26	50
Фильтр			
1) влагоотделитель воздушный, ГОСТ 17437-72	0,1	8,0	16,2
2) воздуха для пневматических приборов, ГОСТ 14266-69	–	10	–

Наименование элементов	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$		
	Нижний предел	Среднее значение	Верхний предел
3) сетчатый линейный для консистентной смазки, ГОСТ 6918-69	–	23	–
Фланец	0,01	0,25	0,49
Цепи приводные роликовые и втулочные зубчатые	1,25	5,0	10
Червяк червячной машины	21	35	116
Червяк червячных передач	0,02	1,2	9,5
Шарнир универсальный	1,1	2,5	12
Шестерня	0,2	0,25	1,0
Шланг высокого давления	0,16	3,9	5,2
пневматический	–	3,7	–
Шпилька, шпонка, штифт	0,2	0,4	0,8
Шток	0,8	2,0	8,5
Электрокалорифер	–	6,0	–
Электромагнит ИС	–	2,0	–
Электродвигатель			
1) асинхронный	4,5	3,6	11,2
2) синхронный	0,16	0,36	6,2
3) постоянного тока	–	9,4	–

**Количественный анализ надежности автоматического
загрузочного устройства к вертикальному хонинговальному
станку Gehring KS 400-102**

Автоматическое загрузочное устройство к вертикальному хонинговальному станку Gehring KS 400-102 состоит из 15 узлов, которые условно можно представить в виде схемы – рис. 3.1.

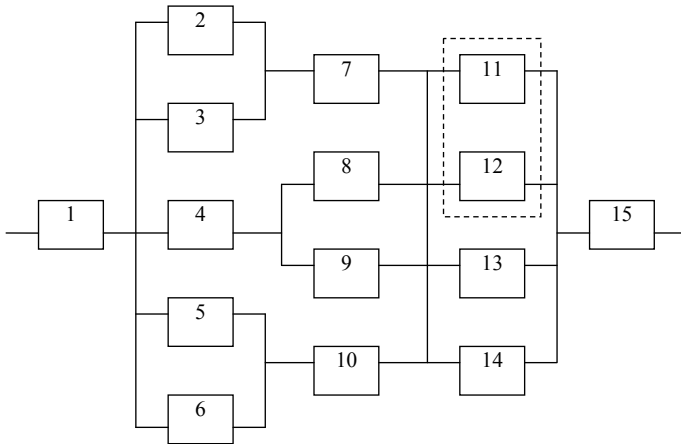


Рис. 3.1. Схема соединения основных узлов автоматического загрузочного устройства к вертикальному хонинговальному станку Gehring KS 400-102

Определим входные данные для расчета – интенсивность отказа каждого из узлов:

$$\gamma = 70\%; \tag{3.1}$$

$$\lambda_1 = 0,05 \cdot 10^{-6}; \tag{3.2}$$

$$\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = 1 \cdot 10^{-6};$$

$$\lambda_7 = \lambda_8 = \lambda_9 = \lambda_{10} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_{11} = \lambda_{12} = \lambda_{13} = \lambda_{14} = 0,2 \cdot 10^{-6};$$

$$\lambda_{15} = 0,02 \cdot 10^{-6}.$$

1. Преобразование системы разобьем на несколько этапов. Этап I представлен на рис. 3.2.

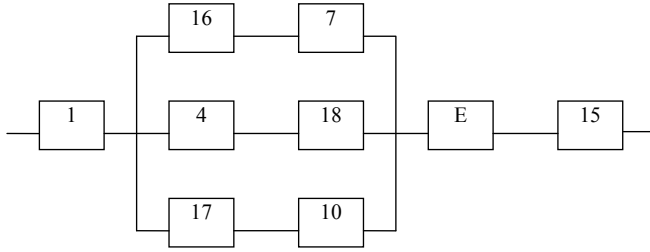


Рис. 3.2. Этап I преобразования схемы

2. В исходной схеме элементы 2 и 3 образуют параллельное соединение. Заменяем их квазиэлементом 16.

$$p_{16} = 1 - q_2 \cdot q_3 = 1 - q_2^2 = 1 - (1 - p_2)^2. \quad (3.3)$$

3. Элементы 4 и 5 также образуют параллельное соединение, заменив которое элементом 17 и учитывая, что $p_4 = p_5 = p_2$, получим:

$$p_{17} = 1 - q_4 \cdot q_5 = 1 - q_2^2 = 1 - (1 - p_2)^2 = p_{16}. \quad (3.4)$$

4. Элементы 8 и 9 также образуют параллельное соединение, заменив которое элементом 18 и учитывая, что $p_8 = p_9$, получим

$$p_{18} = 1 - q_8 \cdot q_9 = 1 - q_8^2 = 1 - (1 - p_8)^2. \quad (3.5)$$

5. Элементы 11, 12, 13 и 14 образуют соединение «2 из 4», которое заменяем элементом E . Для определения вероятности безотказной работы элемента E можно воспользоваться комбинаторным методом:

$$\begin{aligned} p_E &= \sum_{k=2}^4 p_k = \sum_{k=2}^4 c_4^k \cdot p_{11}^k (1 - p_{11})^{4-k} = \frac{4!}{2!2!} p_{11}^2 (1 - p_{11})^2 + \\ &+ \frac{4!}{3!1!} p_{11}^3 (1 - p_{11}) + \frac{4!}{4!0!} p_{11}^4 = 6p_{11}^2 (1 - p_{11})^2 + 4p_{11}^3 (1 - p_{11}) + \\ &+ p_{11}^4 = 6p_{11}^2 - 8p_{11}^3 + 3p_{11}^4. \end{aligned} \quad (3.6)$$

После первого этапа преобразования схема представлена на рис. 3.3.

6. Элементы 16 и 7 в исходной схеме соединены последовательно. Заменяем их элементом A , для которого

$$P_A = p_{16} \cdot p_7. \quad (3.7)$$

7. Элементы 4 и 18 в исходной схеме соединены последовательно. Заменяем их элементом B , для которого

$$P_B = p_{18} \cdot p_4. \quad (3.8)$$

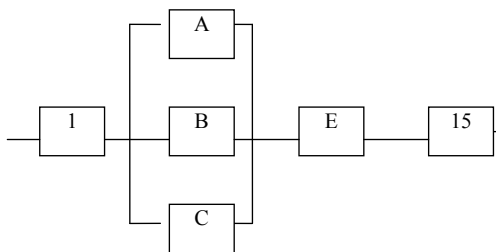


Рис. 3.3. Этап II преобразования схемы

8. Элементы 10 и 17 в исходной схеме соединены последовательно. Заменяем их элементом C , для которого

$$P_C = p_{17} \cdot p_{10} = p_A. \quad (3.9)$$

9. Элементы A, B, C образуют параллельное соединение, следовательно, заменяем их элементом D :

$$P_D = 1 - p_A \cdot p_B \cdot p_C. \quad (3.10)$$

10. Таким образом, после преобразования схема имеет вид, представленный на рис. 3.4.

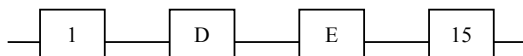


Рис. 3.4. Преобразованная схема

В преобразованной схеме элементы 1, D , E и 15 образуют последовательное соединение. Тогда вероятность безотказной работы всей системы

$$P = p_1 \cdot p_D \cdot p_E \cdot p_{15}. \quad (3.11)$$

11. Так как по условию все элементы системы работают в периоде нормальной эксплуатации, то вероятность безотказной работы элементов с 1 по 15 подчиняется экспоненциальному закону:

$$p_i = \exp(-\lambda_i \cdot t). \quad (3.12)$$

12. Результаты расчетов вероятностей безотказной работы элементов 1–15 исходной схемы по формуле (3.12) для наработки до $3 \cdot 10^6$ часов представлены в табл. 3.1.

Расчет вероятности безотказной работы системы

Элемент	λ_i	Наработка t , $\times 10^{-6}$ ч							
	$\times 10^{-6}$ ч $^{-1}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0,95	1,425
1	0,05	0,9753	0,9512	0,9277	0,9048	0,8824	0,8607	0,9536	0,9312
2–6	1	0,6065	0,3678	0,2231	0,1353	0,082	0,0497	0,3867	0,2405
7–10	0,5	0,7788	0,6065	0,4723	0,3678	0,2865	0,2231	0,6218	0,4904
11–14	0,2	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065	0,5488	0,8269	0,7520
15	0,02	0,990	0,9801	0,9704	0,9607	0,9512	0,9417	0,9811	0,9719
16–17	-	0,8451	0,6003	0,3964	0,2519	0,1572	0,0969	0,6238	0,4231
18	-	0,9510	0,8451	0,7215	0,6003	0,4909	0,3964	0,8569	0,7403
A, C	-	0,6581	0,3640	0,1872	0,0926	0,0450	0,0216	0,3878	0,2074
B	-	0,5767	0,3108	0,1609	0,0812	0,0402	0,0197	0,3313	0,1781
D	-	0,9505	0,7212	0,4456	0,2434	0,1255	0,0615	0,7494	0,4840
E	-	0,9967	0,9794	0,9438	0,8921	0,8282	0,7568	0,9818	0,9503
P	-	0,9147	0,6585	0,3786	0,1887	0,0872	0,0377	0,6883	0,4162

13. На рис. 3.5 представлен график зависимости вероятности безотказной работы системы P от времени (наработки) t .

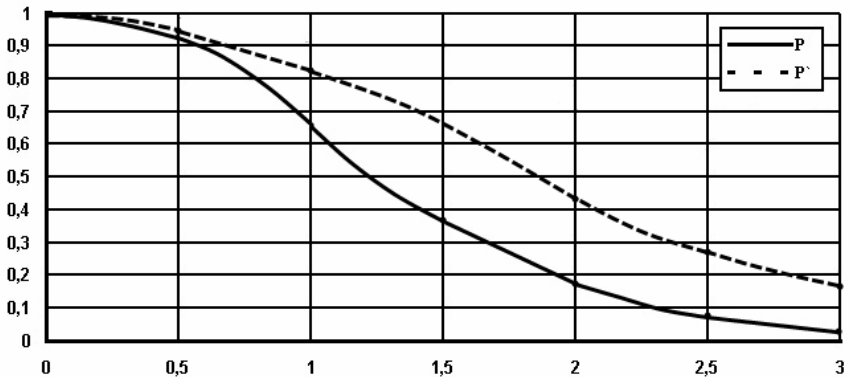


Рис. 3.5. Изменение вероятности безотказной работы исходной системы (P), системы с повышенной надежностью (P')

Повышение надежности наиболее ненадежного узла

На основе выполненного количественного анализа узла рассмотрим способ повышения его надежности путем повышения наработки наиболее ненадежного узла.

1. По графику (рис. 3.5, кривая P) находим для $\gamma = 70\%$ ($P_\gamma = 0,7$) – процентную наработку системы $T_\gamma = 0,95 \cdot 10^6$ ч.

2. Проверочный расчет при $T_\gamma = 0,95 \cdot 10^6$ ч показывает (табл. 3.1), что $P_\gamma = 0,6883 \approx 0,7$.

3. По условиям задания повышенная γ -процентная наработка системы $T'_\gamma = 1,5 \cdot 0,95 \cdot 10^6 = 1,425 \cdot 10^6$ ч.

4. Расчет показывает (табл. 3.1), что при $T'_\gamma = 1,425 \cdot 10^6$ ч для элементов преобразованной схемы (рис. 3.5) $P_1 = 0,9312$, $P_D = 0,4840$, $P_E = 0,9503$ и $P_{15} = 0,9719$, следовательно, из четырех последовательно соединенных элементов минимальное значение вероятности безотказной работы имеет элемент D и именно увеличение его надежности даст максимальное увеличение надежности системы в целом.

5. Для того чтобы при $T'_\gamma = 1,425 \cdot 10^6$ ч система в целом имела вероятность безотказной работы $P_\gamma = 0,7$, необходимо, чтобы элемент D имел вероятность безотказной работы:

$$P_D = \frac{P_\gamma}{p_1 \cdot p_E \cdot p_{15}} = \frac{0,7}{0,9312 \cdot 0,9503 \cdot 0,9719} = 0,8139. \quad (4.1)$$

При этом значении элемент D останется самым ненадежным в схеме (рис. 3.4) и рассуждения в п. 4 останутся верными.

Очевидно, значение P_D , полученное по формуле (4.1), является минимальным для выполнения условия увеличения наработки не менее, чем в 1,5 раза, при более высоких значениях P_D увеличение надежности системы будет большим.

6. Чтобы разобраться, почему элемент D имеет самую маленькую вероятность безотказной работы, обратимся к рис. 3.4 и табл. 3.1. Очевидно, что в элементе D самыми «слабыми» являются идентичные элементы A и C . В элементах A и C наименьшие значения вероятности безотказной работы принадлежат элементам 16 и 17. Элемент 16 включает в себя блоки 2 и 3, их значения P также являются минимальными по отношению к остальным блокам, а элемент 17 включает в себя блоки

5 и 6. Так как блок 4 тоже входит в элемент D и является идентичным с блоками 2–3, 5–6, он тоже будет рассмотрен для определения минимальной необходимой вероятности безотказной работы элемента D .

7. Для определения минимально необходимой вероятности безотказной работы элементов 2–6 необходимо решить уравнение относительно p_2 при $P_D = 0,8139$. Однако, так как аналитическое выражение этого уравнения связано с определенными трудностями, более целесообразно использовать графоаналитический метод. Для этого по данным табл. 3.1 строим график зависимости $P_D = f(p_2)$. График представлен на рис. 4.1.

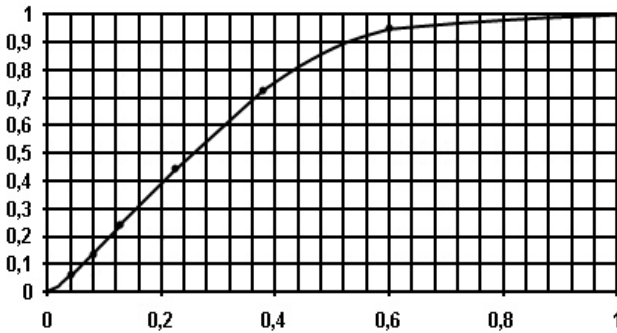


Рис. 4.1. Зависимость вероятности безотказной работы системы D от вероятности безотказной работы ее элементов

8. По графику при $P_D = 0,8139$ находим $p_2 \approx 0,52$.

9. Так как по условиям задания все элементы работают в периоде нормальной эксплуатации и подчиняются экспоненциальному закону $-\rho = e^{-\lambda t}$, то для элементов 2–3 при $t = 1,425 \cdot 10^{-6}$ находим:

$$\lambda'_2 = \lambda'_3 = -\frac{\ln p_2}{t} = -\frac{\ln 0,52}{1,425 \cdot 10^{-6}} = 0,458 \cdot 10^{-6}. \quad (4.2)$$

10. Таким образом, для увеличения γ -процентной наработки системы необходимо увеличить надежность элементов 2–3, а следовательно и элементов 5–6 и снизить интенсивность их отказов с $1 \cdot 10^{-6}$ до $0,458 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, т. е. в 1,55 раза.

11. Результаты расчетов для системы с увеличенной надежностью элементов 2–6 приведены в табл. 4.1. Там же приведены расчетные значения вероятности безотказной работы системы – D и системы в целом – P . При $t = 1,425 \cdot 10^6 \text{ ч}$ вероятность безотказной работы системы, что соответствует условиям задания. График приведен на рис. 3.5.

Таблица 4.1

Расчет вероятности безотказной работы системы после наработки

Элемент	λ_i	Наработка t , $\times 10^{-6}$ ч							
	$\times 10^{-6}$ ч ⁻¹	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0,95	1,425
1	0,05	0,9753	0,9512	0,9277	0,9048	0,8824	0,8607	0,9536	0,9312
2'–6'	0,458	0,7953	0,6325	0,503	0,3921	0,3182	0,2531	0,6471	0,5206
7–10	0,5	0,7788	0,6065	0,4723	0,3678	0,2865	0,2231	0,6218	0,4904
11–14	0,2	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065	0,5488	0,8269	0,7520
15	0,02	0,990	0,9801	0,9704	0,9607	0,9512	0,9417	0,9811	0,9719
16'–17'	–	0,9581	0,8649	0,7529	0,6304	0,5351	0,4421	0,8754	0,7701
18	–	0,9510	0,8451	0,7215	0,6003	0,4909	0,3964	0,8569	0,7403
A', C'	–	0,7461	0,5245	0,3555	0,2318	0,1533	0,0986	0,5443	0,3776
B'	–	0,7563	0,5345	0,3629	0,2353	0,1562	0,1003	0,5544	0,3854
D'	–	0,9843	0,8947	0,7354	0,5487	0,395	0,2661	0,9074	0,7612
E	–	0,9967	0,9794	0,9438	0,8921	0,8282	0,7568	0,9818	0,9503
P'	–	0,9472	0,8169	0,6248	0,4254	0,2745	0,1632	0,8334	0,6546

Опишем результаты исследования:

1. На рис. 3.5 представлена зависимость вероятности безотказной работы системы (кривая P'). Из графика видно, что 70%-ная наработка исходной системы составляет $0,95 \cdot 10^6$ часов.

2. Для повышения надежности и увеличения 70%-й наработки системы в 1,5 раза (до $1,425 \cdot 10^6$ часов) предложен способ повышения надежности элементов 2–6 и уменьшение интенсивности их отказов с $1 \cdot 10^{-6}$ до $0,458 \cdot 10^{-6}$ ч⁻¹ (табл. 3.1 и 4.1). Элементы 2–6: реечное колесо (2), подъемная площадка (3), захват (4, 18), гильза (5, 12), ось (6). Для повышения надежности этих элементов рекомендуется использовать более прочные материалы, а также своевременно проводить осмотр данных элементов, их замену или ремонт.

Образец оформления титульного листа курсовой работы

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет»

Институт Автомеханический

Кафедра Управление промышленной и экологической безопасностью

**Специальность 280102 Безопасность технологических
процессов и производств**

Специализация Машиностроение

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовой работе

**по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск»
на тему Анализ надежности и техногенного риска технической системы
изготовления детали типа «Вал»**

СТУДЕНТ _____
(инициалы, фамилия) (личная подпись)

Группа _____

РУКОВОДИТЕЛЬ _____
(ученая степень, звание, инициалы, фамилия) (личная подпись)

Тольятти 20__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	5
1.1. Тема курсовой работы.....	5
1.2. Исходные данные.....	5
2. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	7
2.1. Описание исследуемой системы.....	7
2.2. Определение требований надежности и работоспособности системы.....	9
2.3. Распределение требований надежности системы по различным подсистемам.....	11
2.4. Проведение анализа надежности и техногенного риска системы на основе методов надежности.....	12
2.5. Исследования и рекомендации.....	17
3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	19
4. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	23
Библиографический список.....	24
Приложения.....	26

Учебное издание

Кравцова Марианна Викторовна

НАДЁЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы

Редактор *Е.Ю. Жданова*

Технический редактор *З.М. Малявина*

Вёрстка: *Л.В. Сызганцева*

Дизайн обложки: *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 04.04.2011. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 3,0. Тираж 200 экз.

Заказ № 1-123-10.

Тольяттинский государственный университет

445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14