

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИСГТ
Направление подготовки 27.03.04 Управление в технических системах
Кафедра Автоматики и Компьютерных Систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Выбор модели надежности технических систем в пакете Mathcad на основе эксплуатационных данных

УДК 004.42:004.492.052

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158А30	У Даньни		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. АиКС	Ефремов А.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. МЕН	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Штейнле А.В.	К.М.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И.О. зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Суходоев М.С.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
1	Обладать естественнонаучными и математическими знаниями для решения инженерных задач в области разработки, производства и эксплуатации систем управления техническими объектами и средств автоматизации.
2	Обладать знаниями о передовом отечественном и зарубежном опыте в области управления техническими объектами с использованием вычислительной техники
3	Применять полученные знания (Р1 и Р2) для формулирования и решения инженерных задач при проектировании, производстве и эксплуатации современных систем управления техническими объектами и их составляющих с использованием передовых научно-технических знаний, достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
4	Уметь выбирать и применять соответствующие методы анализа и синтеза систем управления, методы расчета средств автоматизации, уметь выбирать и использовать подходящее программное обеспечение, техническое оборудование, приборы и оснащение для автоматизации и управления техническими объектами.
5	Уметь находить электронные и литературные источники информации для решения задач по управлению техническими объектами.
6	Уметь планировать и проводить эксперименты, обрабатывать данные и проводить моделирование с использованием вычислительной техники, использовать их результаты для ведения инновационной инженерной деятельности в области управления техническими
7	Демонстрировать компетенции, связанные с инженерной деятельностью в области научно-исследовательских работ, проектирования и эксплуатации систем управления и средств автоматизации на предприятиях и организациях – потенциальных работодателях, а также готовность следовать их корпоративной культуре

Универсальные компетенции

8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.
10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт ИСГТ

Направление подготовки 27.03.04 Управление в технических системах

Кафедра Автоматики и Компьютерных Систем

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Суходоев М.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
158A30	У Даньни

Тема работы:

Выбор модели надежности технических систем в пакете Mathcad на основе эксплуатационных данных	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	09.03.2017, № 786/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Сгенерированные выборки случайных чисел, представляющие собой времена отказов систем, с различными распределениями. Перечень литературы по теории надежности, математическому моделированию и теории статистического оценивания. Пакет прикладных программ Mathcad 15.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор распределений случайных величин, используемых в качестве моделей надежности. Исследование процедур получения точечных и интервальных оценок параметров моделей надежности по имеющимся данным об отказах. Реализация этих процедур в ППП Mathcad. Разработка пользовательских функций в ППП Mathcad, реализующих расчет значений критериев согласия и информационных критериев. Разработка и реализация в ППП Mathcad процедур ранжирования моделей надежности в соответствии с рассчитанными значениями критериев. Выводы по результатам проделанной работы.
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Н. Г.
Социальная ответственность	Штейнле А.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ефремов А.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158A30	У Даньни		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИСГТ
Направление 27.03.04 Управление в технических системах
Кафедра автоматики и компьютерных систем
Уровень образования – бакалавр
Период выполнения – весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2017 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела
29.05.2017	Основная часть	75
15.05.2017	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
22.05.207	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. АИКС	Ефремов А.А.			

СОГЛАСОВАНО:

И.о. зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Суходоев М.С.	к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
158A30	У Даньни

Институт	ИСГТ	Кафедра	АиКС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	27.03.04 Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад научного руководителя – 17000 руб. Должностной оклад инженера – 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации – 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальные отчисления – 30% от ФЗП

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ и их временная оценка
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Анализ полученных оценки моделей

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	06.02.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. МЕН	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158A30	У Даньни		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
158A30	У Даньни

Институт	ИСГТ	Кафедра	АиКС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	27.03.04 Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1 Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Работа проводилась в помещении №117 на первом этаже в десятом корпусе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Технический процесс заключается в использовании компьютера.
2 Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	Данный раздел основан на следующих документах: ГОСТ 12.1.005-88, СанПиН 2.2.4.548-96, СНиП 23-05-95, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.003-83

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	В процессе возникли следующие вредные факторы: 1. Отклонение показателей микроклимата в помещении; 2. Недостаточная освещённость рабочей зоны; 3. Монотонный режим работы; 4. Превышение уровней шума; 5. Превышение уровней электромагнитных излучений.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты);	Опасный фактор: Электрический ток, статическое электричество и пожар опасность Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый неотпускающий ток составляет 50 Гц (6–16мА). Основные

– <i>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</i> – <i>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</i>	коллективные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей (проводов) и её непрерывный контроль; установка оградительных устройств. Индивидуальные основные изолирующие электрозащитные средства способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок.
3. <i>Охрана окружающей среды:</i> – <i>защита селитебной зоны</i> – <i>анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</i> – <i>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</i>	Материалы, из которых сделан компьютер, разлагаются десятки и даже сотни лет. Поэтому утилизация компьютеров, оргтехники и другого оборудования – социальная обязанность каждой организации и отдельно взятого человека, который хочет жить в гармонии с природой.
4. <i>Защита в чрезвычайных ситуациях:</i> – <i>перечень возможных ЧС на объекте;</i> – <i>выбор наиболее типичной ЧС;</i> – <i>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</i> – <i>разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</i> – <i>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i>	В связи с использованием компьютера существуют опасности пожар. Чтобы избежать такой опасности необходимы следующие мероприятия: 1) создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; 2) наличие и поддержание в постоянной готовности системы общего оперативного и локального оповещения и информации о пожаре и взрыве; 3) проектирование, размещение, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, в том числе и потенциально опасных.
5. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i> – <i>специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i> – <i>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</i>	Перечень основных нормативных актов, содержащих требования по охране труда.
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	План расположения светильников, план эвакуации.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.06.2017
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле Александр Владимирович	К.М.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158A30	У Даньни		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 79 страниц, 22 рисунка, 8 таблиц, 27 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: модели надёжности, статистические оценки, критерии согласия, информационные критерии, метод максимального правдоподобия.

Предметом исследования являются процедуры выбора наиболее адекватной модели надежности. Объектами исследования являются статистические критерии согласия и информационные критерии.

Цель работы – используя различные статистические и информационные критерии, а также различные процедуры ранжирования, определить модель надежности, наилучшим образом описывающую имеющийся набор данных об отказах.

Область применения - статистические методы теории надежности.

Экономическая эффективность и значимость работы, себестоимость исследуемой системы представлена в главе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Выявлены основные опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть в процессе работы, разработаны меры по снижению воздействий системы на экологию, что представлено в главе социальная ответственность.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013, расчеты – в пакете Mathcad 15.

ANNOTATION

The graduation thesis contains 79 pages, 22 figures, 8 tables, 27 references and 1 appendix.

Keywords: reliability models, statistic estimates, goodness-of-fit criteria, information criteria, maximum likelihood estimation.

The subject of the research includes selection procedures which allows determining the most adequate reliability model. Various goodness-of-fit tests and information criteria are objects of the research.

Work objective is to select from predefined set the reliability model which represents given failure data sample best, by application of various statistical and information criteria.

Research application field is statistical methods of reliability theory.

Cost-effectiveness and economic significance of the project as well as the prime cost of the system under study are illustrated in the chapter “Financial management, resource efficiency and resource economy”. Dominant dangerous and potentially harmful factors, which could be encountered in the course of the project, are described in the chapter “Social accountability”. The measures of environment impact reduction for the system under study are contained there as well.

The layout setting of presented graduation thesis was performed using Microsoft Word 2013; all numerical calculations were delivered by Mathcad 15.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВБР – Вероятность безотказной работы

МН – Модель надежности

ММП – Метод правдоподобия

Λ – Логарифмическая функция

AIC – Информационный критерий Акаике

CAIC – Согласованный информационный критерий Акаике

HAIC – Информационный критерий Ханнана-Куина

BIC – Байесовский информационный критерий

$F(x)$ – Функция вероятности отказов

$f(x)$ – Функция плотности

Kw-CWG – Комплиментарное Вейбулл-геометрическое распределение
Кумарасвами

Kw-E – Кумарасвами-экспоненциальное распределение

GCEG – Обобщенное комплиментарное экспоненциально-геометрическое
распределение

ECEG – Экспоненцируемое комплементарное экспоненциальное
геометрическое распределение

EW – Экспоненциально-Вейбулловское распределение

CWG – Комплиментарное Вейбулл-геометрическое распределение

AW – Аддитивное распределение Вейбулла;

BW – Поливейбулловское распределение ($n = 2$)

HEE – Расширенное экспоненциальное распределение Харриса

WEIB – Распределение Вейбулла

LOGN – Логнормальное распределение

LOGL – Лог-логистическое распределение

NORM – Нормальное распределение

ЭФР – Эмпирическая функцию распределения

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	15
1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	17
1.1 Основные сведения из теории надежности	17
1.2 Математические методы оценки параметров моделей	
надежности	20
1.2.1 Метод максимального правдоподобия	20
1.2.2 Определение интервальных оценок	21
1.3 Критерии качества моделей надежности.....	24
1.3.1 Критерий Крамера–Мизеса–Смирнова	24
1.3.2 Критерий Ватсона	25
1.3.3 Критерий Андерсона–Дарлинга.....	25
1.3.4 Информационные критерии	25
2 ПОСТАНОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	28
2.1 Модели надёжности	28
2.1.1 Комплиментарное Вейбулл-геометрическое распределение	
Кумарасвами (Kw-CWG)	29
2.1.2 Кумарасвами-экспоненциальное распределение (Kw-E) ...	29
2.1.3 Обобщенное комплементарное экспоненциально-	
геометрическое распределение (GCEG)	30
2.1.4 Экспоненцируемое комплементарное экспоненциальное	
геометрическое распределение (ECEG).....	30
2.1.5 Экспоненциально-Вейбулловское распределение (EW)	31
2.1.6 Комплиментарное Вейбулл-геометрическое распределение	
(CWG)	32
2.1.7 Аддитивное распределение Вейбулла (AW).....	32
2.1.8 Поли-Вейбулловское распределение (BW).....	33
2.1.9 Расширенное экспоненциальное распределение Харриса	
(НЕЕ)	34
2.1.10 Распределение Вейбулла (WEIB)	34

2.1.11	Логнормальное распределение(LOGN)	35
2.1.12	Лог-логистическое распределение (LLOG)	36
2.1.13	Нормальное распределение (NORM)	36
2.2	Методы ранжирования моделей	36
2.2.1	Тривиальный метод балльных оценок.....	38
2.2.2	Тривиальный метод балльных оценок для логарифмов	38
2.2.3	Логарифмический метод балльных оценок	39
2.2.4	Предлагаемый метод ранжирования.....	39
2.2.5	Комбинация методов ранжирования	39
2.3	Постановка эксперимента	40
2.4	Реализация в Mathcad и анализ результатов.....	40
3	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСО- ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	47
3.1	Календарный план работ и оценка времени их выполнения 47	
3.2	Смета затрат на проект	51
3.2.1	Материальные затраты	51
3.2.2	Амортизация компьютерной техники	51
3.2.3	Затраты на заработную плату	52
3.2.4	Затраты на социальные нужды	53
3.2.5	Прочие затраты	53
3.2.6	Накладные расходы	53
4	Социальная ответственность при выполнении работы с использованием компьютера.....	55
4.1.	Техногенная безопасность в компьютерном помещении	56
4.1.1	Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	57
4.1.2	Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	66
4.2.	Региональная безопасность	67

4.3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности	68
4.3.1. Требования к помещениям для работы с ПЭВМ	68
4.3.2. Общие требования к организации и оборудованию рабочих мест пользователей ПЭВМ	69
4.3.3 Режим труда и отдыха при работе с ПЭВМ	71
4.4. Особенности законодательного регулирования проектных решений	72
4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
CONCLUSION	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	78
Приложение А	81

ВВЕДЕНИЕ

Дипломная работа посвящена исследованию процедур выбора модели надёжности технических систем в пакете Mathcad 15 на основе эксплуатационных данных об отказах.

На протяжении многих лет теория надёжности является важной составляющей промышленного производства. Ее методы используются на всех этапах жизненного цикла изделия, начиная с этапа проектирования и заканчивая тестированием в рабочем режиме. Определяющим фактором для использования методов теории надёжности и приемов повышения безотказности систем является выбор наиболее адекватной модели надёжности. Широко известными являются модели надёжности, основывающиеся на экспоненциальном распределении и распределении Вейбулла. Из вышесказанного вытекает актуальность работы.

Цель данной работы заключается в создании средствами пакета Mathcad алгоритмов и процедур, позволяющих определить модель надёжности, наилучшим образом характеризующую имеющиеся данные об отказах технических систем. Выбор наилучшей модели производится на основе статистических критериев согласия и информационных критериев.

В связи с поставленной целью намечены следующие задачи:

1. Анализ набора данных и получение эмпирических функций вероятности безотказной работы (ВБР) и вероятности отказа.
2. Получение точечных и интервальных оценок параметров моделей надёжности.
3. Расчет статистических критериев согласия и информационных критериев для всех моделей, предлагаемых в исследовании.
4. Выбор метода ранжирования значений критериев, позволяющего идентифицировать наилучшую модель надёжности.
5. Анализ результатов исследования.

В работе были использованы следующие методы: метод максимального правдоподобия, метод информационного критерия Акаике (AIC), согласованный информационный критерий Акаике (CAIC), информационный критерий Ханнана-Куина (HQIC), Байесовский информационный критерий (BIC), критерий Ватсона, критерий Андерсона-Дарлинга и методы ранжирования моделей.

1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Основные сведения из теории надежности

Теория надежности является прикладной технической наукой, изучающей общие закономерности, которых следует придерживаться при проектировании, изготовлении, испытаниях и эксплуатации объектов, для получения максимальной эффективности и безопасности их использования [1]. Теория надежности как научная дисциплина изучает закономерности возникновения и устранения отказов объектов [2].

Повышенное внимание к вопросу надежности исторически обуславливалось требованиями промышленного производства и использования сложной военной техники во Вторую мировую войну. С тех пор надежность технических систем значительно возросла, но поскольку с течением времени структуры крупномасштабных систем становятся все более сложными и многофункциональными, проблемы повышения надежности по-прежнему являются актуальными.

В теории надежности исследуются закономерности возникновения отказов объектов, восстановления их работоспособности, рассматривается влияние внешних и внутренних воздействий на процессы, происходящие в объектах, разрабатываются методы расчета систем на надежность, прогнозирования отказов, ищутся способы повышения надежности при проектировании и эксплуатации объектов, а также способы сохранения надежности при эксплуатации, определяются методы сбора, учета и анализа статистических данных, характеризующих надежность [1].

Исследование надежности систем подразумевает оценку и анализ значений количественных показателей надежности, то есть количественных характеристик одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта [3]. Анализ этих показателей позволяет получить рекомендации с целью обеспечения заданных требований на каждом этапе жизненного цикла изделия. Также, они позволяют решать следующие эксплуатационные задачи:

обоснование сроков и объема профилактических мероприятий и ремонтов, обеспечение запасными элементами, узлами, инструментом и материалами, диагностический контроль и отыскание неисправностей.

Основные показатели надёжности [1-3]:

- Вероятность безотказной работы

Под вероятностью безотказной работы (ВБР) объекта понимается вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет. ВБР является основной количественной характеристикой безотказности объекта на заданном временном интервале. Если обозначить через T время непрерывной исправной работы объекта от начала работы до первого отказа, а через t — время, за которое необходимо определить ВБР, то ВБР записывается в виде

$$P(t) = \Pr\{T \geq t\}, t \geq 0.$$

ВБР имеет следующие свойства:

- 1) $0 \leq P(t) \leq 1$
- 2) $P(0) = 1$
- 3) $P(\infty) = 0$

- Вероятность отказа

Вероятность отказа – интегральная функция распределения случайной величины (времени отказа), т.е. $Q(t) = F(t)$. Вероятность того, что отказ объекта произойдет за время, не превышающее заданной величины T , т.е. что $T < t$, как вероятность события, противоположного тому, при котором $T \geq t$ и имеет вид:

$$Q(t) = \Pr(T < t) = 1 - P(t), t \geq 0.$$

Пример внешнего вида графиков ВБР и вероятности отказа приведен на рис. 1.

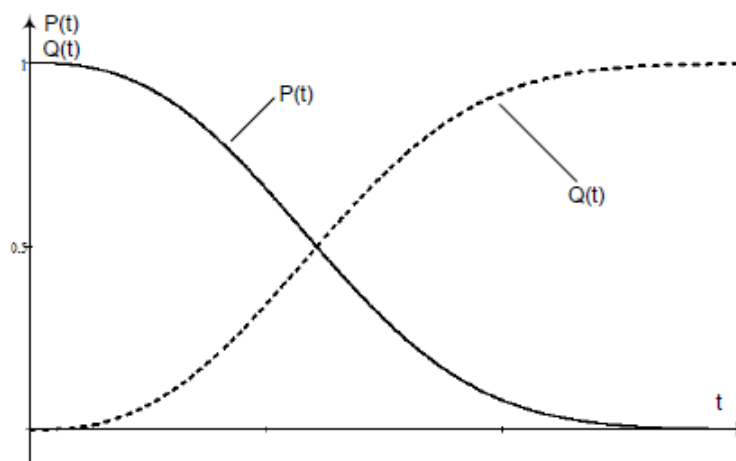


Рисунок.1 – Графики функций ВБР и вероятности отказа

- Плотность отказов

Плотность отказов представляет собой по сути дифференциальный закон распределения времени до отказа (функцию плотности распределения):

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}.$$

- Интенсивность отказов

Интенсивность отказов часто называют λ -характеристикой, она показывает, какая часть объектов выходит из строя в единицу времени по отношению к среднему числу исправно работающих объектов. И она имеет вид:

$$h(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (1)$$

Характерная кривая интенсивности отказов объектов приведена на рис. 2. Из неё мы можем видеть, что кривая изменения интенсивности отказов имеет три участка: период приработки $(0; t_1)$, период нормальной эксплуатации $(t_1; t_2)$, период интенсивного износа и старения $(t_2; \infty)$. В период приработки выявляются отказы по вине проектировщиков, конструкторов и изготовителей. Здесь характерны внезапные отказы объекта. Период нормальной эксплуатации характерен наименьшим количеством отказов и приблизительно постоянством интенсивности отказов. Третий период обусловлен таким значением износа и старения объекта, что его дальнейшая эксплуатация нецелесообразна.

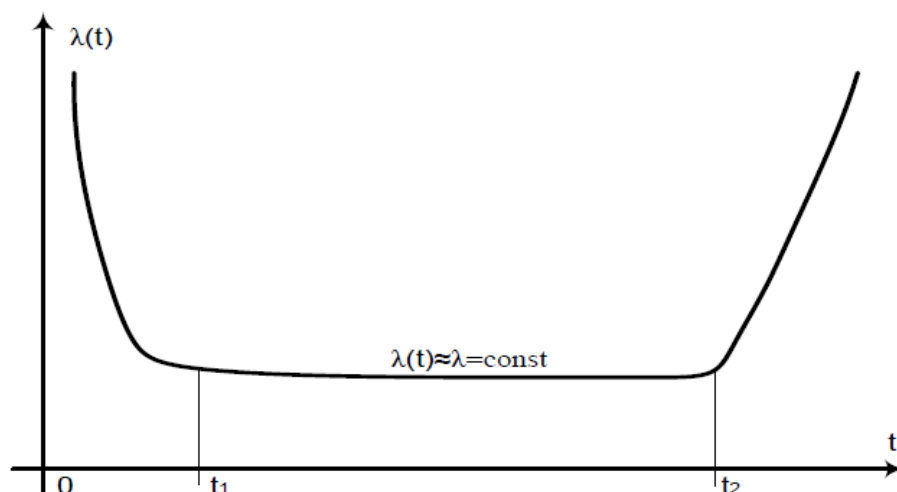


Рисунок 2 – Характерная форма кривой интенсивности отказов

1.2 Математические методы оценки параметров моделей надежности

Основной задачей настоящего исследования является выбор наилучшей из 13 предложенных моделей надежности (МН) для описания выборки случайных чисел, представляющей собой данные о наработке на отказ (в часах) некоторого оборудования. Первым шагом процедуры выбора является получение оценок параметров для каждой из моделей. В данной работе определяются как точечные, так и интервальные оценки параметров. При этом точечные оценки определяются методом максимального правдоподобия, а интервальные – с использованием ковариационной матрицы.

1.2.1 Метод максимального правдоподобия

Метод максимального правдоподобия (ММП) [4] повсеместно используется в задачах статистического оценивания параметров моделей и основан на максимизации функции правдоподобия, определяемой как совместное распределение выборки при неизвестных параметрах:

$$L(\Theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \Theta), \quad (2)$$

где $\Theta = \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_k \end{pmatrix}$ – вектор параметров распределения времени до отказа, n – размер

выборки, $f(x)$ – функция плотности распределения, x_i – i -й элемент выборки.

Для большинства вычислений вместо функции правдоподобия (2) рекомендуется использовать логарифмическую функцию правдоподобия, определяемую как

$$\Lambda(\Theta) = \sum_{i=1}^n \ln(f(x_i, \Theta)), \quad (3)$$

поскольку дифференцирование суммы гораздо проще, чем дифференцирование произведения [5].

Суть ММП состоит в том, что в качестве точечных оценок параметров в векторе Θ принимаются те значения его компонентов, при которых функция $L(\Theta)$ (или $\Lambda(\Theta)$) достигает своего максимума [6]. Эти значения определяются решением системы уравнений

$$\frac{\partial \ln \Lambda(\Theta)}{\partial \theta_i} = 0; \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, k$.

Решением системы (4) будет некий вектор $\hat{\Theta} = \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\theta}_k \end{pmatrix}$ точечных оценок

параметров модели.

1.2.2 Определение интервальных оценок

В задачах статистического оценивания широкое распространение получили интервальные оценки, задаваемые в виде доверительных интервалов [7]. Доверительный интервал для оцениваемого параметра θ_i определяется как интервал $I_\alpha = [\theta_i^L; \theta_i^R]$, который с заданной вероятностью α накрывает истинное значение параметра. Здесь θ_i^L и θ_i^R – это соответственно левая и правая границы доверительного интервала. Вероятность α называется доверительной

вероятностью и зачастую выражается в процентах. Таким образом, 95%-ный доверительный интервал – это отрезок числовой прямой, в котором с вероятностью 0,95 содержится истинное значение оцениваемого параметра.

Вероятность $\beta = 1 - \alpha$ называется уровнем значимости и определяет вероятность ошибки оценивания, т.е. вероятность того, что истинное значение параметра будет лежать за пределами интервала I_α .

Самый простой способ определения границ доверительного интервала исходит из предположения, что оценки параметров, полученные с помощью ММП являются асимптотически нормальными [8]. В таком случае случайная величина

$$z = \frac{\theta - \hat{\theta}}{\sqrt{D[\hat{\theta}]}}$$

распределена в соответствии со стандартным нормальным распределением. Здесь $D[\hat{\theta}]$ – дисперсия оценки $\hat{\theta}$. Функция стандартного нормального распределения:

$$\Phi(z) = \Pr\{X \leq z\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Левая и правая границы доверительного интервала $[L; R]$ с доверительной вероятностью α для случайной величины z таким образом определяются из соотношения

$$\Pr\{L < z < R\} = \Phi(R) - \Phi(L) = \alpha.$$

Очевидно, что правая граница соответствует квантилю порядка

$$\delta = 1 - \frac{1 - \alpha}{2} = 1 - \frac{\beta}{2}$$

стандартного нормального распределения ($R = K_\delta$). В силу симметричности стандартного нормального распределения, левая граница будет равна этому же квантилю, взятому с обратным знаком ($L = -K_\delta$).

Возвращаясь к переменной θ , получим

$$\Pr \left\{ -K_{\delta} < \frac{\theta - \hat{\theta}}{\sqrt{D[\hat{\theta}]}} < K_{\delta} \right\} = \alpha.$$

Отсюда, двусторонние границы доверительного интервала I_{α} с доверительной вероятностью α для параметра θ будут определяться следующими выражениями:

$$\begin{cases} \theta^L = \hat{\theta} - K_{\delta} \sqrt{D[\hat{\theta}]}; \\ \theta^R = \hat{\theta} + K_{\delta} \sqrt{D[\hat{\theta}]}. \end{cases} \quad (5)$$

В случае, когда параметр может принимать только положительные значения, считается, что асимптотически нормальным является распределение логарифма оценки ММП [9]. Тогда границы доверительного интервала будут определяться следующими выражениями:

$$\begin{cases} \theta^L = \hat{\theta} \cdot \exp \left(-\frac{K_{\delta} \sqrt{D[\hat{\theta}]}}{\hat{\theta}} \right); \\ \theta^R = \hat{\theta} \cdot \exp \left(\frac{K_{\delta} \sqrt{D[\hat{\theta}]}}{\hat{\theta}} \right). \end{cases} \quad (6)$$

Для того, чтобы определить границы доверительных интервалов по выражению (5) или (6), необходимо знать дисперсии оценок ММП для параметров модели θ_i . Значения дисперсий можно определить с помощью ковариационной матрицы [7-9]:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} cov(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_1) & cov(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2) & \dots & cov(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_k) \\ cov(\hat{\theta}_2, \hat{\theta}_1) & cov(\hat{\theta}_2, \hat{\theta}_2) & \dots & cov(\hat{\theta}_2, \hat{\theta}_k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ cov(\hat{\theta}_k, \hat{\theta}_1) & cov(\hat{\theta}_k, \hat{\theta}_2) & \dots & cov(\hat{\theta}_k, \hat{\theta}_k) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

в которой элементы на главной диагонали являются дисперсиями соответствующего параметра:

$$D[\hat{\theta}_i] = cov(\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_i).$$

Численное значение ковариационной матрицы для полученных оценок ММП можно определить из следующего соотношения [9]:

$$\mathbf{C} = \left[\begin{array}{cccc} -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_1^2} & -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_1 \partial \theta_2} & \dots & -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_1 \partial \theta_k} \\ -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_2 \partial \theta_1} & -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_2^2} & \dots & -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_2 \partial \theta_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_k \partial \theta_1} & -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_k \partial \theta_2} & \dots & -\frac{\partial^2 \Lambda}{\partial \theta_k^2} \end{array} \right]^{-1} \bigg|_{\theta_i = \hat{\theta}_i}. \quad (8)$$

1.3 Критерии качества моделей надежности

Выбор наилучшей модели в данной работе осуществляется путем анализа значений различных статистических критериев согласия, которые проверяют, согласуется ли заданная выборка с заданным фиксированным распределением [10], и информационных критериев, применяемых для выбора из нескольких статистических моделей и позволяющих выбрать наименее сложную модель. Ниже приведены описания этих критериев и формулы расчета их значений.

1.3.1 Критерий Крамера–Мизеса–Смирнова

В статистике критерий Крамера–Мизеса–Смирнова является критерием, используемым для проверки простых гипотез о принадлежности некоторой выборки к заранее известному закону распределения [11]:

$$H_0: F_n(x) = F(x, \Theta),$$

где $F_n(x)$ – эмпирическая функция распределения, полученная по упорядоченной по возрастанию выборке $x_1, x_2, \dots, x_n$ из n элементов; $F(x, \Theta)$ – функция распределения с известным вектором параметров Θ . Статистика данного критерия вычисляется следующим образом:

$$S_\omega = n\omega_n^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{2i-1}{2n} - F(x_i, \Theta) \right]^2. \quad (9)$$

Гипотеза отвергается, если рассчитанное значение критерия больше некоторого критического значения, которое приведено в таблице в [12].

В данной работе не проверяются простые гипотезы, поскольку одна и та же выборка используется как для оценки параметров распределений, так и для расчета значения статистики. Однако, так как в данной работе не ставится вопрос о проверке согласия, мы можем использовать данный критерий для поиска модели, наилучшим образом описывающей имеющиеся данные: будем считать, что наименьшее значение статистики соответствует самой лучшей модели.

Это замечание справедливо и для остальных статистических критериев.

1.3.2 Критерий Ватсона

Критерий Ватсона является модифицированной, более мощной версией критерия Крамера–Мизеса–Смирнова [10-11]. Значения статистики этого критерия можно вычислить так:

$$U_n^2 = S_\omega - n \cdot \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(x_i, \Theta) - \frac{1}{2} \right]^2. \quad (10)$$

Так же, как и в случае критерия Крамера–Мизеса–Смирнова, при сравнении моделей меньшее значение статистики соответствует лучшей модели.

1.3.3 Критерий Андерсона–Дарлинга

Еще одним непараметрическим критерием согласия является критерий Андерсона–Дарлинга [10-11]. С учетом обозначений, принятых в п. 1.3.1 мы можем записать выражение для расчета значений статистики данного критерия:

$$S_\Omega = -n - 2 \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{2i-1}{2n} \ln[F(x_i, \Theta)] + \left(1 - \frac{2i-1}{2n} \right) \ln[1 - F(x_i, \Theta)] \right\}. \quad (11)$$

Так же, как и в случае приведенных выше критериев, при сравнении моделей меньшее значение статистики соответствует лучшей модели.

1.3.4 Информационные критерии

Информационный критерий Акаике (AIC) — это мера относительного качества статистических моделей для заданной выборки данных [13]. Основываясь на теории информации, AIC предлагает относительную оценку

потерянной информации при условии применения некоторой модели для описания генерирующего данные процесса. При этом AIC предлагает баланс между правдоподобием и сложностью модели. Данный критерий не используется для тестирования нулевой гипотезы, т.е. ничего не говорит о качестве модели в узком смысле. Несомненным достоинством AIC можно считать его применимость при любом распределении шума [13].

В общем случае значение AIC рассчитывается как

$$AIC = -2\Lambda(\hat{\Theta}) + 2k, \quad (12)$$

где k – количество параметров модели, $\Lambda(\hat{\Theta})$ – максимизированное значение функции правдоподобия модели. Слагаемое $-2\Lambda(\hat{\Theta})$ определяет меру точности (адекватности) модели и используется само по себе в качестве базового информационного критерия.

Оставшееся слагаемое представляет собой «штраф», налагаемый на модель: чем больше у модели параметров, тем больше «штраф». Очевидно, что меньшим значениям AIC соответствует лучшая модель.

Развитием идеи AIC стали его модификации, связанные, в первую очередь, с учетом размера выборки [14]. Ниже перечислены формулы расчета состоятельного информационного критерия Акаике (CAIC), информационного критерия Ханнана-Куинна (HQIC) и Байесовского информационного критерия (BIC).

Состоятельный информационный критерий (CAIC):

$$CAIC = -2\Lambda(\hat{\Theta}) + \frac{2kn}{n - k - 1}. \quad (13)$$

Информационный критерий Ханнана-Куинна (HQIC):

$$HQIC = -2\Lambda(\hat{\Theta}) + 2k \ln(\ln(n)). \quad (14)$$

Байесовский информационный критерий (BIC):

$$BIC = -2\Lambda(\hat{\Theta}) + k \ln(n). \quad (15)$$

В выражениях (13)–(15) n обозначает объем выборки.

Видно, что модификации отличаются от критерия (12) и между собой лишь размером «штрафа» за сложность модели. Для заданного объема выборки все вышеперечисленные критерии можно расположить по возрастанию размера «штрафа» следующим образом: $-2\Lambda \Rightarrow AIC \Rightarrow CAIC \Rightarrow HQIC \Rightarrow BIC$.

2 ПОСТАНОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1 Модели надёжности

Отличительным признаком «хорошей» МН является его гибкость, т.е. возможность получить большое разнообразие форм функции интенсивности отказов [15]. В настоящее время ведется большая работа по поиску и анализу свойств различных сложных распределений случайных величин, способных служить в качестве МН. Одним из таких законов распределения является комплементарное Вейбулл-геометрическое распределение Кумарасвами (Kumaraswamy complementary Weibull geometric distribution, Kw-CWG), впервые введенное в работе [16]. Распределение Kw-CWG – очень гибкая пятипараметрическая модель, содержащая 23 подмодели, в числе которых находятся широко известные распределения: экспоненциальное, распределения Рэлея и Вейбулла. Для данного исследования была выбрана лишь часть из всех возможных подмоделей этого распределения с тремя параметрами и двухпараметрическое распределение Вейбулла. Также в качестве МН, рассматриваемых в данной работе, были взяты распределения, не являющиеся частными случаями Kw-CWG:

- аддитивное распределение Вейбулла;
- поливейбулловское распределение ($n = 2$);
- расширенное экспоненциальное распределение Харриса;
- логнормальное распределение;
- лог-логистическое распределение;
- нормальное распределение.

Данные распределения имеют от двух до четырех параметров; большинство широко используется в теории надёжности.

Ниже приведены краткие описания выбранных МН.

2.1.1 Комплиментарное Вейбулл-геометрическое распределение Кумарасвами (Kw-CWG)

Данное пятипараметрическое распределение является самым сложным из рассматриваемых. Функция вероятности отказа (функция распределения) определяется следующим выражением:

$$F_{KwCWG}(x) = 1 - \left\{ 1 - \left[\frac{\alpha \cdot (1 - e^{-(\gamma x)^\beta})}{\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-(\gamma x)^\beta}} \right]^a \right\}^b, \quad (16)$$

где $0 < \alpha < 1$ и $\beta, a, b > 0$ – параметры формы, $\gamma > 0$ – параметр масштаба.

Функция плотности распределения:

$$f_{KwCWG}(x) = \alpha^a \beta \gamma a b (\gamma x)^{\beta-1} e^{-(\gamma x)^\beta} \times \frac{(1 - e^{-(\gamma x)^\beta})^{a-1}}{(\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-(\gamma x)^\beta})^{a+1}} \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{\alpha \cdot (1 - e^{-(\gamma x)^\beta})}{\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-(\gamma x)^\beta}} \right]^a \right\}^{b-1}. \quad (17)$$

Функция интенсивности отказов определяется выражением (1), как и для остальных МН. На рисунке 3 приведены примеры графиков функций (16) и (17).

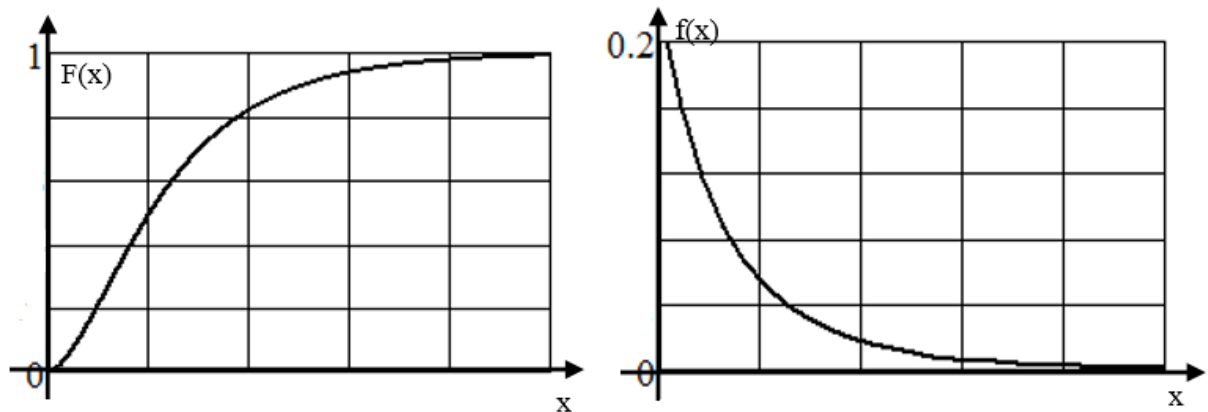


Рисунок 3 – Графики функций ВБР и вероятности отказа модели Kw-CWG

2.1.2 Кумарасвами-экспоненциальное распределение (Kw-E)

Данное трехпараметрическое распределение является частным случаем распределения Kw-CWG [16]. Функции вероятности отказа, плотности распределения и интенсивности отказа для этого распределения можно получить

из выражений (22) и (23), приравняв параметры α и β к единице. Таким образом, функция вероятности отказа распределения Kw-E определяется выражением:

$$F_{KwE}(x) = 1 - [1 - (1 - e^{-rx})^a]^b. \quad (18)$$

Функция плотности распределения:

$$f_{KwE}(x) = \gamma a b e^{-rx} (1 - e^{-rx})^{a-1} [1 - (1 - e^{-rx})^a]^{b-1}. \quad (19)$$

Пример графиков функций (18) и (19) приведен на рис. 4а и 4б.

2.1.3 Обобщенное комплементарное экспоненциально-геометрическое распределение (GCEG)

Данное трехпараметрическое распределение является частным случаем распределения Kw-CWG [16]. Функции вероятности отказа, плотности распределения и интенсивности отказа для этого распределения можно получить из выражений (22) и (23), приравняв параметры a и β к единице. Таким образом, функция вероятности отказа распределения GCEG определяется выражением:

$$F_{GCEG}(x) = 1 - \left(\frac{e^{-rx}}{\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-rx}} \right)^b. \quad (20)$$

Функция плотности распределения:

$$f_{GCEG}(x) = \frac{\alpha \gamma b e^{-rx}}{(\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-rx})^2} \cdot \left[1 - \frac{\alpha \cdot (1 - e^{-rx})}{\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-rx}} \right]^{b-1}. \quad (21)$$

Пример графиков функций (20) и (21) приведен на рис. 4в и 4г.

2.1.4 Экспоненцируемое комплементарное экспоненциальное геометрическое распределение (ECEG)

Данное трехпараметрическое распределение является частным случаем распределения Kw-CWG [16]. Функции вероятности отказа, плотности распределения и интенсивности отказа для этого распределения можно получить из выражений (22) и (23), приравняв параметры β и b к единице.

Функция вероятности:

$$F_{ECEG}(x) = \left(\frac{\alpha \cdot (1 - e^{-rx})}{\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-rx}} \right)^a. \quad (22)$$

Функция плотности распределения:

$$f_{ECEG}(x) = \alpha^a \gamma a e^{-\gamma \cdot x} \cdot \frac{[1 - e^{-\gamma \cdot x}]^{a-1}}{[\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-\gamma \cdot x}]^{a+1}}. \quad (23)$$

Пример графиков функций (22) и (23) приведен на рис. 4д и 4е соответственно.

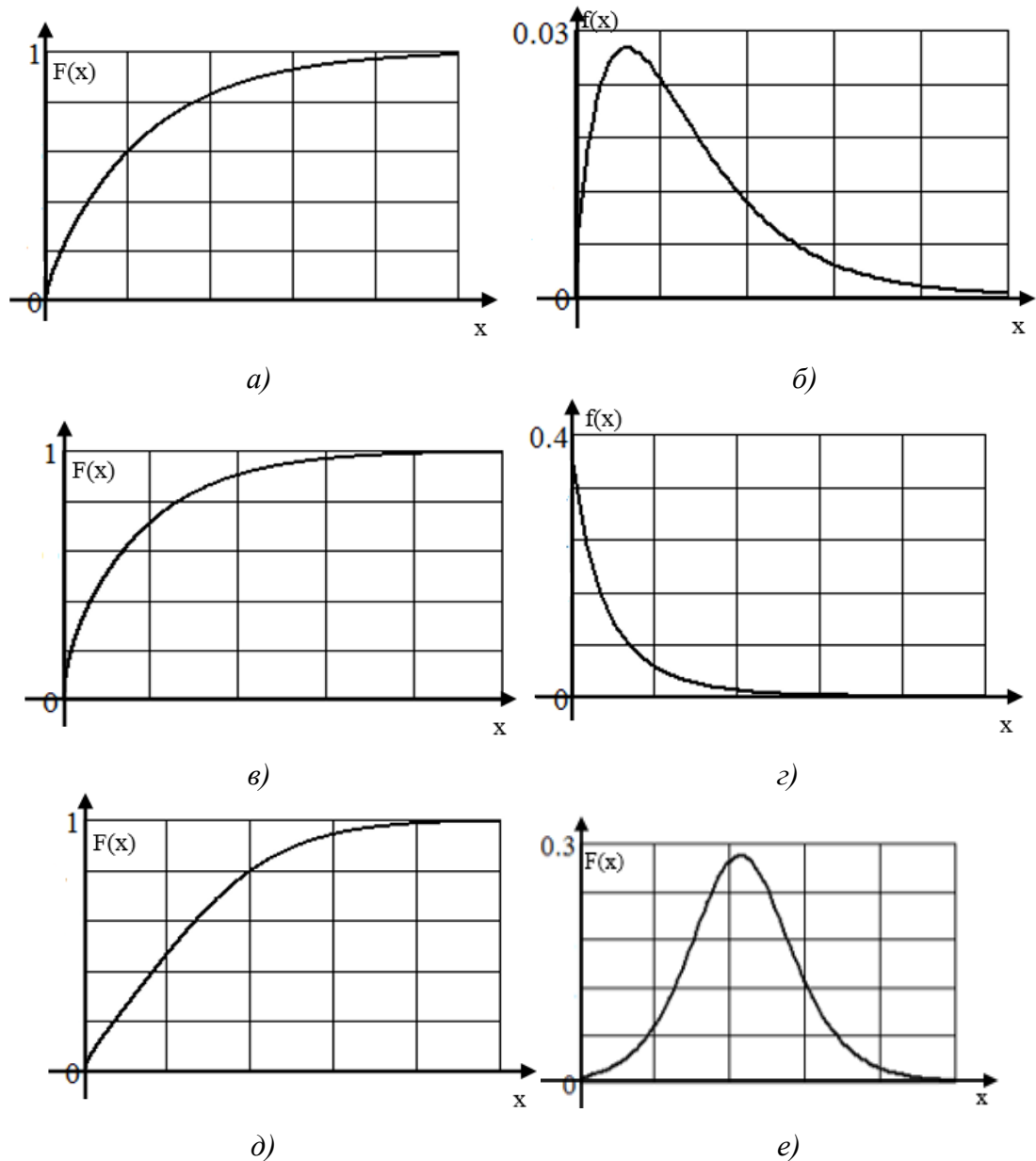


Рисунок 4 – Графики функций ВБР и плотности отказов моделей Kw-E, GCEG, ECEG

2.1.5 Экспоненциально-Вейбулловское распределение (EW)

Данное трехпараметрическое распределение является частным случаем распределения Kw-CWG. Функции вероятности отказа, плотности распределения и интенсивности отказа для этого распределения можно получить из выражений (22) и (23), приравняв параметры α и b к единице. Таким образом, функция вероятности отказа распределения EW определяется выражением:

$$F_{EW}(x) = \left[1 - e^{-(\gamma \cdot x)^\beta}\right]^a. \quad (24)$$

Функция плотности распределения:

$$f_{EW}(x) = \beta \gamma a (\gamma \cdot x)^{\beta-1} \cdot e^{-(\gamma \cdot x)^\beta} \cdot \left[1 - e^{-(\gamma \cdot x)^\beta}\right]^{a-1}. \quad (25)$$

Пример графиков функций (24) и (25) приведен на рис. 5а и 5б.

2.1.6 Комплиментарное Вейбулл-геометрическое распределение (CWG)

Данное трехпараметрическое распределение является частным случаем распределения Kw-CWG. Функции вероятности отказа, плотности распределения и интенсивности отказа для этого распределения можно получить из выражений (16) и (17), приравняв параметры a и b к единице. Таким образом, функция вероятности отказа распределения CWG определяется выражением:

$$F_{CWG}(x) = \frac{\alpha \cdot \left[1 - e^{-(\gamma \cdot x)^\beta}\right]}{\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-(\gamma \cdot x)^\beta}}. \quad (26)$$

Функция плотности распределения:

$$f_{CWG}(x) = \frac{\alpha \beta \gamma (\gamma \cdot x)^{\beta-1} \cdot e^{-(\gamma \cdot x)^\beta}}{\left[\alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-(\gamma \cdot x)^\beta}\right]^2}. \quad (27)$$

Пример графиков функций (26) и (27) приведен на рис. 5в и 5г.

Кроме вышеприведенных распределений существует ещё большое количество моделей, играющих значительную роль в теории надёжности. В целях исследования в список рассматриваемых были включены некоторые из них с двумя, тремя и четырьмя параметрами.

2.1.7 Аддитивное распределение Вейбулла (AW)

Параметры: a, b, c, d .

Функция вероятности:

$$F_{AW}(x) = 1 - e^{(-ax^b - cx^d)}. \quad (28)$$

Функция плотности:

$$f_{AW}(x) = abx^{b-1} \cdot e^{(-ax^b - cx^d)} + cdx^{d-1} \cdot e^{(-ax^b - cx^d)}. \quad (29)$$

Пример графиков функций (28) и (29) приведен на рис. 5д и 5е.

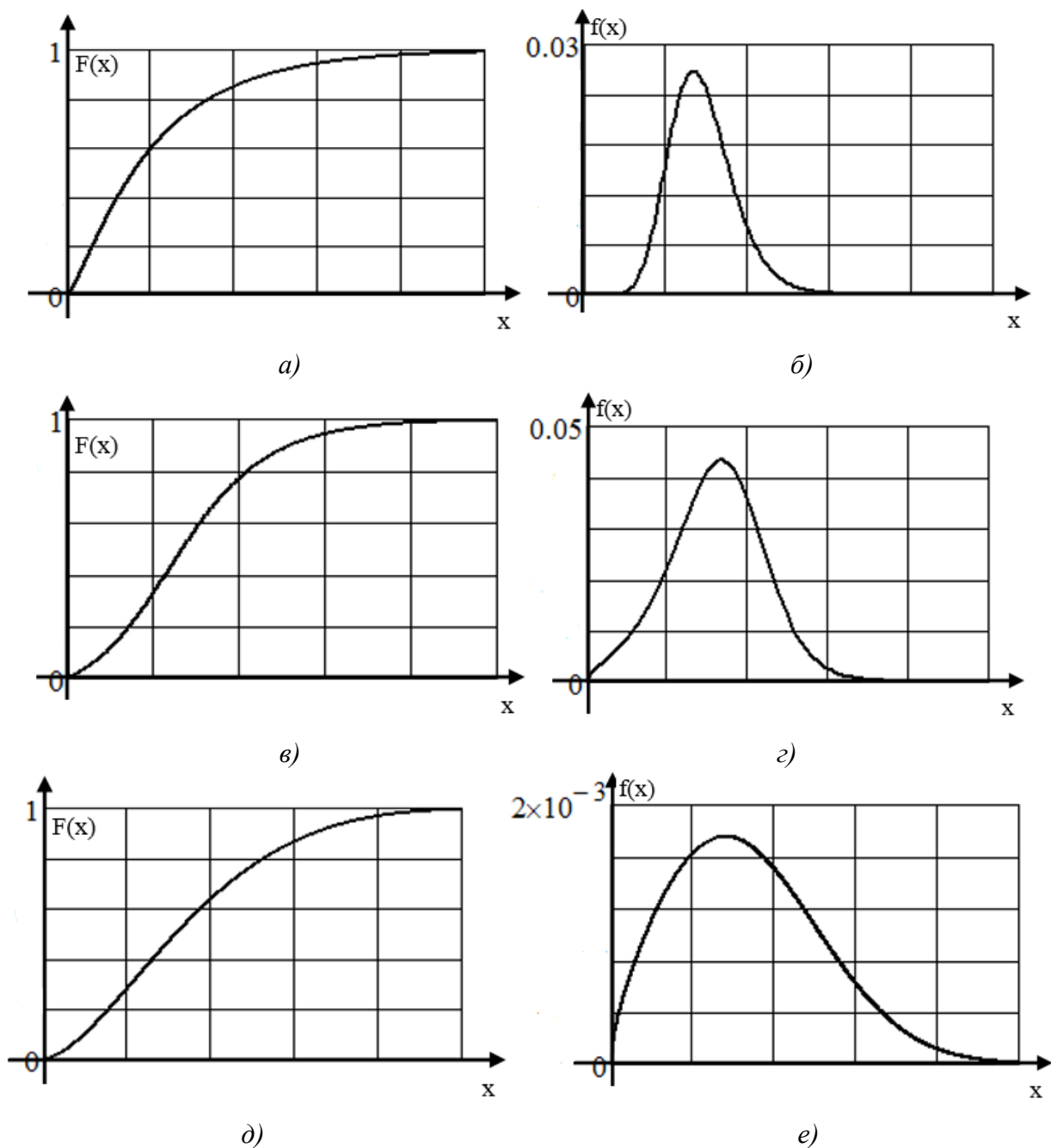


Рисунок 5 – Графики функций ВБР и вероятности отказа модели EW, CWG и AW

2.1.8 Поли-Вейбулловское распределение (BW)

Параметры: a, b, c, d .

Функция вероятности:

$$F_{BW}(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{a} \right)^b - \left(\frac{x}{c} \right)^d \right]. \quad (30)$$

Функция плотности:

$$f_{BW}(x) = \left[\frac{b}{a} \cdot \left(\frac{x}{a} \right)^{b-1} + \frac{d}{c} \cdot \left(\frac{x}{c} \right)^{d-1} \right] \cdot \exp \left[- \left(\frac{x}{a} \right)^b - \left(\frac{x}{c} \right)^d \right]. \quad (31)$$

Пример графиков функций (30) и (31) приведен на рис. 6а и 6б.

2.1.9 Расширенное экспоненциальное распределение Харриса (HEE)

Параметры: λ , k , θ .

Функция вероятности:

$$F_{HEE}(x) = 1 - \left[\frac{\theta e^{-\lambda \cdot k \cdot x}}{1 - (1 - \theta) \cdot e^{-\lambda \cdot k \cdot x}} \right]^{\frac{1}{k}}. \quad (32)$$

Функция плотности:

$$f_{HEE}(x) = \frac{\lambda \cdot \left[\frac{\theta e^{-\lambda \cdot k \cdot x}}{1 - (1 - \theta) \cdot e^{-\lambda \cdot k \cdot x}} \right]^{\frac{1}{k}}}{1 - (1 - \theta) \cdot e^{-\lambda \cdot k \cdot x}}. \quad (33)$$

Пример графиков функций (32) и (33) приведен на рис. 6в и 6г.

2.1.10 Распределение Вейбулла (WEIB)

Параметры: η , β .

Функция вероятности:

$$F_{Weib}(x) = 1 - \exp \left(- \left(\frac{x}{\eta} \right)^\beta \right). \quad (34)$$

Функция плотности:

$$f_{Weib}(x) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{x}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot \exp \left(- \left(\frac{x}{\eta} \right)^\beta \right). \quad (35)$$

Пример графиков функций (34) и (35) приведен на рис. 6д и 6е.

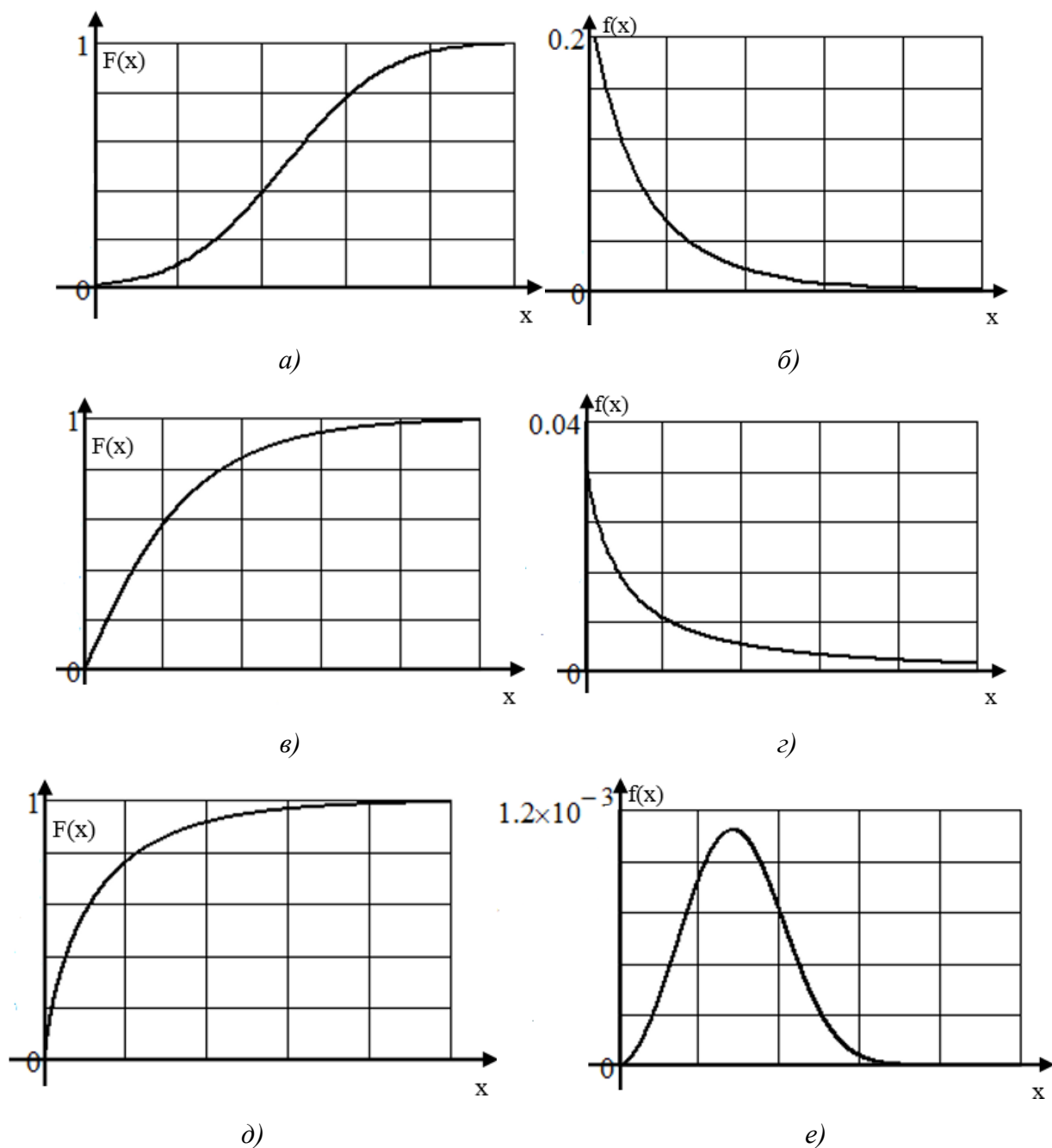


Рисунок 6 – Графики функций ВБР и вероятности отказа модели ВВ, НЕЕ и Вейбулла

2.1.11 Логнормальное распределение(LOGN)

Параметры: μ , σ .

Функция вероятности:

$$F_{LN}(x) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right). \quad (36)$$

Функция плотности:

$$f_{LN}(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right). \quad (37)$$

Пример графиков функций (36) и (37) приведен на рис. 7а и 7б.

2.1.12 Лог-логистическое распределение (LLOG)

Параметры: μ , σ .

Функция вероятности:

$$F_{LLog}(x) = \exp \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right) \cdot \left[1 + \exp \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1}. \quad (38)$$

Функция плотности:

$$f_{LLog}(x) = \exp \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right) \cdot \left[\sigma^{-1} \cdot x^{-1} \cdot \left[1 + \exp \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-2} \right]. \quad (39)$$

Пример графиков функций (38) и (39) приведен на рис. 7в и 7г.

2.1.13 Нормальное распределение (NORM)

Параметры: μ , σ .

Функция вероятности:

$$F_{Norm}(x) = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right], \quad (40)$$

Функция плотности:

$$f_{Norm}(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot \exp \left[\frac{-1}{2\sigma^2} \cdot (x - \mu)^2 \right]. \quad (41)$$

Пример графиков функций (40) и (41) приведен на рис. 7д и 7е.

2.2 Методы ранжирования моделей

Многообразие критериев согласия и информационных критериев сравнения моделей приводит к неоднозначности в процедуре выбора наилучшей модели. В данной работе предлагается подход к выбору модели, основанный на ранжировании всех моделей по каждому из критериев и на вычислении некоторой совокупной оценки по всем критериям.

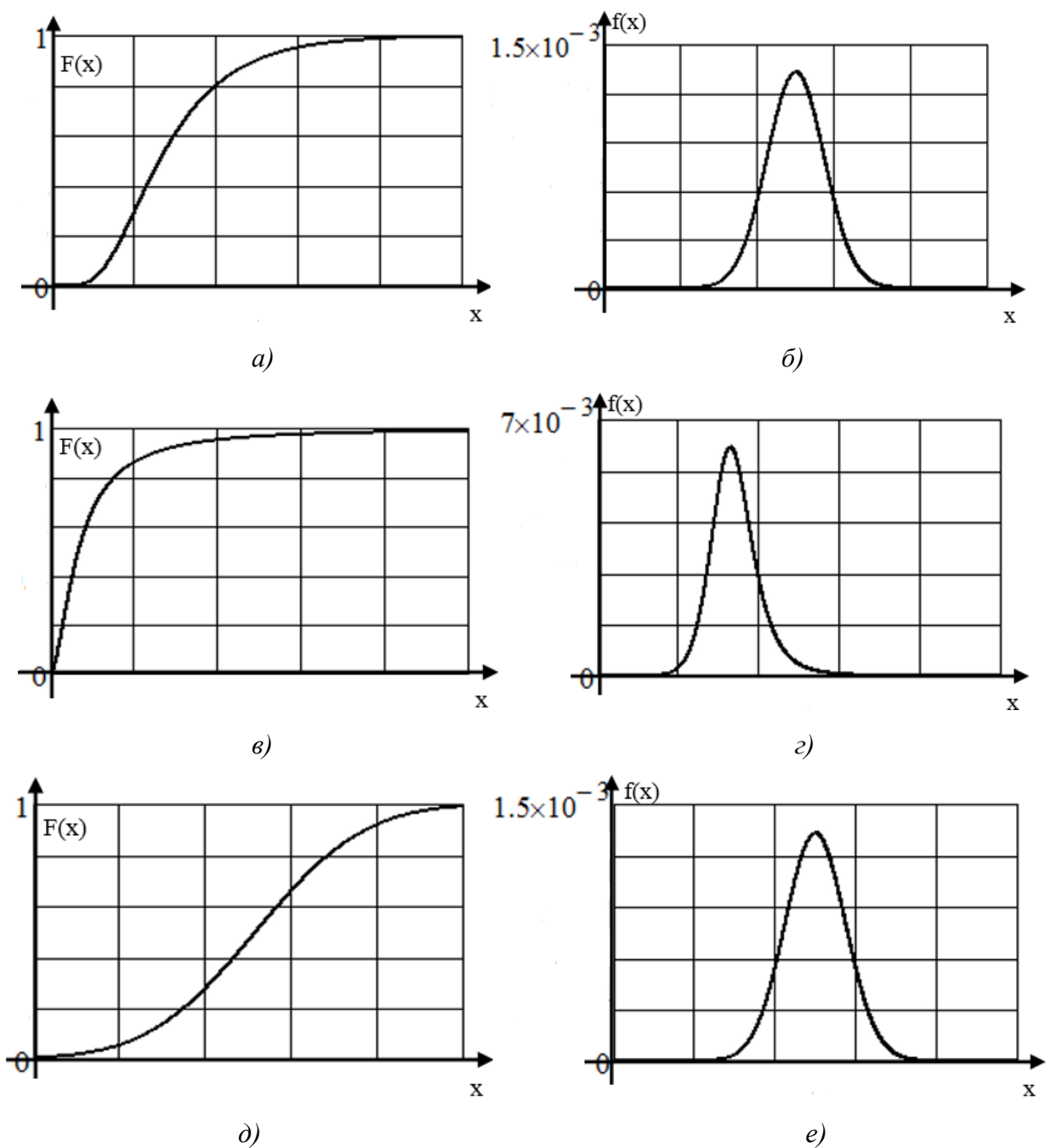


Рисунок 7 – Графики функций ВБР и вероятности отказа лог-логической, логнормальной и нормальной модели

В настоящем исследовании были выбраны следующие критерии:

- критерий согласия Ватсона;
- критерий согласия Андерсона-Дарлинга;
- информационный критерий Акаике;
- согласованный информационный критерий Акаике;
- информационный критерий Ханнана-Куинна;

- Байесовский информационный критерий.

Кроме этого, в качестве критерия взята величина $-2\Lambda(\hat{\Theta})$, поскольку она является базовым значением для расчета информационных критериев и отражает меру правдоподобия без учета сложности модели.

Общий подход к ранжированию моделей предполагает присвоение наилучшей модели согласно одному из критериев максимального количества баллов (10 баллов). Все остальные модели получают меньшее количество баллов, зависящее от процедуры ранжирования. Максимальная сумма баллов (итоговый балл), полученных по всем критериям, определит наилучшую модель.

Ниже приведены методы ранжирования.

2.2.1 Тривиальный метод балльных оценок

Введем множество $\mathbf{M} = \{m_1, m_2, \dots, m_p\}$ моделей надежности, а также множество $\mathbf{K} = \{k_1, k_2, \dots, k_q\}$ критериев качества моделей. Таким образом, можно определить $E_{i,j}$ ($i = 1..p; j = 1..q$) как значение j -го критерия для i -й модели, а $R_{i,j}$ ($i = 1..p; j = 1..q$) как балл, полученный i -й моделью в соответствии с j -м критерием.

Тривиальный метод балльных [17] оценок заключается в определении максимального (наихудшего) и минимального (наилучшего) значений некоторого критерия, причем модель с наилучшим значением получает 10 баллов, с наихудшим – 0 баллов, а остальным модели получают балл, рассчитанный по формуле:

$$R_{i,j} = \frac{E_j^- - E_{i,j}}{E_j^- - E_j^+} \cdot 10, \quad (42)$$

где $E_j^- = \max_{i=1..p} E_{i,j}$; $E_j^+ = \min_{i=1..p} E_{i,j}$.

2.2.2 Тривиальный метод балльных оценок для логарифмов

В данном методе вместо значений $E_{i,j}$ критериев предлагается брать их натуральные логарифмы. Тогда балл, полученный моделями, можно будет рассчитать по следующей формуле:

$$R_{i,j} = \frac{\ln E_j^- - \ln E_{i,j}}{\ln E_j^- - \ln E_j^+} \cdot 10. \quad (43)$$

2.2.3 Логарифмический метод балльных оценок

В этом методе баллы выставляются в зависимости от логарифма разницы между максимальным и минимальным значениями критериев. Пусть критерий с минимального значения получит 10 баллов, критерий с максимального значения получит 0 баллов. А остальные определяются по логарифму разницы с максимального значения. И формула выглядит следующим образом:

$$R_{i,j} = \frac{\ln(E_j^- - \ln E_{i,j})}{\pm \ln(E_j^- - E_j^+)} \cdot 10. \quad (44)$$

Знак «минус» в знаменателе формулы (44) используется при ранжировании по критерию Ватсона. И в этом случае, критерий с минимальным значением получит 10 баллов, а остальные получают меньше. Таким образом, критерий с минимальным значением также займет первое место.

2.2.4 Предлагаемый метод ранжирования

Пусть модель с минимальным значением некоторого критерия получит 10 баллов, а 9 баллов будет соответствовать значению критерия в $\left(1 + \frac{\Delta\%}{100}\right) \cdot E_j^+$, 8 баллов – значению $\left(1 + \frac{\Delta\%}{100}\right)^2 \cdot E_j^+$ и т.д. Значение $\Delta\%$ зависит при этом от критерия: большим значениям критерия будет соответствовать небольшое значение $\Delta\%$, и наоборот.

В случае с критерием Ватсона было выбрано значение $\Delta\% = 20$, потому что диапазон значений статистики критерия очень мал, и нужен большой процент, чтобы увеличить разницу между разными МН. Для остальных пяти критериев было установлено значение $\Delta\% = 0,5$.

2.2.5 Комбинация методов ранжирования

Пятый метод сочетает в себе первый и третий метод. Для критерия Ватсона мы используем первый метод, а для остальных - третий метод. Поскольку в третьем методе значения критерия Ватсона имеют отрицательные значения, использование логарифма значения изменит к лучшей стороне, поэтому мы соединим два метода.

2.3 Постановка эксперимента

Для анализа и проверки были сгенерированы выборки из различных распределений, каждое распределение включается четыре набора данных, содержащих 40, 80, 150 и 200 случайных чисел. В таблице 1 приведен список распределений и их параметров, которые мы использовали в работе для генерирования выборок случайных чисел. При этом четвертая группа выборок соответствует временам отказов системы с мажоритарным резервированием по принципу «2-из-3»; времена отказов блоков, входящих в эту систему, подчиняются распределению EW из таблицы 1. Пятая группа выборок соответствует временам отказов системы, в которой блок резервируется таким же блоком в холодном резерве; времена отказов отдельных блоков подчиняются распределению Вейбулла из таблицы 1.

Таблица 1 – Распределения, используемые для эксперимента

Распределение	Количество параметров	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	Параметр 4
Распределение поли-Вейбулл	4	$a=3600$	$b=0.65$	$c=8700$	$d=4.7$
Нормальное распределение	2	$\mu=5000$	$\sigma=1500$	–	–
Распределение Kw-E	3	$a=0.75$	$b=1.69$	$\gamma=0.0003$	–
Распределение EW	3	$\beta=15395$	$\gamma=3.8$	$a=0.14$	–
Распределение Вейбулла	2	$\eta=4447.45$	$\beta=1.55$	–	–

2.4 Реализация в Mathcad и анализ результатов

Реализация алгоритмов вычисления критериев и ранжирования МН проводилась в пакете прикладных программ Mathcad 15.

Выборка случайных значений времен отказов, записанная в файле Excel, записывается в вектор T . Затем производится первичный анализ выборки: определяются выборочное среднее, выборочная дисперсия, минимальное и максимальное значения (рис.8).

```
data :=  date1(40).xlsx      T := data<0>

size := length(T) = 40
MS := mean(T) = 3145.862
DS := Var(T) = 9034376.457
sS := Stdev(T) = 3005.724      min(T) = 0.06
skS := skew(T) = 0.742      max(T) = 9550.56
```

Рисунок 8—Первичный анализ выборки

На рис. 9 приведены пользовательские функции, позволяющие получить эмпирическую функцию распределения (ЭФР), пример которой приведен на рис. 10.

```
EDF(V) := | V ← sort(V)
           | for i ∈ 0..last(V)
           |   Fi ←  $\frac{i + 0.5}{\text{length}(V)}$ 
           | augment(V, F)

EDF2(x, VF) := | 0 if x < VF0,0
                | otherwise
                |   for i ∈ 0..rows(VF) - 2
                |     VFi,1 if x ≥ VFi,0 ∧ x < VFi+1,0
                |   1 if x ≥ VFrows(VF)-1,0
```

Рисунок 9 – Пользовательские функции для расчета значений и построения графика ЭФР

$$XY := EDF(T) \quad ED(x) := EDF2(x, XY)$$

$$x := 0..15000$$

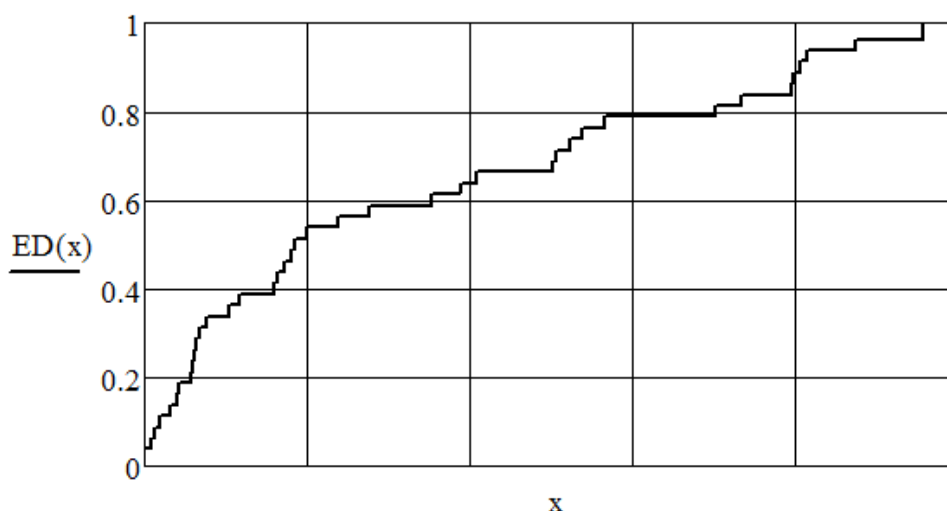


Рисунок 10 – Пример построения ЭФР

Для расчета значений критериев согласия Крамера–Мизеса–Смирнова, Ватсона и Андерсона-Дарлинга написаны пользовательские функции (рис. 11) в соответствии с выражениями (9)–(11).

$$CvMTEST(XY, F) := \frac{1}{12 \cdot \text{rows}(XY)} + \sum_{i=1}^{\text{rows}(XY)} \left(\frac{2 \cdot i - 1}{2 \cdot \text{rows}(XY)} - F(XY_{i-1,0}) \right)^2$$

$$WTEST(XY, F) := CvMTEST(XY, F) - \text{rows}(XY) \cdot \left(\frac{1}{\text{rows}(XY)} \cdot \sum_{i=1}^{\text{rows}(XY)} F(XY_{i-1,0}) - \frac{1}{2} \right)^2$$

$$ADTEST(XY, F) := -\text{rows}(XY) - \sum_{i=1}^{\text{rows}(XY)} \left[\frac{2 \cdot i - 1}{\text{rows}(XY)} \cdot (\ln(F(XY_{i-1,0})) + \ln(1 - F(XY_{\text{rows}(XY)-i,0}))) \right]$$

Рисунок 11 – Пользовательские функции для расчета значений критериев согласия

Проиллюстрируем процесс расчета значений критериев качества на примере би-Вейбулловской МН (BW). В соответствии с (30) и (31) задаем функцию распределения и функцию плотности (рис. 12)

$$F(x, a, b, c, d) := 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{a} \right)^b - \left(\frac{x}{c} \right)^d \right]$$

$$f(x, a, b, c, d) := \left[\frac{b}{a} \cdot \left(\frac{x}{a} \right)^{b-1} + \frac{d}{c} \cdot \left(\frac{x}{c} \right)^{d-1} \right] \cdot e^{- \left[\left(\frac{x}{a} \right)^b + \left(\frac{x}{c} \right)^d \right]}$$

Рисунок 12 – Интегральная и дифференциальная функции би-Вейбулловского распределения

Для того, чтобы найти точечные и интервальные оценки параметров МН с использованием ММП, задаем логарифмическую функцию правдоподобия в соответствии с (3), начальные значения оценок параметров МН, необходимые для процедуры максимизации функции правдоподобия, реализуемой в ППП Mathcad с помощью встроенной функции Maximize (рис. 13).

$$\Lambda(a, b, c, d) := \sum_{i=0}^{\text{last}(T)} \ln(f(T_i, a, b, c, d))$$

$$p0 := 3600 \quad p1 := 0.6 \quad p2 := 8700 \quad p3 := 4.5$$

$$P := \text{Maximize}(\Lambda, p0, p1, p2, p3) = \begin{pmatrix} 3513.068 \\ 0.5931 \\ 8473.4212 \\ 9.5193 \end{pmatrix}$$

Рисунок 13–Определение точечных оценок параметров модели

Получив точечные оценки параметров МН, строим график функции вероятности отказа (рис.14).

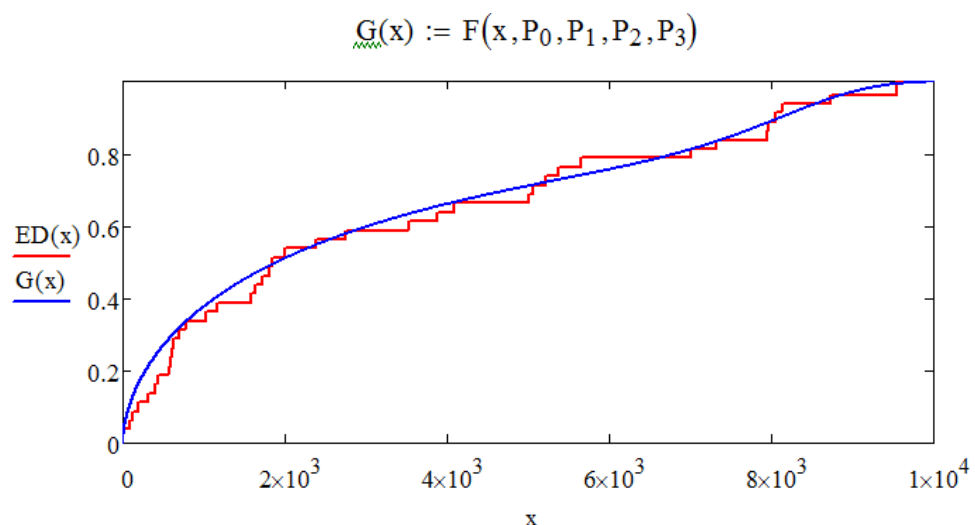


Рисунок 14 – Сравнение ЭФР и функции би-Вейбулловского распределения

Для определения интервальных оценок параметров модели, в соответствии с формулами (5) и (6), необходимо задать значение доверительной вероятности, вычислить соответствующее значения квантиля стандартного нормального распределения для двусторонней оценки. Дисперсии оценок параметров МН определяются через ковариационную матрицу по формуле (8). Выполнение этих процедур в Mathcad представлены на рис. 15.

$$\begin{aligned}
 & \underline{p} := 0.95 \quad \text{доверительная вероятность} \\
 & \underline{K}(x) := \text{qnorm}(1 - x, 0, 1) \\
 & \underline{K}\left(\frac{1 - p}{2}\right) = 1.95996 \quad \text{значение квантиля СНР} \\
 & \underline{FM}(a, b, c, d) := \left[\begin{array}{cccc} -\frac{d^2}{da^2} \Lambda(a, b, c, d) & -\frac{d}{db} \left(\frac{d}{da} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d}{dc} \left(\frac{d}{da} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d}{dd} \left(\frac{d}{da} \Lambda(a, b, c, d) \right) \\ -\frac{d}{da} \left(\frac{d}{db} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d^2}{db^2} \Lambda(a, b, c, d) & -\frac{d}{dc} \left(\frac{d}{db} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d}{dd} \left(\frac{d}{db} \Lambda(a, b, c, d) \right) \\ -\frac{d}{da} \left(\frac{d}{dc} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d}{db} \left(\frac{d}{dc} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d^2}{dc^2} \Lambda(a, b, c, d) & -\frac{d}{dd} \left(\frac{d}{dc} \Lambda(a, b, c, d) \right) \\ -\frac{d}{da} \left(\frac{d}{dd} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d}{db} \left(\frac{d}{dd} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d}{dc} \left(\frac{d}{dd} \Lambda(a, b, c, d) \right) & -\frac{d^2}{dd^2} \Lambda(a, b, c, d) \end{array} \right]^{-1} \\
 & CM := FM(P_0, P_1, P_2, P_3) = \begin{pmatrix} 1250764.607 & -14.309 & -161968.769 & -1680.282 \\ -14.309 & 0.01 & 16.416 & 0.166 \\ -161968.769 & 16.416 & 263578.32 & 1806.178 \\ -1680.282 & 0.166 & 1806.178 & 27.249 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{ковариационная} \\ \text{матрица} \end{array} \\
 & \underline{Da} := CM_{0,0} = 1250764.607 \quad \underline{Dc} := CM_{2,2} = 263578.32 \quad \text{дисперсии} \\
 & \underline{Db} := CM_{1,1} = 0.01 \quad \underline{Dd} := CM_{3,3} = 27.249
 \end{aligned}$$

Рисунок 15 – Процедура вычисления ковариационной матрицы и дисперсий оценок параметров

Полученные значения границ доверительных интервалов для параметров МН приведены на рис.16.

$$\begin{aligned}
a_L &:= \frac{P_0}{\exp\left(\frac{K(q) \cdot \sqrt{Da}}{P_0}\right)} = 1882.387 & a_R &:= P_0 \cdot \exp\left(\frac{K(q) \cdot \sqrt{Da}}{P_0}\right) = 6556.383 \\
b_L &:= \frac{P_1}{\exp\left(\frac{K(q) \cdot \sqrt{Db}}{P_1}\right)} = 0.426 & b_R &:= P_1 \cdot \exp\left(\frac{K(q) \cdot \sqrt{Db}}{P_1}\right) = 0.826 \\
c_L &:= \frac{P_2}{\exp\left(\frac{K(q) \cdot \sqrt{Dc}}{P_2}\right)} = 7524.629 & c_R &:= P_2 \cdot \exp\left(\frac{K(q) \cdot \sqrt{Dc}}{P_2}\right) = 9541.8484 \\
d_L &:= \frac{P_3}{\exp\left(\frac{K(q) \cdot \sqrt{Dd}}{P_3}\right)} = 3.25 & d_R &:= P_3 \cdot \exp\left(\frac{K(q) \cdot \sqrt{Dd}}{P_3}\right) = 27.885
\end{aligned}$$

Рисунок 16 – Полученные значения границ доверительных интервалов

На следующем этапе определяются значения критериев согласия Ватсона и Андерсона-Дарлинга, рассчитанных с помощью пользовательских функций, а также рассчитанные по формулам (12)-(15) значения информационных критериев (рис. 17).

критерии согласия

$$WTEST(XY, G) = 0.0424$$

$$ADTEST(XY, G) = 0.4988$$

информационные критерии

$$-2 \cdot \Lambda(P_0, P_1, P_2, P_3) = 703.557$$

$$AIC := -2 \cdot \Lambda(P_0, P_1, P_2, P_3) + 2 \cdot \text{param} = 711.557$$

$$CAIC := -2 \cdot \Lambda(P_0, P_1, P_2, P_3) + \frac{2 \cdot \text{param} \cdot \text{size}}{\text{size} - \text{param} - 1} = 712.7$$

$$HOIC := -2 \cdot \Lambda(P_0, P_1, P_2, P_3) + 2 \cdot \text{param} \cdot \ln(\ln(\text{size})) = 714$$

$$BIC := -2 \cdot \Lambda(P_0, P_1, P_2, P_3) + \text{param} \cdot \ln(\text{size}) = 718.313$$

Рисунок 17 – Расчет значений критериев

Эти действия повторяются для каждой МН; рассчитанные значения критериев заносятся в матрицу (таблицу).

На следующем этапе все рассматриваемые модели должны быть проранжированы по каждому из критериев. На рис. 18-19 приведены пользовательские функции Mathcad, реализующие процедуры выставления баллов, описанные в пп. 2.2.1 – 2.2.5.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Rank1}(V) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \max(V) \\ n \leftarrow \min(V) \\ s \leftarrow \frac{m - n}{10} \\ \text{for } i \in 0 \dots \text{last}(V) \\ \quad R_i \leftarrow \frac{(m - V_i)}{s} \end{array} \right. & \text{Rank2}(V) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \max(V) \\ n \leftarrow \min(V) \\ s \leftarrow \frac{\ln(m) - \ln(n)}{10} \\ \text{for } i \in 0 \dots \text{last}(V) \\ \quad R_i \leftarrow \frac{\ln(m) - \ln(V_i)}{s} \end{array} \right. \\
 \text{R} & \text{R}
 \end{array}$$

a) б)

Рисунок 18 – Пользовательские функции, реализующие тривиальный метод балльных оценок: а) простой; б) для логарифмов оценок

$$\begin{array}{ll}
 \text{Rank3}(V) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \max(V) \\ n \leftarrow \min(V) \\ s \leftarrow \frac{\ln(m - n)}{10} \\ \text{for } i \in 0 \dots \text{last}(V) \\ \quad \left| \begin{array}{l} R_i \leftarrow 0 \text{ if } V_i \leftarrow m \\ R_i \leftarrow \frac{\ln(m - V_i)}{s} \text{ otherwise} \end{array} \right. \end{array} \right. & \text{Rank4}(V, \text{step}) := \left| \begin{array}{l} V \leftarrow \text{sort}(V) \\ m \leftarrow \min(V) \\ \text{for } i \in 0 \dots \text{last}(V) \\ \quad \left| \begin{array}{l} R_i \leftarrow 10 - \log\left(\frac{V_i}{m}, \text{step}\right) \\ R_i \leftarrow 0 \text{ if } R_i < 0 \end{array} \right. \end{array} \right. \\
 \text{R} & \text{R}
 \end{array}$$

a) б)

Рисунок 19. Пользовательские функции, реализующие:

а) логарифмический метод ранжирования; б) предлагаемый метод

В этой части мы провели эксперименты для всех наборов данных с использованием методов ранжирования. Можно видеть, что используя первый метод всегда можно получить хороший результат и успешно найти самую лучшую модель. Модель Kw-E, хотя и не занимает первое место, но среди всех методов, она получила самые высокие баллы. Второй метод тоже дает хороший результат, но разница баллов у него большая. Третий и пятый метод похожие. Но поскольку балл критерий Ватсона в пятом методе положительный и разница баллов не большая, поэтому пятый метод немного лучше, чем третий. Когда проверяем неизвестные модели с помощью четвертого метода, результаты были неуспешными, поэтому не предлагаем использовать. Таким образом, мы рекомендуем первый метод для всяких случаях.

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСО- ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется главным образом коммерческой ценностью разработки, а не только ее ресурсоэффективностью и высокотехнологичными свойствами, которые в начале разработки продукта бывает достаточно трудно оценить. Высокая коммерческая ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Эти моменты важно учитывать разработчикам, которые должны представлять высокие перспективы проводимых научных исследований.

Таким образом, целью работы является проведение таких научных исследований, тема которых актуальна на сегодняшний день и отвечает современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

3.1 Календарный план работ и оценка времени их выполнения

Для выполнения исследований по данной работе создана рабочая группа, состоящая из руководителя и студента. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

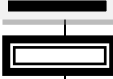
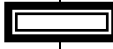
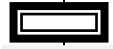
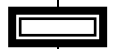
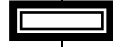
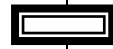
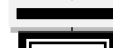
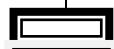
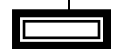
Был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, а также распределение исполнителей по данным

видам работ приведен в таблице 2. В таблице 3 представлен календарный план выполнения работ.

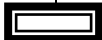
Таблица 2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность, дни
Разработка и выдача технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	1
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	10
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	1
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	1
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Исследование функции и свойств основных моделей	Инженер	15
	6	Построение моделей в пакете Mathcad на основе эксплуатационных данных	Инженер	25
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка полученных баллов моделей при помощи методов ранжирования	Руководитель, инженер	2
	8	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, инженер	2
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка пакета Mathcad в компьютера для выполнения проекта	Инженер	2
	10	Оценка эффективности работы и применения проектируемого изделия	Инженер	3
	11	Разработка правил безопасности при использовании компьютера	Руководитель, инженер	1
Изготовление и испытание макета	12	Конструирование и изготовление макета	Инженер	5
	13	Лабораторные испытания макета	Инженер	5
Оформление комплекта документации по ВКР	14	Составление пояснительной записки	Инженер	25
	15	Проверка пояснительной записки	Руководитель, инженер	2

Таблица 3 – Календарный план-график проведения ВКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ									
				Январь		Февраль				Март			
				30	31	10	11	12	27	24	26	28	30
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	1										
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	10										
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер	1										
4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	1										
5	Исследование функции и свойств основных моделей	Инженер	15										
6	Построение моделей в пакете Mathcad на основе эксплуатационных данных	Инженер	25										
7	Оценка полученных баллов моделей при помощи методов ранжирования	Научный руководитель, инженер	2										
8	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный руководитель, инженер	2										
9	Разработка пакета Mathcad в компьютера для выполнения проекта	Инженер	2										

Продолжение таблицы 3

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ						
				Март	Апрель				Май	
				30	2	3	8	13	8	10
10	Оценка эффективности работы и применения проектируемого изделия	Инженер	3							
11	Разработка правил безопасности при использовании компьютера	Научный руководитель, инженер	1							
12	Конструирование и изготовление макета	Инженер	5							
13	Лабораторные испытания макета	Инженер	5							
14	Составление пояснительной записки	Инженер	25							
15	Проверка пояснительной записки	Научный руководитель, инженер	2							

Научный руководитель - 

Инженер 

Таким образом, был оценен объем необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека - научный руководитель и инженер. Научный руководитель участвует в работе в течении 10 дней, инженер - 100 дней.

3.2 Смета затрат на проект

Затраты на выполнения проекта ($K_{пр}$) складываются из следующих составляющих:

$$K_{пр} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о.} + K_{пр} + K_{накл},$$

где K_{mat} - материальные затраты на выполнение проекта;

$K_{ам}$ -амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$ -затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$ -затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ -прочие затраты;

$K_{накл}$ -накладные расходы.

3.2.1 Материальные затраты

Материальные затраты принимаем в размере 5000 рублей на канцелярские товары.

3.2.2 Амортизация компьютерной техники

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники $K_{ам}$:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}},$$

где $T_{исп.кт}$ - время использования компьютерной техники;

$T_{кал}$ - календарное время(365 дней);

$Ц_{кт}$ -цена компьютерной техники;

$T_{сл}$ - срок службы компьютерной техники (5 лет).

Затраты и время работы компьютерной техники сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Стоимость и время работы компьютерного оборудования

Объект	Стоимость, руб.	Время использования, дней.
Компьютер	50000	100
Принтер	4000	5

Тогда амортизация составит

$$K_{\text{ам.компьютера}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{100}{365} \cdot 50000 \cdot \frac{1}{5} = 2740 \text{ руб};$$

$$K_{\text{ам.принтера}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{5}{365} \cdot 4000 \cdot \frac{1}{5} = 11 \text{ руб};$$

$$K_{\text{ам}} = K_{\text{ам.компьютера}} + K_{\text{ам.принтера}} = 2740 + 11 = 2751 \text{ руб.}$$

3.2.3 Затраты на заработную плату

Заработная плата рассчитывается для инженера и научного руководителя:

$$K_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{инж}} + 3П_{\text{нр}}$$

где $3П_{\text{инж}}$ – заработная плата инженера;

$3П_{\text{нр}}$ – заработная плата научного руководителя.

Заработная плата за месяц:

$$3П_{\text{мес}} = 3П_0 \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где $3П_0$ – месячный оклад, руб;

k_1 – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

k_2 – районный коэффициент (30%).

Заработная плата инженера (10 разряд):

$$3П_{\text{инж}} = 3П_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб},$$

Заработная плата научного руководителя (15 разряд):

$$3П_{\text{нр}} = 3П_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб},$$

Рассчитаем заработную плату за количество отработанных дней по факту:

$$3П_{\text{инж.фак}} = \frac{3П_{\text{инж}}}{21} \cdot n = \frac{24310}{21} \cdot 100 = 115762 \text{ руб},$$

$$3П_{\text{нр.фак}} = \frac{3П_{\text{нр}}}{21} \cdot n = \frac{24310}{21} \cdot 10 = 11576 \text{ руб.}$$

где n – фактическое число дней работы в проекте.

В итоге затраты на оплату труда руководителя ВКР и инженера составят:

$$K_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{инж.фак}} + 3П_{\text{нр.фак}} = 115762 + 11576 = 127338 \text{ руб.}$$

3.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные отчисления составляют 30% от $K_{з/пл}$ и равны:

$$K_{с.о.} = K_{з/пл} \cdot 0,3 = 127338 \cdot 0,3 = 38201 \text{ руб.}$$

3.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаем в размере 10% от суммы материальных и амортизационных затрат, затрат на заработную плату, а также затрат на социальные отчисления:

$$\begin{aligned} K_{пр} &= (K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о.}) \cdot 0,1 \\ &= (1000 + 2751 + 127338 + 38201) \cdot 0,1 = 16929 \text{ руб.} \end{aligned}$$

3.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы принимаем в размере 200% от затрат на заработную плату $K_{з/пл}$:

$$K_{накл} = K_{з/пл} \cdot 2 = 127338 \cdot 2 = 254676 \text{ руб.}$$

Составим итоговую смету затрат на выполнения проекта:

Таблица 5 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизационные затраты	2751
Затраты на заработную плату	127338
Социальные отчисления	38201
Прочие затраты	16929
Накладные расходы	254676
Итого:	440895

В данной работе были исследованы методы для выбора самой лучшей модели в пакете Mathcad на основе эксплуатационных данных. В процессе исследования были получены оценки статистических критериев согласия и информационных критериев для всех моделей при помощи наборов данных. Используя методы ранжирования мы можем идентифицировать наилучшую

модель надежность. Из 13 распределений нам нужно выбрать модель, которая получит самый высокий балл. Область применения - статистические методы теории надежности.

4 Социальная ответственность при выполнении работы с использованием компьютера

Социальная ответственность или корпоративная социальная ответственность (как морально-этический принцип) – ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров (IC CSR 26000:2011 [18]).

Данная выпускная квалификационная работа представлена научно-исследовательской работой, во время выполнения которой осуществлялась обработка результатов анализов, построение карт и набор текста на персональном компьютере, поэтому в разделе «Производственная безопасность при проведении геоэкологических исследований» рассматривается «Производственная безопасность при работе на персональных компьютерах».

Цель данного раздела: проанализировать опасные и вредные факторы при данном виде производственной деятельности и решить вопросы обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативно-технических документов.

Работа бакалавра относится к категории умственного труда и по степени физической тяжести относится к категории лёгких работ (работа производится сидя и не требует физического напряжения, при которых расход энергии составляет до 120 ккал/час.).

Работа проводилась в кафедре Автоматики и Компьютерной сети на кибернетическом институте Национального Исследовательского Томского Политехнического Университета. Для выполнения выпускной квалификационной работы на тему «выбора модели надёжности технических систем в пакете Mathcad на основе эксплуатационных данных» проводилось исследование на компьютере.

4.1. Техногенная безопасность в компьютерном помещении

Работы на электронно-вычислительных машинах проводятся в помещении, соответствующем требованиям Санитарных правил и норм (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [19]).

Рабочее место расположено в аудитории на первом этаже здания, имеет естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место с ПЭВМ составляет не менее 6 м^2 , а объем – не менее 20 м^3 . В рабочей аудитории расположены два персональных компьютера. Помещение оборудовано системами отопления, эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. Система отопления обеспечивает постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещении в холодный период года. Система вентиляции обеспечивает постоянный приток свежего воздуха. Минимальный расход воздуха составляет $50\text{-}60 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного работающего, воздухообмен за 1 час двух-трёхкратный (СНиП 2.04.05-91). Для выявления факторов опасности при работе на компьютере производится анализ классификации факторов опасности по ГОСТ 12.0.003-74 [20] (таблица 6).

Таблица 6 – Основные элементы производственного процесса камеральных работ, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ) [22]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
1. Постоянная сидячая работа в помещении за компьютером. Обработка информации на персональном компьютере (обработка	1. Отклонение показателей микроклимата в помещении; 2. Недостаточная освещённость рабочей зоны;	1. Электробезопасность	1. ГОСТ 12.1.005-88 [21] 2. СанПиН 2.2.4.548-96 [22] 3. СНиП 23-05-95 [23] 4. ГОСТ 12.1.019-79 [24] 5. ГОСТ 12.1.038-82 [25] 6. ГОСТ 12.1.004-91 [26] 7. ГОСТ 12.1.003-83 [27]
набора данных; написание анализа)	3. Монотонный режим работы; 4. Превышение уровней шума; 5. Превышение уровней электромагнитных излучений.		

Примечание: Пожароопасность в п. 5.4, как ЧС.

4.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Отклонение показателей микроклимата в помещении. Микроклиматические параметры – это сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Эти параметры в значительной степени влияют на функциональную деятельность человека, его самочувствие, здоровье, а также и на надёжность работы вычислительной техники. С целью создания нормальных условий для персонала установлены нормы производственного микроклимата. В производственных помещениях, в которых работа на ПЭВМ

является основной, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [22] должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата.

Занесём показатели температуры, влажности и скорости воздуха в таблицу 7.

Таблица 7 – Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ВДТ и ПЭВМ (СанПиН 2.2.4.548-96 [22])

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Ia	22	22-24	45	40-60	0.1	0.1
Тёплый	Ia	25	23-25				

Так как в помещении работают инженеры-программисты, то категория тяжести выполняемых работ – Ia.

Анализ характеристик микроклимата будем производить согласно ГОСТ 12.1.005-88 [21].

Согласно замерам, все показатели соответствуют нормам. Для поддержания в помещении нужных значений температуры, влажности и скорости движения воздуха используются отопление и кондиционер.

Недостаточная освещённость рабочей зоны. В помещении, где находится рабочее место, есть естественное и искусственное освещение. Естественное освещение осуществляется через свет проёмы, ориентированные на восток и запад. Естественное освещение нормируется по «коэффициенту естественной освещённости» (КЕО) или (е) естественного освещения. Коэффициент естественной освещённости равен:

$$КЕО = \frac{E}{E_0} \cdot 100\%$$

где E – освещённость (измеренная) на рабочем месте, лк; E_0 – освещённость на улице (при среднем состоянии облачности), лк. Обеспечивается коэффициент естественного освещения (КЕО) не ниже 1,5%.

Искусственное освещение подразделяется на общее и местное. При общем освещении светильники устанавливаются в верхней части помещения параллельно стене с оконными проёмами, что позволяет их включать и отключать последовательно в зависимости от изменения естественного освещения. Выполнение таких работ, как, например, обработка документов, требует дополнительного местного освещения, концентрирующего световой поток непосредственно на орудия и предметы труда. Освещённость на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должен быть 300-500 лк. В зоне рабочего места освещённость должна составлять 300-500 лк, яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, $<200 \text{ кд/м}^2$, коэффициент пульсации $<5\%$ СНиП 23-05-95 [23].

Одним из методов для расчёта искусственного освещения является метод светового потока, который используется для определения общего равномерного освещения на горизонтальной поверхности. Световой поток от лампы накаливания или группы разрядных ламп, образующих светильник, рассчитывают по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{100 \cdot E_{\text{н}} \cdot S \cdot K \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы или группы ламп, лм; N – число светильников в помещении, шт; $E_{\text{н}}$ – нормированная минимальная освещённость, лк. S – площадь освещаемого помещения, м^2 ; Z – коэффициент минимальной освещённости, равный отношению $E_{\text{сп}}/E_{\text{мн}}$, значение которого для ламп накаливания составляет 1,15, а для люминесцентных ламп – 1,1; K – коэффициент запаса, составляющий для ламп накаливания 1,3-1,6 и для разрядных ламп – 1,4-1,8; η – коэффициент использования светового потока ламп. Световой поток группы ламп 2150 лк.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомлённости. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Все эти причины могут привести к несчастному случаю или профзаболеваниям, поэтому столь важен правильный расчёт освещённости.

Расчёт освещённости помещения. Одним из методов для расчёта искусственного освещения является метод светового потока. Он используется для определения общего равномерного освещения на горизонтальной поверхности.

Рассчитаем искусственную освещённость в рабочем кабинете и сравним её с нормами освещённости на рабочем месте согласно СНиП 23-05-95 «Нормы освещённости на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении» [23].

Данное помещение имеет следующие размеры: длина $A = 4,1$ м, ширина $B = 3$ м, высота $H = 2,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_{rp} = 0,9$ м. В кабинете используется система общего равномерного освещения. Светильники размещены в два ряда. В каждом ряду установлено 2 светильника типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составляют 50 см. Изобразим схему помещения и размещения на нём светильников (Рисунок 20). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 8$. В светильниках установлены люминесцентные лампы белой цветности (ЛБ) мощностью 40 Вт, работающие от сети напряжением 220 В, и обеспечивающие световой поток $\Phi = 2800$ лм.

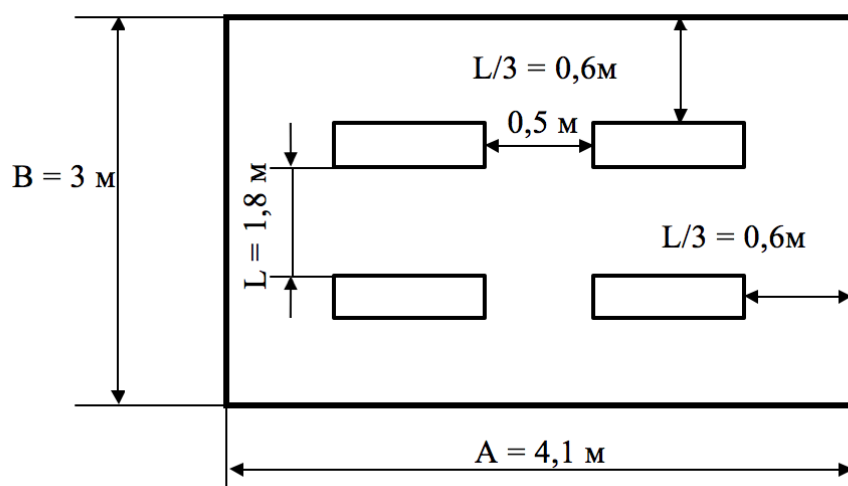


Рисунок 20 – Схема размещения светильников в помещении.

Коэффициент отражения стен (оклеены светлыми обоями) $R_s = 50 \%$, потолка (свеж побеленный) $R_n = 70\%$. Коэффициент запаса $k = 1,5$ для помещений с малым выделением пыли, коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп принимается равным $Z = 1,1$.

Высота светильника в среднем $h = 1,3$ м.

$$h = 1,3 \text{ м}; L = 1,8 \text{ м}; L/3 = 0,6 \text{ м}.$$

Освещённость в помещении определяется по формуле:

$$E = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_s \cdot Z}$$

где Φ – световой поток одной лампы, лм; S – площадь освещаемого помещения, м^2 ; K_s – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли; Z – коэффициент неравномерности освещения; N – число ламп в помещении; η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса

помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен c и потолка p .

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}$$
$$i = \frac{12,3}{1,3(4,1 + 3)} = 1,33$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,44$.

Определяем освещённость в помещении:

$$E = \frac{2800 \cdot 8 \cdot 0,44}{12,3 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 485,6$$

Согласно СНиП 23-05-95 «Нормы освещённости на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении» [23] зрительная работа в данном кабинете относится к классу наивысшей точности, так как наименьший размер объекта различения на экране компьютера менее 0,15 мм (точка). Разряд зрительной работы – I, подразряд – г (контраст объекта с фоном средний, большой; фон – светлый, средний). Для данных параметров устанавливается норма освещённости – 300-400 лк при системе общего освещения.

Из полученных нами результатов можно сделать вывод, что данный рабочий кабинет с учётом выполняемой в нём зрительной работы, соответствует нормам освещённости, устанавливаемыми СНиП 23-05-95 [23].

Для обеспечения нормируемых значений освещённости в помещениях использования ПЭВМ следует проводить чистку стёкол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп. Для защиты от избыточной яркости окон могут быть применены занавеси, шторы.

Монотонный режим работы. Известно, что работоспособность не является величиной постоянной, она изменяется. Основной причиной изменения

работоспособности является сама работа. Обычно работоспособность снижается при более или менее длительном её выполнении. Снижение работоспособности под влиянием выполненной работы принято считать утомлением. При этом имеется немало данных, свидетельствующих о том, что помимо самой рабочей нагрузки в реальной трудовой деятельности на работоспособность определённым образом влияют и неблагоприятные условия труда, в том числе такие, которые вытекают из характера самой выполняемой работы. Так, широко известно влияние на работоспособность фактора монотонности.

Применяющиеся показатели можно разделить на «объективные» и «субъективные». К объективным показателям работоспособности обычно относят: а) изменения количественных и качественных показателей труда, б) изменения функционального состояния нервной системы. К субъективным показателям относят ощущения усталости, вялости, болезненные ощущения. Эти субъективные переживания свидетельствуют о тех психических состояниях, которые развиваются при снижении работоспособности. Психическое состояние при утомлении обозначается обычно термином «усталость». Кроме этого состояния в процессе трудовой деятельности могут иметь место и другие психические состояния, связанные с особой заинтересованностью в результатах работы или, наоборот, безразличием к ним, состояние тревожности и др. Все эти состояния накладывают свой отпечаток и на соответствующие субъективные показатели.

Неблагоприятное влияние монотонности на работоспособность проявляется, естественно, во всех показателях работоспособности. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что при монотонной работе наблюдается более раннее появление и объективных, и субъективных признаков снижения работоспособности.

Различие в динамике работоспособности при немонотонной и монотонной работе дало основание ряду исследователей прийти к выводу о том, что при монотонной работе развивается особое специфическое состояние,

получившее название монотонии, отличное от состояния собственно утомления, со своими особыми физиологическими механизмами.

Согласно мнению большинства исследователей, торможение, развивающееся в ЦНС при утомлении, является результатом перегрузки соответствующих мозговых систем и играет защитную, охранительную роль, предупреждая их чрезмерное истощение.

Для того, чтобы избежать утомляемости необходимо делать каждые 2 часа 15 минутные перерывы, а также желательно стараться более 4 часов не заниматься одной и той же работой, необходимо менять занятие и обстановку.

Превышение уровней шума. Сильный шум вызывает трудности в распознавании цветовых сигналов, снижает быстроту восприятия цвета, остроту зрения, зрительную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, снижает способность быстро и точно выполнять координированные движения, уменьшает на 5 – 12% производительность труда. Длительное воздействие шума с уровнем звукового давления 90 дБ снижает производительность труда на 30 – 60%. Согласно ГОСТ 12.1.003-83 [27] с изм. 1999 г. эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА.

Оборудование, производящее вибрацию в рабочем помещении отсутствует, поэтому эту характеристику рассматривать не будем. Наибольший уровень звука у работающего кондиционера, он составляет 40 дБА.

В рабочем помещении по замерам уровень звука составляет 25-40 дБА, в зависимости от того, работает или нет кондиционер. Соответственно уровень звука находится в номе. Для дальнейшего его снижения можно предложить следующие мероприятия:

- применить звукопоглощающее покрытие стен;
- экранировка рабочего места;
- установка менее шумного кондиционера.

Превышение уровней электромагнитных излучений. Источниками электромагнитного излучения являются электрические сигналы цепей при

работе компьютера. Нарушения в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер. При воздействии полей, имеющих напряжённость выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной и сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Наиболее мощным источником электромагнитных полей в помещении являются катушки отклоняющих систем, находящихся около цокольных частей электронно-лучевых трубок мониторов.

Нормы напряжённости электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг монитора по электрической составляющей, соответствующие [19], приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Нормы напряжённости поля

Наименование параметров	Допустимые значения
Напряжённость электромагнитного поля на расстоянии 50 см. Вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: — в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц — в диапазоне частот 2—400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: - в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц - в диапазоне частот 2-400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не	500 В

Для выполнения норм предельно допустимой напряжённости электромагнитного поля расстояние от глаз до монитора должно быть 60-70 см, но не менее 50 см. Увеличение расстояния в 2 раза приводит к 32-кратному уменьшению плотности мощности на низких частотах на оператора.

Последние достижения науки в области производства мониторов позволяют значительно снизить уровень излучения. Использование современных ЭЛТ-мониторов и ЖК-мониторов гарантирует минимальные значения напряжённости электромагнитных полей вблизи экранов (менее 10 В/м в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц и менее 1 В/м в диапазоне частот 2-400 кГц).

4.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Анализ вредных факторов проводим по составленной для нашей работы таблице 6.

Электрический ток. Электрические установки, к которым относится практически все оборудование ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Специфическая опасность электроустановок – токоведущие проводники, корпуса стоек ЭВМ и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждают человека об опасности. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании последнего через тело человека. Электрический ток представляет собой скрытый тип опасности, т.к. его трудно определить в токо- и нетоковедущих частях оборудования, которые являются хорошими проводниками электричества. Смертельно опасным для жизни человека считают ток, величина которого превышает 0,05А, ток менее 0,05А – безопасен (до 1000 В).

Для предотвращения электротравматизма большое значение имеет правильная организация работ, т.е. соблюдение Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ и ПТБ потребителей) и Правил устройства электроустановок (ПУЭ). Для предотвращения электротравм

следует соблюдать требования, предъявляемые к обеспечению электробезопасности работающих на ПЭВМ:

- все узлы одного персонального компьютера и подключённое к нему периферийное оборудование должно питаться от одной фазы электросети;
- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;
- для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный пункт с автоматами и общим рубильником;
- все соединения ПЭВМ и внешнего оборудования должны проводиться при отключённом электропитании.

Основными мероприятиями, направленными на ликвидацию причин травматизма, относятся: систематический контроль за состоянием изоляции электропроводов, кабелей и т.д.

Разработка инструкций по техническому обслуживанию и эксплуатации средств вычислительной техники и контроль за их соблюдением;

1. соблюдение правил противопожарной безопасности;
2. своевременное и качественное выполнение работ по проведению планово-профилактических работ и предупредительных ремонтов.

4.2. Региональная безопасность

Под охраной окружающей среды понимают совокупность международных, государственных и региональных правовых актов, инструкций и стандартов, доводящих общие юридические требования до каждого конкретного загрязнителя и обеспечивающих его заинтересованность в выполнении этих требований, конкретных природоохранных мероприятий по претворению в жизнь этих требований.

Охрана окружающей природной среды складывается из:

- правовой охраны, формулирующей научные экологические принципы в виде юридических законов, обязательных для исполнения;
- материального стимулирования природоохранной деятельности,

стремящегося сделать её экономически выгодной для предприятий;

- инженерной охраны, разрабатывающей природоохранную и ресурсосберегающую технологию и технику.

Основными принципами охраны окружающей среды являются:

- приоритет обеспечения благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха населения;
- научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества;
- учёт законов природы и возможностей самовосстановления и самоочищения её ресурсов.

Деятельность человека причиняет ущерб окружающей среде, а потому перед обществом стоит задача сделать это воздействие наименее пагубным.

В процессе трудовой деятельности в вычислительных центрах, также, как и обычной жизнедеятельности, человек является источником твёрдых бытовых отходов. Эти отходы, как пищевые, так и промышленные, сильно загрязняют окружающую среду.

Как правило, в качестве промышленных отходов выступают бумага, диски, строительные отходы, коробки и т.п. Этот мусор с другими отходами вывозится на территории, выделенные под складирование бытовых отходов.

Другие факторы, влияющие на окружающую природную среду, в процессе создания НИР отсутствуют.

4.3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности

4.3.1. Требования к помещениям для работы с ПЭВМ

Негативное воздействие на человека ПЭВМ заключается в том, что к концу рабочего дня операторы ощущают головную боль, резь в глазах, тянущие боли в мышцах шеи, рук, спины, зуд кожи лица. Со временем это приводит к мигреням, частичной потери зрения, сколиозу, кожным воспалениям и т.д. У людей, просиживающих у ПЭВМ от 2 до 6 часов в день, резко возрастают шансы заработать болезнь верхних дыхательных путей, получить неожиданный

инфаркт или инсульт. Результаты показали, что наиболее «рисковыми» пользователями ПЭВМ являются дети и беременные женщины СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [19].

Санитарно-гигиенические требования к помещениям для эксплуатации ПЭВМ согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [19] следующие: рабочие места с ПЭВМ требуется располагать во всех помещениях, кроме подвальных, с окнами, выходящими на север и северо-восток. В зависимости от ориентации окон рекомендуется следующая окраска стен и пола помещения:

- окна ориентированы на юг - стены зеленовато-голубого или светло-голубого цвета, пол - зелёный;
- окна ориентированы на север - стены светло-оранжевого или оранжево-жёлтого цвета, пол - красновато-оранжевый;
- окна ориентированы на восток и запад - стены жёлто-зелёного цвета, пол зелёный или красновато-оранжевый.

Пол помещения должен быть ровный, антистатический. Отделка помещения полимерными материалами производится только с разрешения Госсанэпиднадзора. В образовательных помещениях запрещается применять полимерные материалы (ДСП, слоистый пластик, синтетические ковровые покрытия и т.д.), выделяющие в воздух вредные химические вещества. В помещении должны быть медицинская аптечка и углекислый огнетушитель. Расстояние между боковыми поверхностями мониторов - не менее 1,2 м. Оконные проёмы должны иметь регулирующие устройства (жалюзи, занавески). Компьютер нужно установить так, чтобы на экран не падал прямой свет (иначе экран будет отсвечивать, что является вредным для экрана). Оптимальное положение на работе - боком к окну, желательно левым.

4.3.2. Общие требования к организации и оборудованию рабочих

мест пользователей ПЭВМ

Конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования (рисунок 21). Высота рабочей поверхности стола составляет 725 мм. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм. Конструкция рабочего стола поддерживает рациональную рабочую позу при работе с ПЭВМ, позволяет изменить позу с целью снижения статистического направления мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения утомления. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закруглённым передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперёд до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки 30 ± 20 мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$;
- стационарные или съёмные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – 45-70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм.

Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифлёной и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

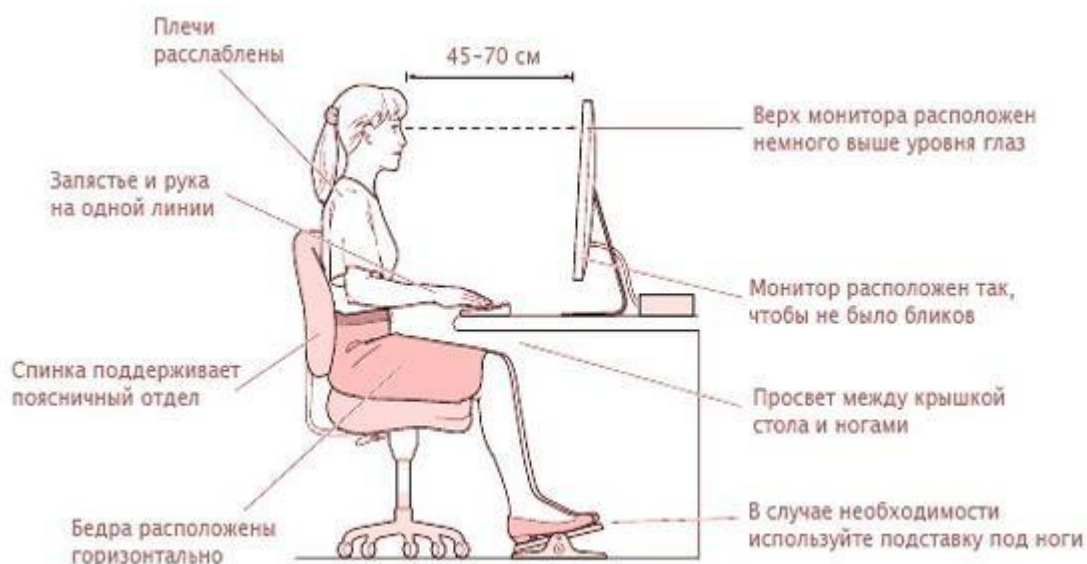


Рисунок 21 – Основные требования к организации рабочего места.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращённого к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделённой от основной столешницы. К работе с ПЭВМ допускаются лица, прошедшие предварительный и периодический медицинский осмотр, проверку знаний на третью группу допуска по электробезопасности, изучившие инструкцию и расписавшиеся в «Журнале инструктажа по правилам охраны труда на рабочем месте». Для обеспечения оптимальной работоспособности, сохранения здоровья пользователей ЭВМ на протяжении смены устанавливается следующий регламент работ: для преподавателей, сотрудников, студентов (старших курсов) непосредственная работа не более двух часов с обязательным перерывом не менее 20 минут, общая продолжительность работы – не более 4-х часов в день.

4.3.3

Режим труда и отдыха при работе с ПЭВМ

Согласно СанПиНу, режимы труда и отдыха при работе с ВДТ и ПЭВМ зависит от вида и категории трудовой деятельности. При этом виды трудовой деятельности делят на три группы (А, Б и В). К группе А относят работы по считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным запросом; Б - работа по вводу информации; В - творческая работа в режиме диалога с ЭВМ. Для указанных видов трудовой деятельности устанавливаются три категории (I, II и III) тяжести и напряжённости работы с ВДТ и ПЭВМ. Например, для группы А категории I-III определяются по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60000 знаков за смену (СанПиН 2.2.4. 548-96 [22]). Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья профессиональных пользователей должны устанавливаться. После каждого часа работы за компьютером следует делать перерыв на 5-10 минут. Глаза начинают уставать уже через час после непрерывной работы с компьютером. Снимать утомление глаз можно даже во время работы в течение нескольких секунд поворачивая ими по часовой стрелке и обратно. Это следует чередовать с лёгкими гимнастическими упражнениями для всего тела. Ежедневная работа высокой интенсивности и с неверно-эмоциональным напряжением по 12 и более часов не допускается.

Обучение и инструктаж персонала, разработка инструкций по охране труда должны соответствовать требованиям. В инструкции должны быть отражены безопасные приёмы, порядок допуска к работе, перечислены опасные и вредные производственные факторы. К самостоятельной работе с ВДТ и ПЭВМ допускаются сотрудники, изучившие порядок их эксплуатации, прошедшие первичный инструктаж на рабочем месте и аттестацию по электробезопасности с присвоением второй квалификационной группы.

4.4. Особенности законодательного регулирования проектных

решений

При реализации данного технологического решения, представленного в ВКР, был разработан комплекс мер по обеспечению безопасности труда при работе на данном объекте. При разработке данных мер были использованы следующие нормативные документы:

1. ГОСТ 12.1.005-88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
2. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
3. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
4. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
7. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования (01. 07.92).

4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожар в организации представляют собой большую опасность, так как сопряжён с большими материальными потерями. Пожар может начаться при взаимодействии горючих веществ, окисления и источников зажигания.

Пожар может возникнуть из-за:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использования повреждённых электроприборов;
- использования в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- попадания молнии в здание;
- неаккуратного обращения с огнём и несоблюдения мер пожарной

безопасности.

Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03), в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества помещения делятся на категории А, Б, В, Г, Д.

Данное помещение относится к категории В, поскольку горючие вещества и материалы находятся в твёрдом состоянии без выделения пыли.

Для тушения пожара имеются пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители и сухой песок.

Вода используется для тушения пожаров в помещениях программистов только в случае опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего оборудования. При этом, по возможности, необходимо защитить компьютеры от попадания влаги.

Для тушения пожаров на начальных стадиях широко применяются огнетушители. Поэтому в отделах с ПЭВМ применяются главным образом углекислотные огнетушители, достоинством которых является высокая эффективность тушения пожара и сохранность электронного оборудования. Благодаря диэлектрическим свойствам углекислого газа можно использовать эти огнетушители даже в том случае, когда не удаётся обесточить электроустановку сразу.

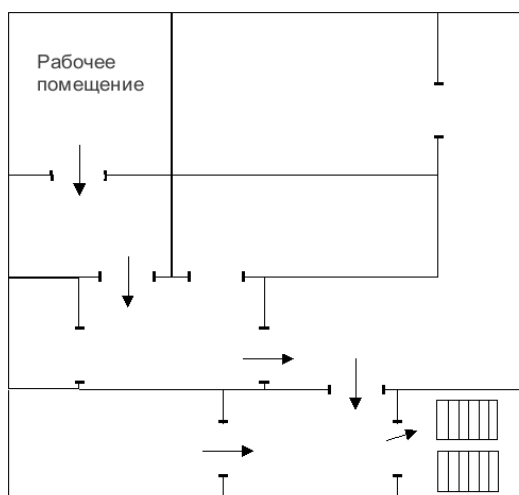


Рисунок 22 – План эвакуации

Для предотвращения возникновения пожара с работниками здания проводятся специальные семинары, на которых происходит знакомство с

основами противопожарной безопасности и обучение работе с первичными средствами пожаротушения.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами и самостоятельно погасить начинающийся пожар. Иначе, если пожар потушить не представляется возможным, то по возможности, необходимо обесточить помещение, вызвать пожарную команду, а также согласно плану эвакуации (рисунок 22) вывести людей на улицу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был предложен метод выбора модели надежности по имеющимся данным об отказах оборудования. Используя встроенные и пользовательские функции ППП Mathcad, был создан шаблон, позволяющий

- проводить первичный статистический анализ данных об отказах;
- рассчитывать значения точечных и интервальных оценок параметров моделей надежности с использованием метода максимального правдоподобия;
- рассчитывать значения основных показателей надежности и строить графики их зависимости от времени;
- вычислять значения статистик критериев согласия Крамера-Мизеса-Смирнова, Ватсона и Андерсона-Дарлинга, а также информационных критериев;
- проводить выбор наилучшей модели надежности из предложенного списка моделей, основываясь на различных процедурах ранжирования.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании новых технических систем или при анализе эксплуатационной надежности существующих систем, в частности для определения оптимальных сроков планового (профилактического) ремонта.

Результаты работы также могут быть использованы при изучении дисциплин «Диагностика и надежность автоматизированных систем», «Математические основы теории систем» и «Моделирование систем управления» в рамках образовательной программы по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

CONCLUSION

As a result of presented graduation thesis the method of reliability model selection was introduced based on failure data of an equipment. Using built-in and user-defined functions of Mathcad computer software, the template was developed which allows

- performing primary analysis of failure data samples;
- calculating values of point and interval estimates of reliability models parameters by the method of maximum likelihood;
- evaluating essential reliability measures and plotting their time curves;
- calculating values of several goodness-of-fit test statistics, such as Cramer-von Mises criterion, Watson test and Anderson-Darling test, and various information criteria;
- performing selection of the best reliability model among given set, based on various ranking procedures.

The results obtained could be helpful when designing new technical systems, analyzing reliability of existing ones, and, in particular, when determining the optimal time period between preventive maintenances.

These results could as well be used when studying courses of “Diagnostics and Reliability of Automated Systems”, “Mathematical Apparatus of System Theory” and “Modeling of Control Systems” included in educational program 15.03.04 “Workflow and Production Automation”.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Острейковский, Владислав Алексеевич. Теория надежности : учебник для вузов / В. А. Острейковский. — М: Высшая школа, 2003. — 463 с.
2. Тимошенко, Сергей Петрович. Основы теории надежности : учебник и практикум для академического бакалавриата / С. П. Тимошенко, Б. М. Симонов, В. Н. Горошко; Национальный исследовательский университет Московский государственный институт электронной техники (МИЭТ). — М: Юрайт, 2015. — 446 с.
3. Половко, Анатолий Михайлович. Основы теории надежности : учебное пособие для вузов / А. М. Половко, С. В. Гуров. — 2-е изд., перераб. и доп.. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 702 с.
4. Боровков, Александр Алексеевич. Математическая статистика : учебник / А. А. Боровков. — 3-е изд., испр.. — М: Физматлит, 2007. — 704 с.
5. Браилов, Андрей Владимирович. Лекции по математической статистике : учебное пособие / А. В. Браилов; Финансовая академия при Правительстве Российской Федерации, Кафедра математики и финансовых приложений. — М: Финакадемия, 2007. — 172 с.
6. Сухорученков, Борис Иванович. Анализ малой выборки. Прикладные статистические методы / Б. И. Сухорученков. — М: Вузовская книга, 2010. — 384 с.
7. Кибзун, Андрей Иванович. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами : учебное пособие / А. И. Кибзун, Е. Р. Горяинова, А. В. Наумов. — 2-е изд., перераб. и доп.. — М: Физматлит, 2005. — 232 с.
8. Трухан, Александр Алексеевич. Теория вероятностей в инженерных приложениях : учебник / А. А. Трухан, Г. С. Кудряшев. — 4-е изд., перераб. и доп.. — СПб: Лань, 2015. — 364 с.
9. Григорьев-Голубев, В. В.. Теория вероятностей и математическая статистика. Руководство по решению задач : учебник для вузов / В. В. Григорьев-Голубев, Н. В. Васильева, Е. А. Кротов. — СПб: БХВ-Петербург, 2014. — 251 с.

10. Сидняев, Николай Иванович. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : учебное пособие для вузов / Н. И. Сидняев. — М: Юрайт, 2011. — 390 с.
11. Тюрин, Юрий Николаевич. Анализ данных на компьютере : учебное пособие / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров. — 4-е изд., перераб.. — М: Форум, 2008. — 368 с.
12. Большев, Логин Николаевич. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. — 3-е изд.. — М: Наука, 1983. — 415 с.
13. Akaike, H. A new look at the statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control, 1974, Vol. 19, Iss. 6, pp. 716-723.
14. Burnham, K.P., Anderson, D.R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach / Burnham, K.P., Anderson, D.R. — 2nd ed. — New York: Springer-Verlag, 2002. — 488 p.
15. Гнеденко, Борис Владимирович. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. — 2-е изд., испр. и доп.. — М: Либроком, 2013. — 582 с.
16. Afify A Z, Cordeiro G M, Butt N S, Ortega E M M and Suzuki A K. A new lifetime model with variable shapes for the hazard rate // Brazilian Journal of Probability and Statistics, 2016, Vol. 30, Iss. 3, pp. 366-384.
17. Гусев А. Н., Измайлов Ч.А., Михалевская М.Б. Измерение в психологии: общий психологический практикум. / 2-е изд. -- М.: Смысл, 1998. - 286 с.
18. ИС CSR 26000:2011 Социальная ответственность организации.
19. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
20. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
21. ГОСТ 12.1.005-88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).

22. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
23. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
24. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
25. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
26. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
27. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования (01. 07. 92).

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)

Значения критериев качества моделей

Таблица А.1 – Значения критериев качества модели поли-Вейбулла (n=40)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.3238	2.1205	753.164	757.164	757.489	758.386	760.542
1	"Lognormal"	0.4184	3.3313	747.698	751.698	752.022	752.919	755.076
2	"Log-logistic"	0.1228	1.4232	732.342	736.342	736.666	737.563	739.72
3	"Weibull"	0.0635	0.9333	718.32	722.32	722.645	723.542	725.698
4	"Harris EE"	0.069	0.5102	707.151	713.151	713.817	714.983	718.217
5	"KwE"	0.0549	0.5485	709.742	715.742	716.409	717.574	720.809
6	"GCEG"	0.0537	0.9252	721.136	727.136	727.803	728.968	732.203
7	"ECEG"	0.0933	0.6082	708.925	714.925	715.592	716.757	719.992
8	"EW"	0.0656	0.9645	716.052	722.052	722.719	723.884	727.119
9	"CWG"	0.0693	0.62	712.843	718.843	719.51	720.675	723.91
10	"Add Weibull"	0.0849	0.5966	708.562	716.562	717.705	719.005	723.318
11	"2Weibull"	0.0424	0.4988	703.557	711.557	712.7	714	718.313
12	"Kw-CWG"	0.0864	0.5536	706.964	716.964	718.729	720.018	725.409

Таблица А.2 – Значения критериев качества модели поли-Вейбулла (n=80)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.5023	3.3979	1508.404	1512.404	1512.56	1514.314	1517.168
1	"Lognormal"	0.4613	3.5273	1467.388	1471.388	1471.544	1473.298	1476.152
2	"Log-logistic"	0.2577	2.4985	1462.894	1466.894	1467.05	1468.804	1471.658
3	"Weibull"	0.1388	1.3496	1438.833	1442.833	1442.989	1444.743	1447.597
4	"Harris EE"	0.2685	3.6317	1447.556	1453.556	1453.872	1456.421	1460.702
5	"KwE"	0.0672	0.6048	1431.32	1437.32	1437.636	1440.185	1444.466
6	"GCEG"	0.2724	3.7361	1447.576	1453.576	1453.892	1456.441	1460.722
7	"ECEG"	0.0489	0.353	1426.849	1432.849	1433.165	1435.714	1439.995
8	"EW"	0.0414	0.3388	1423.736	1429.736	1430.051	1432.601	1436.882
9	"CWG"	0.0971	0.923	1435.17	1441.17	1441.486	1444.035	1448.316
10	"Add Weibull"	0.0397	0.2883	1425.023	1433.023	1433.556	1436.843	1442.551
11	"2Weibull"	0.0318	0.2528	1421.4	1429.4	1429.934	1433.22	1438.928
12	"Kw-CWG"	0.0236	0.1983	1421.011	1431.011	1431.822	1435.786	1442.921

Таблица А.3 – Значения критериев качества модели поли-Вейбулла (n=150)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.8595	6.1894	2827.107	2831.107	2831.189	2833.553	2837.128
1	"Lognormal"	0.9974	7.0465	2779.195	2783.195	2783.277	2785.642	2789.216
2	"Log-logistic"	0.4364	3.9795	2750.017	2754.017	2754.098	2756.463	2760.038
3	"Weibull"	0.1658	1.6238	2704.269	2708.269	2708.351	2710.715	2714.29
4	"Harris EE"	0.2036	3.3321	2714.222	2720.222	2720.387	2723.892	2729.254
5	"KwE"	0.0532	0.5516	2688.797	2694.797	2694.961	2698.466	2703.829
6	"GCEG"	0.1978	3.5397	2714.309	2720.209	2720.474	2723.979	2729.341
7	"ECEG"	0.0477	0.3297	2685.143	2691.143	2691.308	2694.813	2700.175
8	"EW"	0.0454	0.4351	2685.363	2691.363	2691.528	2695.033	2700.395
9	"CWG"	0.0687	0.7429	2694.037	2700.037	2700.201	2703.706	2709.069
10	"Add Weibull"	0.2171	2.0795	2704.865	2712.865	2713.141	2717.758	2724.908
11	"2Weibull"	0.0491	0.3306	2683.724	2691.724	2692	2696.617	2703.767
12	"Kw-CWG"	0.0476	0.4275	2687.684	2697.684	2698.1	2703.799	2712.737

Продолжение приложения А

Таблица А.4 – Значения критериев качества нормальной модели (n=80)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.0298	0.196	1396.072	1400.072	1400.228	1401.982	1404.836
1	"Lognormal"	0.1543	1.2949	1410.603	1414.603	1414.759	1416.513	1419.367
2	"Log-logistic"	0.0602	0.6411	1404.607	1408.607	1408.763	1410.517	1413.371
3	"Weibull"	0.0374	0.2472	1396.085	1400.085	1400.241	1401.995	1404.849
4	"Harris EE"	0.0312	0.2166	1396.89	1402.89	1403.206	1405.755	1410.036
5	"KwE"	0.0359	0.2602	1396.826	1402.826	1403.142	1405.691	1409.972
6	"GCEG"	0.0295	0.1921	1396.868	1402.868	1403.183	1405.733	1410.014
7	"ECEG"	0.0311	0.187	1396.749	1402.749	1403.064	1405.614	1409.895
8	"EW"	0.035	0.2345	1396.035	1402.035	1402.351	1404.9	1409.181
9	"CWG"	0.036	0.2415	1396.06	1402.06	1402.376	1404.925	1409.206
10	"Add Weibull"	0.4431	3.8956	1415.018	1423.018	1423.551	1426.838	1432.546
11	"2Weibull"	0.0379	0.2512	1396.069	1404.069	1404.602	1407.889	1413.597
12	"Kw-CWG"	0.0427	0.2503	1397.845	1407.845	1408.656	1412.62	1419.755

Таблица А.5 – Значения критериев качества нормальной модели (n=150)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.0298	0.196	1396.072	1400.072	1400.228	1401.982	1404.836
1	"Lognormal"	0.272	2.333	2643.897	2647.897	2647.978	2650.343	2653.918
2	"Log-logistic"	0.1616	1.4329	2636.187	2640.187	2640.269	2642.633	2646.208
3	"Weibull"	0.0331	0.258	2618.46	2622.46	2622.541	2624.906	2628.481
4	"Harris EE"	0.04	0.3458	2620.595	2626.595	2626.759	2630.264	2635.627
5	"KwE"	0.0662	0.5103	2620.056	2626.056	2626.22	2629.725	2635.088
6	"GCEG"	0.0685	0.4135	2620.923	2626.923	2627.088	2630.593	2635.955
7	"ECEG"	0.0672	0.4136	2621.073	2627.073	2627.238	2630.743	2636.105
8	"EW"	0.0363	0.2732	2618.339	2624.339	2624.504	2628.009	2633.371
9	"CWG"	0.0298	0.2307	2618.443	2624.443	2624.608	2628.113	2633.475
10	"Add Weibull"	1.2294	11.0139	2677.466	2685.466	2685.742	2690.358	2697.508
11	"2Weibull"	0.0332	0.2578	2618.462	2626.462	2626.737	2631.354	2638.504
12	"Kw-CWG"	0.0599	0.4132	2622.68	2632.68	2633.096	2638.795	2647.733

Таблица А.6 – Значения критериев качества нормальной модели (n=200)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.0335	0.1888	3491.916	3495.916	3495.977	3498.585	3502.512
1	"Lognormal"	0.3477	2.8815	3538.536	3542.536	3542.597	3545.205	3549.132
2	"Log-logistic"	0.1002	1.1537	3515.166	3519.166	3519.227	3521.836	3525.763
3	"Weibull"	0.052	0.299	3493.323	3497.323	3497.384	3499.993	3503.92
4	"Harris EE"	0.0373	0.3276	3494.3	3500.3	3500.422	3504.304	3510.195
5	"KwE"	0.0412	0.381	3496.218	3502.218	3502.34	3506.222	3512.113
6	"GCEG"	0.0357	0.3027	3494.308	3500.308	3500.43	3504.312	3510.203
7	"ECEG"	0.0332	0.2425	3493.959	3499.959	3500.082	3503.964	3509.854
8	"EW"	0.0467	0.2727	3493.267	3499.267	3499.39	3503.271	3509.162
9	"CWG"	0.0474	0.2753	3493.298	3499.298	3499.42	3503.302	3509.193
10	"Add Weibull"	1.5154	13.4254	3563.154	3571.154	3571.36	3576.494	3584.348
11	"2Weibull"	0.052	0.299	3493.324	3501.324	3501.529	3506.663	3514.517
12	"Kw-CWG"	0.0525	0.3905	3497.097	3507.097	3507.406	3513.771	3523.588

Продолжение приложения А

Таблица А.7 – Значения критериев качества модели Kw-E (n=80)

RESULT^T =

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.6796	5.0557	1421.99	1425.99	1426.146	1427.9	1430.754
1	"Lognormal"	0.3559	2.7702	1345.453	1349.453	1349.609	1351.363	1354.217
2	"Log-logistic"	0.1856	1.752	1339.874	1343.874	1344.03	1345.784	1348.638
3	"Weibull"	0.0685	0.5592	1322.228	1326.228	1326.384	1328.138	1330.992
4	"Harris EE"	0.0327	0.2859	1318.632	1324.632	1324.947	1327.497	1331.778
5	"KwE"	0.0426	0.3318	1320.425	1326.425	1326.741	1329.29	1333.571
6	"GCEG"	0.0772	0.8509	1326.117	1332.117	1332.433	1334.982	1339.263
7	"ECEG"	0.034	0.2864	1320.233	1326.233	1326.548	1329.098	1333.379
8	"EW"	0.0426	0.3317	1320.482	1326.482	1326.798	1329.347	1333.628
9	"CWG"	0.0364	0.4609	1321.233	1327.233	1327.548	1330.098	1334.379
10	"Add Weibull"	0.0334	0.2723	1320.205	1328.205	1328.738	1332.025	1337.733
11	"2Weibull"	0.0336	0.2732	1320.202	1328.202	1328.736	1332.023	1337.731
12	"Kw-CWG"	0.0331	0.275	1320.524	1330.524	1331.334	1335.299	1342.434

Таблица А.8 – Значения критериев качества модели Kw-E (n=150)

RESULT^T =

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	1.4258	8.9817	2666.908	2670.908	2670.99	2673.354	2676.929
1	"Lognormal"	0.2309	2.3099	2512.973	2516.973	2517.055	2519.419	2522.994
2	"Log-logistic"	0.15	1.5174	2504.064	2508.064	2508.146	2510.51	2514.085
3	"Weibull"	0.1	0.6452	2479.789	2483.789	2483.871	2486.235	2489.81
4	"Harris EE"	0.0652	0.4843	2478.684	2484.684	2484.848	2488.353	2493.716
5	"KwE"	0.0994	0.5966	2478.802	2484.802	2484.967	2488.472	2493.834
6	"GCEG"	0.0643	0.4858	2478.687	2484.687	2484.852	2488.357	2493.719
7	"ECEG"	0.104	0.6125	2478.818	2484.818	2484.983	2488.488	2493.85
8	"EW"	0.1181	0.7619	2479.969	2485.969	2486.133	2489.638	2495.001
9	"CWG"	0.1009	0.6487	2479.85	2485.85	2486.014	2489.519	2495.881
10	"Add Weibull"	0.1	0.6413	2479.791	2487.791	2488.067	2492.683	2499.833
11	"2Weibull"	0.0857	0.5284	2478.436	2486.436	2486.712	2491.328	2498.478
12	"Kw-CWG"	0.0792	0.5357	2479.397	2489.397	2489.814	2495.513	2504.451

Таблица А.9 – Значения критериев качества модели Kw-E (n=200)

RESULT^T =

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	1.9919	13.0438	3556.272	3560.272	3560.333	3562.941	3566.868
1	"Lognormal"	0.5495	4.6443	3370.167	3374.167	3374.228	3376.837	3380.764
2	"Log-logistic"	0.171	2.0792	3345.522	3349.522	3349.583	3352.192	3356.119
3	"Weibull"	0.0183	0.2444	3310.029	3314.029	3314.09	3316.698	3320.626
4	"Harris EE"	0.0822	0.6811	3309.571	3315.571	3315.694	3319.576	3325.466
5	"KwE"	0.0257	0.1785	3308.121	3314.121	3314.243	3318.125	3324.016
6	"GCEG"	0.0244	0.3924	3314.532	3320.532	3320.655	3324.537	3330.427
7	"ECEG"	0.0285	0.2014	3308.408	3314.409	3314.531	3318.413	3324.303
8	"EW"	0.0246	0.1842	3308.258	3314.258	3314.38	3318.262	3324.153
9	"CWG"	0.0139	0.1504	3308.505	3314.505	3314.627	3318.509	3324.4
10	"Add Weibull"	0.0227	0.1583	3307.823	3315.823	3316.028	3321.162	3329.016
11	"2Weibull"	0.0208	0.138	3307.502	3315.502	3315.707	3320.841	3328.695
12	"Kw-CWG"	0.0525	0.3212	3309.248	3319.248	3319.557	3325.922	3335.74

Продолжение приложения А

Таблица А.10 – Значения критериев качества модели EW (n=40)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.0535	0.5179	770.707	774.707	775.031	775.928	778.084
1	"Lognormal"	0.2795	1.9258	772.816	776.816	777.14	778.037	780.193
2	"Log-logistic"	0.1616	1.4188	770.72	774.72	775.044	775.941	778.098
3	"Weibull"	0.082	0.6733	759.194	763.194	763.519	764.416	766.572
4	"Harris EE"	0.0392	0.3765	756.502	762.502	763.169	764.334	767.569
5	"KwE"	0.0888	0.7002	759.544	765.544	766.21	767.375	770.61
6	"GCEG"	0.0363	0.3907	756.489	762.489	763.156	764.321	767.556
7	"GW"	0.0229	0.1668	718.942	724.942	725.609	726.774	730.009
8	"ECEG"	0.0203	0.1667	755.509	761.509	762.175	763.341	766.575
9	"EW"	0.0329	0.2473	755.814	761.814	762.481	763.646	766.881
10	"CWG"	0.0426	0.4061	757.166	763.166	763.833	764.998	768.223
11	"Add Weibull"	0.0791	0.6345	759.113	767.113	768.255	769.555	773.868
12	"2Weibull"	0.0314	0.235	755.478	763.478	764.621	765.921	770.234
13	"Kw-CWG"	0.0284	0.2819	758.286	768.286	770.051	771.34	776.731

Таблица А.11 – Значения критериев качества модели EW (n=80)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.3571	2.3213	1542.285	1546.285	1546.441	1548.195	1551.049
1	"Lognormal"	0.114	1.365	1533.927	1537.927	1538.082	1539.837	1542.691
2	"Log-logistic"	0.0885	0.9058	1529.125	1533.125	1533.281	1535.035	1537.889
3	"Weibull"	0.0832	0.5517	1515.453	1519.453	1519.609	1521.363	1524.217
4	"Harris EE"	0.0764	0.4961	1514.36	1520.36	1520.676	1523.225	1527.506
5	"KwE"	0.0774	0.5389	1515.865	1532.865	1522.181	1524.73	1529.011
6	"GCEG"	0.0857	0.515	1513.953	1519.953	1520.269	1522.818	1527.099
7	"GW"	0.0229	0.1668	718.942	724.942	725.609	726.774	730.009
8	"ECEG"	0.0861	0.5538	1516.157	1522.157	1522.472	1525.022	1529.303
9	"EW"	0.0802	0.5131	1514.618	1520.618	1520.934	1523.483	1527.764
10	"CWG"	0.0864	0.5537	1515.418	1521.418	1521.734	1524.283	1528.564
11	"Add Weibull"	0.2818	3.2634	1532.57	1540.57	1541.103	1544.39	1550.098
12	"2Weibull"	0.0568	0.3567	1511.076	1519.076	1519.61	1522.896	1528.604
13	"Kw-CWG"	0.2527	1.6114	1526.756	1536.756	1537.567	1541.531	1548.666

Таблица А.12 – Значения критериев качества модели EW (n=150)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.4214	3.1071	2893.398	2897.298	2897.48	2899.845	2903.42
1	"Lognormal"	0.4404	3.6286	2891.753	2895.753	2895.835	2898.2	2901.775
2	"Log-logistic"	0.1845	1.9415	2874.064	2878.064	2878.145	2880.51	2884.085
3	"Weibull"	0.0557	0.4537	2843.329	2847.329	2847.411	2849.775	2853.35
4	"Harris EE"	0.4652	3.4318	2872.713	2878.713	2878.877	2882.382	2887.745
5	"KwE"	0.0587	0.5042	2844.558	2850.558	2850.723	2854.228	2859.59
6	"GCEG"	0.049	0.2764	2839.526	2845.526	2845.69	2849.195	2854.558
7	"GW"	0.0229	0.1668	718.942	724.942	725.609	726.774	730.009
8	"ECEG"	0.0561	0.3256	2841.209	2847.209	2847.374	2850.879	2856.241
9	"EW"	0.0458	0.2629	2839.401	2845.401	2845.565	2849.07	2854.432
10	"CWG"	0.0548	0.3402	2841.489	2847.489	2847.654	2851.159	2856.521
11	"Add Weibull"	0.0566	0.4412	2843.46	2851.46	2851.736	2856.353	2863.503
12	"2Weibull"	0.0419	0.2604	2839.203	2847.203	2847.479	2852.096	2859.246
13	"Kw-CWG"	0.3964	2.8915	2863.745	2873.745	2874.161	2879.86	2888.798

Продолжение приложения А

Таблица А.13 – Значения критериев качества модели Weibull (n=40)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.0812	0.5817	770.212	774.212	774.536	775.433	777.59
1	"Lognormal"	0.1107	0.9108	777.874	781.874	782.199	783.096	785.252
2	"Log-logistic"	0.0335	0.3812	772.27	776.27	776.594	777.491	779.648
3	"Weibull"	0.0549	0.3672	768.245	772.245	772.57	773.467	775.623
4	"Harris EE"	0.0286	0.2233	767.528	773.528	774.195	775.36	778.595
5	"KwE"	0.0443	0.3209	768.721	774.721	775.388	776.553	779.788
6	"GCEG"	0.027	0.2137	767.442	773.442	774.109	775.274	778.509
7	"GW"	0.0229	0.1668	718.942	724.942	725.609	726.774	730.009
8	"ECEG"	0.0367	0.2691	767.749	773.749	774.416	775.581	778.816
9	"EW"	0.0565	0.3751	768.253	774.253	774.92	776.085	779.319
10	"CWG"	0.0409	0.288	768.035	774.035	774.702	775.867	779.102
11	"Add Weibull"	0.3555	2.5052	781.934	789.934	791.077	792.377	796.69
12	"2Weibull"	0.0587	0.3847	768.201	776.201	777.344	778.644	782.956
13	"Kw-CWG"	0.1606	1.0794	773.438	783.438	785.202	786.491	791.882

Таблица А.14 – Значения критериев качества модели Weibull (n=80)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.091	0.8249	1541.436	1545.436	1545.592	1547.346	1550.2
1	"Lognormal"	0.0576	0.4058	1532.596	1536.596	1536.752	1538.506	1541.36
2	"Log-logistic"	0.0509	0.3439	1533.29	1537.29	1537.446	1539.2	1542.054
3	"Weibull"	0.0475	0.361	1533.219	1537.219	1537.375	1539.129	1541.983
4	"Harris EE"	0.0357	0.4197	1534.177	1540.177	1540.493	1543.042	1547.323
5	"KwE"	0.0253	0.1438	1529.79	1535.79	1536.106	1538.655	1542.936
6	"GCEG"	0.0334	0.2082	1532.47	1538.47	1538.786	1541.335	1545.616
7	"GW"	0.0229	0.1668	718.942	724.942	725.609	726.774	730.009
8	"ECEG"	0.0282	0.1566	1530.092	1536.092	1536.408	1538.957	1543.238
9	"EW"	0.0243	0.1429	1529.93	1535.93	1536.246	1538.796	1543.077
10	"CWG"	0.0279	0.2147	1532.871	1538.871	1539.186	1541.736	1546.017
11	"Add Weibull"	0.4265	2.9852	1551.25	1559.25	1559.783	1563.07	1568.778
12	"2Weibull"	0.0474	0.3663	1533.258	1541.258	1541.791	1545.078	1550.786
13	"Kw-CWG"	0.0442	0.2778	1532.952	1542.952	1543.763	1547.727	1554.862

Таблица А.15 – Значения критериев качества модели Weibull (n=150)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"Normal"	0.1014	0.8755	2891.684	2895.684	2895.765	2898.13	2901.705
1	"Lognormal"	0.1919	1.6021	2895.919	2899.919	2900.001	2902.366	2905.941
2	"Log-logistic"	0.1041	1.1179	2896.175	2900.175	2900.257	2902.621	2906.196
3	"Weibull"	0.0331	0.2459	2879.981	2883.981	2884.062	2886.427	2890.002
4	"Harris EE"	0.0397	0.3558	2886.714	2892.714	2892.878	2896.383	2901.746
5	"KwE"	0.0356	0.2916	2880.743	2886.743	2886.908	2890.413	2895.775
6	"GCEG"	0.0375	0.3537	2886.722	2892.722	2892.887	2896.392	2901.754
7	"GW"	0.0229	0.1668	718.942	724.942	725.609	726.774	730.009
8	"ECEG"	0.0355	0.3057	2883.353	2889.353	2889.518	2893.023	2898.385
9	"EW"	0.0305	0.239	2879.942	2885.942	2886.106	2889.611	2894.974
10	"CWG"	0.0405	0.3533	2886.915	2892.915	2893.08	2896.585	2901.947
11	"Add Weibull"	0.7105	9.265	2920.35	2928.35	2928.626	2933.242	2940.392
12	"2Weibull"	0.0317	0.238	2880.258	2888.258	2888.534	2893.151	2900.301
13	"Kw-CWG"	0.1064	0.8559	2888.98	2898.98	2899.397	2905.096	2914.033