

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

А. Г. Зубакин

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПРАКТИКА

**Методические указания
для студентов направления подготовки 11.03.04
«Электроника и наноэлектроника»**

Томск 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание.....	2
Общие положения	3
Цель и задачи практики	4
ПОРЯДОК ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИКИ.....	6
ПРОГРАММА ПРАКТИКИ.....	8
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ	8
ЗАДАНИЯ НА ПРАКТИКУ	11
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	13
Приложение 1 Заявление обучающегося на прохождение практики	14
Приложение 2 Форма договора между ТУСУРОм и профильной организацией	14
Приложение 3 Форма направления обучающихся на практику	18
Приложение 4 Форма приказа для направления обучающихся на практику	19
Приложение 5 Форма титульного листа отчета по практике	20
Приложение 6 Форма задания на практику.....	21
Приложение 7. Базовые знания по написанию научной статьи.....	22
Приложение 8. Индивидуальное задание № 1	«Обработка
экспериментальных данных»	28
1. Основы технических измерений.....	28
1.1. Методы измерений	29
1.2. Виды погрешности измерений	30
1.3. Погрешность и точность	31
1.4. Определение погрешности при косвенных измерениях.....	32
1.5. Обработка результатов прямых однократных и многократных измерений	33
2. Общие сведения о статистических методах управления качеством продукции
.....	35
2.1 Понятие о статистических методах [6].....	38
2.2 Анализ технологических процессов в производстве	гибридно-
пленочных интегральных схем по критериям точности и стабильности	41
3. Статистические методы предупредительного контроля качества	44
3.1 Статистический ряд и его характеристики	44

3.2 Виды контроля	45
3.3 Колеблемость выборочных оценок.....	47
3.4 Выборочные характеристики	47
4. Статистическая проверка гипотез	56
5. Порядок выполнения работы	64
Приложение 9. Индивидуальное задание № 2	«Прогнозирование
экстраполяционным методом»	68
1. Прогнозирование результатов технологического процесса	68
2. Последовательность составления прогноза.....	72
3. Порядок выполнения работы	79
4. Предметный указатель	81
5. Список литературы.....	82
Приложение 10 Варианты заданий к индивидуальной работе.....	83
Приложение 11 Определение детерминированной составляющей	89

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Производственная практика: Научно-исследовательская работа (далее практика) в соответствии с ФГОС ВО подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника является обязательным этапом в процессе освоения обучающимися образовательной программы [1,2].

Вид практики: Производственная практика.

Тип практики: Научно-исследовательская работа.

Практика представляет собой вид учебных занятий, непосредственно ориентированных на изучение методов исследования электротехнических и электронных

устройств и систем, приборов с использованием методов математического моделирования и современных программных средств.

Место практики в структуре образовательной программы: данная практика входит в раздел «Б2.2» ФГОС ВО. Практика проводится в соответствии с утвержденным рабочим учебным планом и календарным учебным графиком.

Практике предшествуют дисциплины: «Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности», «Профессиональные математические пакеты», «Теоретические основы электротехники».

Данная практика является основой для более глубокого усвоения обучающимися следующих дисциплин: «Патентоведение», «Аналоговая электроника», «Математическое моделирование и программирование», «Методы анализа и расчета электронных схем», «Основы преобразовательной техники», «Преддипломная практика».

Объем практики в зачетных единицах и ее продолжительность в неделях либо в академических или астрономических часах: продолжительность, сроки прохождения и объем практики в зачетных единицах определяются учебным планом в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. Общая трудоемкость данной практики составляет 6.0 З.Е., количество недель: 4 (216 часов).

Способы проведения практики: стационарная, выездная.

Форма проведения практики: дискретно по видам практик – путем выделения в календарном учебном графике непрерывного периода учебного времени для проведения каждой практики.

Основной формой прохождения практики является непосредственное участие обучающегося в процессе исследования электротехнических и электронных устройств и систем, приборов с использованием методов математического моделирования и современных программных средств.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ

Цель практики: развить и укрепить теоретические знания, полученные по общеобразовательным дисциплинам; получить практические навыки к выполнению самостоятельных исследований по выбранной научной тематике; научить работе с научно-технической литературой, оформлению отчетной документации.

Задачи практики:

обзор научно -технической литературы по выбранной теме работы; изучение методов математического моделирования и современных программных средств; анализ и представление полученных результатов работы.

Планируемые результаты обучения при прохождении практики

Процесс прохождения практики направлен на поэтапное формирование и закрепление следующих компетенций:

способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-1);

способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-2);

готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-3);

способностью проводить анализ, оценку научно-технической информации, патентные исследования и защиту объектов интеллектуальной собственности (ПСК-1).

В результате прохождения практики обучающийся должен:

знать основные понятия теории погрешности -методы математического моделирования, используемых при изучении общетеоретических и специальных дисциплин и в инженерной практике; основные задачи, решаемые при проведении патентных исследований; основные требования к документам заявок на изобретение и полезную модель по закону РФ; **уметь** применять свои знания к решению практических задач;

– читать специальную литературу, использующую математические модели задач естествознания и техники; – пользоваться литературой при самостоятельном изучении инженерных вопросов;

– адекватно ставить задачи исследования и оптимизации на основе методов математического моделирования;

– выбирать и применять методы и компьютерные системы моделирования; находить аналоги и прототип для заявляемой полезной модели или изобретения (для разрабатываемого объекта техники);

владеть современными методами математического моделирования;

– методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области;

– методами построения математических моделей для задач, возникающих в инженерной практике и научных исследованиях, численными методами их решения с использованием современных программных средств компьютерного моделирования; практическими навыками работы в информационно-поисковой системе ФГБУ ФИПС Роспатента..

Базы практики

Практика проводится в организациях различных отраслей, сфер и форм собственности, в академических и ведомственных научно-исследовательских организациях, органах государственной и муниципальной власти, деятельность которых соответствует направлению подготовки (профильные организации), учреждениях системы

высшего и среднего профессионального образования, системы дополнительного образования, в структурных подразделениях университета по направлению подготовки под руководством руководителей практики.

Обучающиеся вправе предложить прохождение практики в иной профильной организации по согласованию с кафедрой.

ПОРЯДОК ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИКИ

Учебно-методическое руководство осуществляет профилирующая кафедра, которая обеспечивает выполнение учебного плана и программы прохождения практики.

4.12. Все виды практик, предусмотренных ФГОС ВО и основными образовательными программами высшего образования, проводятся на основе заявлений обучающихся (см. приложение 1) и договоров (см. приложение 2) между Университетом и профильными организациями, в соответствии с которыми профильные организации независимо от их организационно-правовых форм предоставляют места для прохождения практик обучающихся Университета, а также на основе договоров и/или соглашений о стратегическом партнерстве, договоров о целевом обучении. Если обучающийся проходит практику в ТУСУРе, то для проведения практики необходимо только заявление обучающегося. Заявление обучающегося и договор на прохождение практики обязательно визируются заведующим кафедрой и руководителем практики от Университета. При необходимости обучающемуся (группе обучающихся) выдается направление на практику (см. приложении 3).

4.13. Если предприятие в явном виде не является профильной организацией, то в договоре на прохождение практики необходимо указать конкретное подразделение (отдел), в котором обучающийся будет проходить практику.

4.14. Студентам, которые проходят практику на основе договоров (или соглашений) о стратегическом партнерстве или договоров о целевом обучении, необходимо оформить Приложение к данному договору, включающему календарный график прохождения практики обучающимся.

4.15. Для направления на практику для обучающихся всех форм обучения выпускающая кафедра оформляет приказ ректора ТУСУРа с указанием закрепления каждого обучающегося за Университетом или профильной организацией, а также с указанием вида, типа практики, способа, формы проведения и срока прохождения практики. Форма приказа приведена в приложении 4.

Для методического и организационного руководства практикой назначается руководитель (куратор) от университета.

Руководитель практики обеспечивает проведение следующих организационных мероприятий:

– составляет рабочую программу прохождения производственной практики, разрабатывает тематику индивидуальных заданий, участвует в подготовке методических материалов;

– оказывает студентам консультативную помощь по вопросам организации и прохождения практики, составления отчетов и подготовки научных публикаций по ее результатам;

– осуществляет контроль за соблюдением сроков прохождения практики и выполнением программы практики;

– проверяет отчеты по практике, участвует в подготовке и работе комиссии по защите отчетов по практике;

– готовит и представляет на кафедру отчет о проведении практики вместе с замечаниями и предложениями по улучшению программы и организации практики.

К студенту, не выполнившему программу практики и задание в установленный срок, получившему отрицательный отзыв руководителя или неудовлетворительную оценку при защите, применяются санкции как к неуспевающему студенту, вплоть до отчисления из вуза.

Руководитель практики от университета сообщает студентам сроки и порядок прохождения практики, выдает методические указания и другие необходимые документы. Индивидуальное задание на практику формируется и выдается руководителем практики от университета в течение первых дней практики.

При прохождении практики студенты имеют право:

- получать необходимую информацию для выполнения задания по практике;
- получать консультации у руководителя практики по вопросам, предусмотренным индивидуальным заданием на практику;

В период прохождения практики студенты обязаны:

— соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, требования охраны труда и пожарной безопасности.

– полностью выполнять задания, предусмотренные программой и календарным планом практики;

– осуществлять сбор, систематизацию, обработку и анализ первичной экономической, управленческой и другой информации, а также иллюстративных материалов по теме отчета по практике;

– представить руководителю практики отчет о выполнении всех заданий и защитить его.

ПРОГРАММА ПРАКТИКИ

Практика осуществляется в три этапа:

1. *Подготовительный этап* (проведение инструктивного совещания, ознакомление обучающихся с содержанием и спецификой деятельности организации, доведение до обучающихся заданий на практику, вида отчетности по практике).

2. *Основной этап* (выполнение обучающимися заданий, участие в различных видах профессиональной деятельности согласно направлению подготовки). Выбор конкретных заданий определяется совместно с руководителем практики от организации.

3. *Завершающий этап* (оформление обучающимися отчета о выполнении индивидуальных заданий по практике, анализ проделанной работы и подведение её итогов, публичная защита отчета по практике на основе презентации обучающимися перед комиссией с приглашением работодателей и руководителей от университета, оценивающих результативность практики).

Основной формой проведения практики является непосредственное участие студента в выборе темы научно-исследовательской работы и ее выполнении в соответствии с индивидуальным заданием на практику.

В процессе прохождения учебной практики студент должен собрать соответствующую информацию и материалы, необходимые для выполнения индивидуального задания.

По результатам выполнения индивидуального задания необходимо составить отчет о проведенном научном исследовании, включающий сведения о выполненной работе и научных результатах, полученных в период прохождения практики, и по завершении практики представить его на проверку руководителю практики. В приложении к отчету представляется проект публикации, разработанной по его материалам [3] (базовые знания по подготовке научной публикации приведены в Приложении 7).

Формой аттестации по итогам практики является дифференцированный зачет, который проставляется по результатам проверки выполненного отчета и коллективного обсуждения представленной публикации.

Оценка по практике имеет тот же статус, что и оценки по другим дисциплинам учебного плана, и учитывается при подведении итогов общей успеваемости студентов. При выставлении оценки учитываются: полнота содержания и качество выполнения работы, соответствие программе практики и индивидуальному заданию.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ

Результатом прохождения практики является отчет, включающий текстовые, табличные и графические материалы, отражающие решение предусмотренных программой практики задач.

Отчет по практике составляется индивидуально каждым студентом и должен отражать результаты его деятельности в период прохождения практики.

Основные требования к отчету:

- составление и оформление в соответствии с требованиями образовательного стандарта вуза;
- логическая взаимосвязь разделов отчета;
- краткость и конкретность изложения материала;
- наличие ссылок на использованные литературные источники.

Структура отчета по учебной практике включает набор следующих *обязательных* элементов (определены Положением об организации и проведении практик студентов, обучающихся в ТУСУР [1]):

- титульный лист;
- задание;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Титульный лист служит обложкой документа. Пример оформления титульного листа приведен в *Приложении 5*.

Задание на практику. Вариант задания составляется студентом вместе с руководителем практики в процессе выбора и обоснования темы научного исследования. Форма задания приведена в *Приложении 6*.

Содержание включает: введение, наименования всех глав, разделов, подразделов, заключение, список использованных источников, приложения (при наличии). Строки оглавления заканчиваются указанием номеров страниц, на которых расположено начало соответствующей части документа.

Во введении дается обоснование актуальности выбранной темы, формулируются цель и задачи, которые студент ставит и решает в ходе прохождения практики, осуществляется выбор источников получения фактических материалов в процессе прохождения практики. В процессе исследования осуществляется выявление, поиск закономерностей, необходимых для оптимального решения поставленной задачи.

Основная часть отчета представляет собой текстовый документ, включающий соответствующие разделы в соответствии с поставленными во введении задачами. Изложение в ней материала должно быть последовательным, с использованием различных источников. Основная часть отчета включает: материалы практики, изложенные детально в разделах, подразделах, пунктах и подпунктах.

Обзор литературы по теме НИР должен продемонстрировать умение исследователя работать с литературой, выделять существенное, оценивать результаты трудов других авторов. Материалы такого обзора следует систематизировать в определенной

логической связи и последовательности и потому перечень работ и их критический разбор не обязательно давать только в хронологическом порядке их публикации.

Поскольку работа обычно посвящается сравнительно узкой теме, то обзор работ предшественников следует делать только по вопросам выбранной темы, а вовсе не по всей проблеме в целом. В таком обзоре незачем излагать все, что стало известно исследователю из прочитанного и что имеет лишь косвенное отношение к его работе. Но все сколько-нибудь ценные публикации, имеющие прямое и непосредственное отношение к теме научной работы, должны быть названы и критически оценены.

Иногда автор работы, не находя в доступной ему литературе необходимых сведений, берет на себя смелость утверждать, что именно ему принадлежит первое слово в описании изучаемого явления. Разумеется, такие ответственные выводы можно делать только после тщательного и всестороннего изучения литературных источников и консультаций со своим научным руководителем.

В основной части отчета обобщаются сведения из разных литературных источников по данной теме, излагается аргументированный авторский подход к рассмотренным концепциям, точкам зрения. В работах практической направленности обязательно должен быть раздел, описывающий методики и техники конкретного авторского исследования, и, собственно, само эмпирическое исследование. Специальные методические рекомендации и указания студенту предоставляются кафедрой и научным руководителем.

В заключении приводятся общие выводы по итогам практики, мнение практиканта об эффективности практики.

В разделе «Заключение» формулируются основные результаты работы, выводы, указываются вероятные пути и перспективы продолжения работы. Объем заключения, как правило, не превышает 1–2 страниц.

По тексту отчета должны содержаться ссылки на источники информации, из которых заимствован материал. Ссылки допускаются только цифровые, на публикации, приведенные в списке использованных источников.

Внимание! Материалы, полученные из Интернета и других электронных средств информации, могут быть использованы только как один из источников при написании отчета и на них обязательна ссылка в списке литературы.

Отчет по практике необходимо оформить в соответствии с требованиями образовательного стандарта университета ОС ТУСУР-2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям гуманитарного профиля. Общие требования и правила оформления» [3].

При оформлении отчета по практике предъявляются следующие общие требования:

- Общий объем машинописного текста без приложений должен составлять 20–25 страниц.

- Текст отчета должен быть напечатан шрифтом Times New Roman, кегль 14, с интервалом 1,5 на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 размером 210×297 мм.

- При установлении полей рекомендуется выбирать следующие размеры: левое поле – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм. Размер абзацного отступа должен быть одинаковым по всему тексту работы, рекомендуемый размер абзацного отступа 12,5 мм, выравнивание текста – по ширине.

- насыщенность букв должна быть ровной в пределах строки, страницы и всей работы.

- Таблицы, рисунки, схемы, графики, фотографии и др. в тексте отчета и в приложениях должны быть выполнены на стандартных листах формата А4.

- Все страницы, включая иллюстрации и приложения, нумеруются по порядку. Первой страницей считается титульный лист, на нем цифра «1» не ставится, также номера страниц не ставятся на листе с заданием на учебную практику и странице с оглавлением, но они учитываются при общей нумерации. Порядковый номер печатается по центру верхнего поля страницы, начиная со следующей страницы после оглавления.

Не вошедшие в основной текст материалы приводятся в конце работы в виде приложений. Это могут быть расчеты, иллюстрации, таблицы, графики и т. п. Приложения нумеруют последовательно заглавными буквами русского алфавита, например, «Приложение А», «Приложение Б» и т. д. Каждое приложение должно располагаться с новой страницы, иметь заголовок, который записывается симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой. Располагаются приложения в порядке появления ссылок на них в тексте.

ЗАДАНИЯ НА ПРАКТИКУ

В отчет входит выполнение следующих заданий:

- **реферат** по теме, выбранной из числа представленных ниже.
- **индивидуальное задание № 1** «Обработка экспериментальных данных» (см. приложение 8).
- **индивидуальное задание № 2** «Прогнозирование экстраполяционным методом» (см. приложение 9).
- **проект публикации (презентация)** по выбранной теме научной работы.

Реферат (учебный) – самостоятельная письменная работа, кратко излагающая основные положения какой-либо проблемы на основе изучения и переработки теоретического или экспериментального материала. Назначение реферирования источников информации в учебном процессе заключается в выработке навыков и умения приобретать знания посредством освоения приёмов, методов и средств работы с источниками

информации. В реферате осуществляется выделение, систематизация, анализ и обобщение основных положений материала реферируемых источников с последующим формулированием выводов.

Реферат (аннотация) - краткое изложение содержания документа или его части, включающее основные фактические сведения и выводы, необходимые для первоначального ознакомления с документом и (или) определения целесообразности обращения к нему. В реферате источника информации указываются пути и методы исследования вопроса, приводятся основные фактические данные, излагаются выводы автора, показывается, что нового вносит реферируемый материал в теорию или практику

Последовательность операций по выполнению реферата (учебного):

1. Выбор темы.
2. Первичное ознакомление с литературой по избранной теме.
3. Самодиагностика исследовательских возможностей.
4. Корректировка темы.
5. Разработка примерного плана реферата.
6. Разработка введения.
7. Изучение и конспектирование литературы (научных текстов).
8. Обработка содержания теоретической литературы.
9. Написание основной части реферата.
10. Разработка заключения.
11. Составление списка использованной литературы.
12. Редактирование текста реферативной работы.
13. Представление работы научному руководителю.
14. Доработка реферата по замечаниям научного руководителя.

В реферате необходимо привести обоснование выбора темы исследования, оценить перспективы. Для этого необходимо провести обзор литературы в библиотеке, интернете; выявить тенденции, способы решения проблем. Анализ полученного материала должен определить направление дальнейших исследований.

Правила оформления отчета и реферата приведены в [1,2]. При оформлении отчета нумерация страниц, рисунков, таблиц обязательна. При выводе графиков приводить соответствующие выражения, обозначать оси.

Темы научно-исследовательской работы

1. Накопители энергии.
2. Орбитальные источники питания.
3. Перспективы развития солнечной энергетики.
4. Передача энергии на расстояние.
5. Геотермальные электростанции.
6. Будущее ветроэнергетики.

7. Космический лифт.
8. Применение линейных электродвигателей.
9. Сварочные преобразователи.
10. Шифровка/дешифровка сообщений.
11. Охранная сигнализация.
12. Металлоискатель.
13. Детекторы лжи.
14. Предвестники отказов.
15. Определение работоспособности РЭА.
16. Прогнозирование состояния РЭА.
17. Методы распознавания.
18. Иридодиагностика.
19. Кардиостимуляторы.
20. Методы диагностики состояния человека.
21. Иглокалывание, массаж

Презентация содержит необходимый материал для доклада по выбранной теме научной работы (см. приложение 7).

В презентации представляется:

- наименование проводимых исследований (не более 10 слов).
- обоснование актуальности задачи и необходимости её решения (1-2) стр.
- анализ существующих решений по материалам патентного поиска и обзора научно-технической литературы, интернет-сети (3-4) стр.
- выбор путей решения поставленной задачи (2-3) стр.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Положение об организации и проведении практик студентов, обучающихся в ТУ-СУРе от 18.01.2019 <https://regulations.tusur.ru/documents/41>
2. Научно-исследовательская работа: Рабочая программа учебной дисциплины «Научно-исследовательская работа»/ Зубакин А. Г. - 2018 https://edu.tusur.ru/lecturer/work_programs/46281
3. Буймов, А. Г. Производственная практика. Научно-исследовательская работа: Методические указания [Электронный ресурс] / А. Г. Буймов. — Томск: ТУСУР, 2018. — 37 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7961>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 ЗАЯВЛЕНИЕ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ПРАКТИКИ

Заведующему кафедрой _____
(сокр. назв. каф.)

(ФИО зав. кафедрой)

от студента гр. _____
(номер группы)

(ФИО студента)

Заявление

Прошу направить меня для прохождения _____

(вид практики: тип практики)

в профильную организацию /структурное подразделение ТУСУР

(адрес: _____) с _____ по _____ 20__ г.
(город или иной населенный пункт)

Дата _____

Подпись _____

Согласовано:

Зав. кафедрой _____

(Ф.И.О.)

Руководитель практики от университета

(Ф.И.О.)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 ФОРМА ДОГОВОРА МЕЖДУ ТУСУРОМ И ПРОФИЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

ДОГОВОР НА ПРОХОЖДЕНИЕ ПРАКТИКИ

от _____ № _____

г. Томск

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), именуемое в дальнейшем «Университет», в лице директора департамента образования П.Е.Трояна, действующего на основании Доверенности от 06.07.2016 № 20/2003 (профилирующая кафедра _____, в лице заведующего кафедрой _____), с одной стороны, и

—,

именуемое в дальнейшем «профильная организация», в лице

действующего на основании _____,

(положения о профильной организации, распоряжения, доверенности, устава)

с другой стороны, в соответствии с «Положением о практике обучающихся, осваивающих основные профессиональные образовательные программы высшего образования», утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 27.11.2015 № 1383, заключили между собой договор о нижеследующем:

1. Университет обязуется:

1.1. За месяц до начала практики обучающихся представить профильной организации для согласования программу практики и календарные графики прохождения практики.

1.2. Представить профильной организации список обучающихся, направляемых на практику, не позднее чем за неделю до начала практики.

1.3. Направить в профильную организацию обучающихся в сроки, предусмотренные календарным графиком проведения практики, являющимся приложением к договору.

1.4. Выделить в качестве руководителей практики наиболее квалифицированных преподавателей.

1.5. Оказывать руководителям практики от профильной организации методическую помощь в организации и проведении практики.

1.6. Расследовать и учитывать несчастные случаи, если они произойдут со обучающимися в период прохождения практики.

2. Профильная организация обязуется:

2.1. Представить Университету в соответствии с прилагаемым календарным графиком _____ мест (а) для проведения практики обучающихся.

2.2. Обеспечить обучающимся условия безопасной работы на каждом рабочем месте. Проводить обязательные инструктажи по охране труда – вводный и на рабочем месте с оформлением установленной документации; в необходимых случаях проводить обучение обучающихся-практикантов безопасным методам работы.

2.3. Расследовать и учитывать несчастные случаи, если они произойдут с обучающимися в период практики в профильной организации в соответствии с Положением о расследовании и учёте несчастных случаев на производстве.

2.4. Создать необходимые условия для выполнения обучающимся программы практики. Не допускать использования обучающегося-практиканта на

должностях, не предусмотренных программой практики и не имеющих отношения к специальности обучающегося.

2.5. Назначать квалифицированных специалистов для руководства практикой обучающихся в подразделениях (цехах, отделах, лабораториях и т.д.) профильной организации.

2.6. Обеспечить учёт выходов на работу обучающихся-практикантов. О всех случаях нарушения обучающимися трудовой дисциплины и правил внутреннего распорядка профильной организации сообщать в Университет.

2.7. По окончании практики дать характеристику о работе каждого обучающегося-практиканта и качестве подготовленного им отчёта.

3. Ответственность сторон за невыполнение договора

3.1. Стороны несут ответственность за невыполнение возложенных на них обязанностей по организации и прохождению практики обучающихся в соответствии с Основами законодательства о труде, «Положением о практике обучающихся, осваивающих основные профессиональные образовательные программы высшего образования», утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 27.11.2015 № 1383, действующими Правилами по технике безопасности, настоящим договором.

3.2. Все споры, возникающие между сторонами по настоящему договору, разрешаются в установленном законодательством порядке.

4. Срок действия договора

4.1. Договор вступает в силу после его подписания Университетом, с одной стороны, и профильной организацией, с другой стороны.

Срок действия договора _____

4.2. Настоящий договор составлен в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу, по одному для каждой из сторон.

5. Реквизиты и подписи сторон:

ТУСУР: 634050,
г.Томск, пр. Ленина, 40

Директор департамента образования
ТУСУРа _____ П.Е.
Троян
(подпись)

(печать Университета)

Профильная организация:

(наименование проф.организации)

(подпись)

(Ф.И.О.)

(печать проф.организации)

Утверждаю
 Директор департамента
 образования ТУСУРа
 _____ П.Е.Троян

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
 прохождения практики обучающимся ТУСУРа на 20/20 __ учебный год

(Ф И О обучающегося (-ихся))

Курс, группа	Вид практики: тип практики*	Сроки практики	Направление подготовки/ специальность

Согласовано:

Зав.кафедрой

(Подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель практики от университета

(Подпись) (Ф.И.О.)

Приложение 3 Форма направления обучающихся на практику

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Томский государственный
университет систем управления и радиоэлектроники»

НАПРАВЛЕНИЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ПРАКТИКУ

Место практики

Наименование профильной организации, адрес

На основании договора от ____ № _____ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники направляет для прохождения практики нижеперечисленных обучающихся _____ курса направления подготовки/специальности _____

вид практики

Код, наименование направления подготовки или специальности

№ п.п.	Фамилия, имя, отчество (полностью)	Под- писи

Срок практики с _____ по _____ 20__ г.

Директор департамента образования

Подпись

П.Е.Троян

Зав кафедрой _____

сокр. название кафедры

Подпись

И.О. Фамилия

Руководитель практики от ТУСУРа

Подпись

И.О. Фамилия

Обучающийся(еся) гр. _____

Подпись

И.О. Фамилия

Убыл(и) из Томска

20 г.

(подпись руководителя практики от ТУСУРа)

Место практики:

(город, организация)

Прибыл(и) в г. _____

20 г.

(подпись руководителя практики проф. организации)

Убыл(и) из г. _____

20 г.

(подпись руководителя практики проф. организации)

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 ФОРМА ПРИКАЗА ДЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ПРАКТИКУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

ПРИКАЗ

от «____» _____ 20__ г.

г. Томск

№

О направлении обучающихся на практику

1. Обучающихся _____ курса _____ факультета кафедры _____ направить для прохождения

_____ практики
вид практики

(тип практики:

_____); способ проведения _____; форма проведения _____) с «__» _____ 20__ г. по «__» _____ 20__ г. на следующие предприятия, учреждения и организации:

Название проф. организации, учреждения, организации, город расположения

1. ФИО, № группы.

2. ФИО, № группы ...

Название проф. организации, учреждения, организации, город расположения

1. ФИО, № группы.

2. ФИО, № группы и т.д.

2. Ответственным за практику от Университета назначить _____

Должность, кафедра

ФИО работника из состава ППС кафедры

Основание: представление зав. кафедрой, виза декана факультета, ОСОП, руководителя производственной практики ТУСУРа.

Директор департамента образования

П.Е. Троян

Приложение 5 Форма титульного листа отчета по практике

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
 образования
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра _____

Тема

ОТЧЕТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ

_____ практики: _____
 (вид практики) (тип практики.)

Обучающийся гр. _____

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)

_____ (дата)

Руководитель практики от профильной
 организации:

_____ (должность, ученая степень, звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)

оценка

М.П.

_____ (дата)

Руководитель практики от Универси-
 тета:

_____ (должность, ученая степень, звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)

оценка

_____ (дата)

Томск 20__

ПРИЛОЖЕНИЕ 6 ФОРМА ЗАДАНИЯ НА ПРАКТИКУ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
 ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ
 Зав.кафедрой _____

(Ф.И.О.)

(подпись)

ЗАДАНИЕ

на _____ практику: _____
(вид практики) (тип практики)

студенту гр. _____ факультета

(Ф.И.О студента)

1. Тема практики:
2. Цель практики:
3. Задачи практики:
4. Исходные данные для практики:
5. Технические требования к отчету по практике:

Дата выдачи: «___» ___ 20__ г.

Руководитель практики от университета

(должность)

(Подпись)

(Ф.И.О.)

Согласовано:

Руководитель практики от профильной организации

(должность)

(Подпись)

(Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению «___» _____ 20__ г.

Студент гр. _____

(Подпись)

(Ф.И.О.)

Приложение 7. Базовые знания по написанию научной статьи

Научная статья – это произведение, отражающее результаты исследовательской деятельности автора или группы авторов.

Любая научная статья должна содержать обоснование актуальности и новизны исследования, описание цели и задач исследования, основную часть с решениями поставленных задач и выводы.

Актуальность – злободневность проблем, которым посвящена научная статья.

Новизна – отличие вашей научной статьи от работ других авторов. В большинстве случаев авторы пишут научные статьи на популярные и потому близкие темы. Задача автора – изучить научные работы других исследователей, определить тот аспект проблемы, заинтересовавшей автора, который они не раскрыли, и попытаться раскрыть его в своей научной статье (в основной части работы).

Цель – ответ на вопрос: «чего мы хотим добиться?». В общем понимании проблема – это положение вещей, которым кто-то недоволен, неудовлетворен и хотел бы изменить. Тогда цель – это образ нового, желаемого положения вещей. Например, мы хотим, чтобы все наши студенты были отличниками, и чтобы все они нашли высокооплачиваемую работу. Изучая опыт предшественников мы обнаружим, что подобные цели формулировались и до нас. Но в основной массе они остались недостижимыми. Итак, старые цели остались актуальными, а суть проблемы в том, что они не достигнуты. Что-то делалось не так. Надо искать новые пути решения проблемы. При этом над целью, как над образом желаемого положения вещей, надо тоже подумать: обновить, переформулировать, сделать ее более ясной, конкретной, понятной. Определим, к примеру, цель, как ответ на вопрос: «что мы хотим в сложившейся ситуации сделать?». Ответами могут быть: «понять, почему эта проблема так живуча и до сих пор не решена», «выделить факторы, изменение которых может способствовать решению проблемы», «исследовать данную проблему с системных позиций теории управления изменениями».

Задачи - действия, необходимые для достижения цели. Желание найти решение проблемы порождает цели. Придумывание конкретных шагов по достижению выбранной цели формирует перечень задач. В результате получается дерево: проблема – цель – задачи. Задачи должны быть поставлены четко и ясно. Каждая задача должна удовлетворять критериям SMART: быть предельно конкретной, измеримой, достижимой, согласованной с целью и определенной во времени.

Выводы - описание результатов исследования, резюме всего, что написано в основной части. Выводы нужно сформировать таким образом, чтобы доказать, что поставленные цели и задачи были реализованы, что получен результат, и он имеет ценность (экономическую, общественную и т.д.).

Организация текста научной статьи

подавляющее большинство научных журналов требуют, чтобы статьи имели следующую структуру:

- название
- список авторов, место их работы и адреса, место выполнения представляемого исследования
 - . реферат (аннотация)
 - ключевые слова
 - . введение (описание проблемы, обзор литературы, выбор методов, формулировка цели и задач)
 - . основная часть (применяемые методы, результаты, обсуждение)
 - заключение, выводы
 - . список использованной литературы.

Название статьи составляется, как комбинация из небольшого количества слов (от трех до пятнадцати), которая адекватно описывает содержание статьи. Название – единственная часть статьи, относительно которой можно сказать, что она будет обязательно прочитана. Функция названия – привлечь как можно больше заинтересованных читателей к прочтению самой статьи. Если название не будет передавать содержание статьи должным образом, то,

возможно, статья никогда не будет прочитана теми специалистами, для которых она была предназначена.

Реферат (Аннотация) – краткий пересказ содержания статьи. Реферат должен кратко описывать цели исследования, методы, результаты и главные выводы. Самые главные принципы написания реферата – краткость, четкость и понятность. По читаемости реферат занимает второе место после названия статьи. Его функция – ориентировать потенциальных читателей относительно содержания статьи и заинтересовать их настолько сильно, чтобы у них возникло желание прочитать всю статью целиком.

Рекомендуемый объем реферата – 500 печатных знаков или 50-250 слов. Точный объем зависит от требований печатного издания и сложности изложенного материала.

Ключевые слова можно назвать поисковым образом научной статьи. Во всех библиографических базах данных возможен поиск статей по ключевым словам. По значению и смыслу набор ключевых слов представляет основные точки интереса опубликованного документа, и предназначен для привлечения внимания заинтересованных лиц.

Введение – место для информации, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье, без дополнительного обращения к другим литературным источникам. Кроме того, во введении должно содержаться обоснование актуальности, новизны и необходимости исследования. Обычно введение состоит из четырех подразделов.

1. Простое и понятное *описание проблемы*, с которой связано исследование, и обоснование ее актуальности. Задача этого подраздела – привлечь и удержать внимание читателей, в том числе, и тех, которые не являются прямыми специалистами в рассматриваемой области.

2. *Обзор литературы*, связанной с исследованием. В обзор следует включать те, и только те источники, которые необходимы для понимания дан-

ного исследования, обоснования целей и задач исследования, гипотез исследования, выбора методов, сравнения конкурирующих методов и получаемых с их помощью результатов.

3. *Описание белых пятен* в проблеме или того, что еще не сделано. Здесь дается описание некоторой проблемы или ее части, в которой

- исследования еще не проводились никем, потому, что этот аспект проблемы был не замечен, пропущен или игнорирован;
- имеются противоречия или конфликты между результатами разных исследователей, гипотезами, выводами;
- необходимо продолжить или расширить исследования, так как их было недостаточно.

4. *Формулировка цели и задач исследования.* Здесь потребуется объяснение логики построения цепочки проблема – цель – задачи с обоснованием их актуальности, научной новизны и практической значимости.

По мере того, как пишутся последующие разделы статьи и получается новая информация, может возникнуть необходимость переписывать цели и задачи исследования, а также другие части введения или введение полностью.

Методы получения результатов. В этом разделе описываются методы и процедуры, которые использовались для получения результатов. Если речь идет об экспериментальных исследованиях, то сначала обычно дается общая схема экспериментов, затем сами эксперименты представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести эксперименты у себя в лаборатории, пользуясь лишь текстом статьи. В теоретической работе в этом разделе должны быть приведены подробные математические выкладки с такой степенью подробности, чтобы их можно было легко воспроизвести и

проверить правильность полученных результатов. Если описание математических преобразований занимает слишком много места, то можно привести их в приложении к статье.

Результаты. В этом разделе представляются полученные экспериментальные или теоретические данные как факты. Приводятся только собственные материалы, полученные в этой работе и имеющие отношение к данной задаче. Результаты представляются в обработанном виде: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков с краткими описаниями. Без анализа, интерпретации, выводов, сопоставления с данными других исследователей.

Обсуждение. В этом разделе рассматривается смысл полученных данных, проводится сопоставление с данными других исследователей, объясняются согласия и противоречия, находятся причинно-следственные связи между обнаруженными фактами, дается интерпретация обнаруженных закономерностей, обсуждается значение полученных результатов для решения исследуемой проблемы и перспективы их дальнейшего применения, предлагаются направления будущих исследований.

Заключение. В этом разделе подводятся итоги выполненной работы. Оценивается степень достижения поставленной цели и выполнения задач исследования, указанных во введении. Отмечается научная новизна и значимость полученных результатов для развития теории и практики выбранной области исследований. подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести эксперименты у себя в лаборатории, пользуясь лишь текстом статьи. В теоретической работе в этом разделе должны быть приведены подробные математические выкладки с такой степенью подробности, чтобы их можно было легко воспроизвести и проверить правильность полученных результатов. Если описание математических преобразований занимает слишком много места, то можно привести их в приложении к статье.

Результаты. В этом разделе представляются полученные экспериментальные или теоретические данные как факты. Приводятся только собственные материалы, полученные в этой работе и имеющие отношение к данной задаче. Результаты представляются в обработанном виде: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков с краткими описаниями. Без анализа, интерпретации, выводов, сопоставления с данными других исследователей.

Обсуждение. В этом разделе рассматривается смысл полученных данных, проводится сопоставление с данными других исследователей, объясняются согласия и противоречия, находятся причинно-следственные связи между обнаруженными фактами, дается интерпретация обнаруженных закономерностей, обсуждается значение полученных результатов для решения исследуемой проблемы и перспективы их дальнейшего применения, предлагаются направления будущих исследований.

Заключение. В этом разделе подводятся итоги выполненной работы. Оценивается степень достижения поставленной цели и выполнения задач исследования, указанных во введении. Отмечается научная новизна и значимость полученных результатов для развития теории и практики выбранной области исследований.

Приложение 8. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1 «ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ»

1. Основы технических измерений

В метрологии принято различать прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения.

При прямых измерениях объект исследования приводят во взаимодействие со средством измерений и по показаниям последнего отсчитывают значения измеряемой величины. Порой показания прибора умножают на некоторый коэффициент, вводят соответствующие поправки и т. п.

Зависимость между измеряемой величиной X и результатом измерения Y при прямом измерении характеризуется уравнением:

$$Y = X.$$

При косвенных измерениях искомое значение измеряемой величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами аргумента

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

Последние (значения X_1, X_2, \dots, X_n) находят в результате прямых, а иногда косвенных измерений. Например, плотность однородного твердого тела находят как отношение массы тела к его объему, где массу и объем тела измеряют непосредственно.

Совместные и совокупные измерения по способам нахождения искомых значений измеряемых величин очень близки: и в том, и в другом случае они находятся путем решения системы уравнений, коэффициент и отдельные члены получаются в результате измерений. При совокупных измерениях проводят измерения несколько одноименных величин, а при совместных – разноименных.

Например, измерение, при котором массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам сравнения масс различных соче-

таний гирь данного набора, – это совокупное измерение. Измерение температурного коэффициента сопротивления резистора по результатам прямых измерений сопротивления и температуры есть совместное измерение [5].

1.1. Методы измерений

По приемам использования принципов и средств измерений различают методы непосредственной оценки и методы сравнения.

Метод непосредственной оценки характеризуется тем, что значение измеряемой величины определяется непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, заранее градуированного в единицах измеряемой величины.

Определяющим признаком метода сравнения является то, что в процессе каждого измерения происходит сравнение двух однородных независимых друг от друга величин – известной и измеряемой. При измерениях методами сравнения используются реальные физические меры, а не их «отпечатки».

Одновременное сравнение осуществляется нулевым и дифференциальным методами. Разновременное – методом замещения.

В нулевом методе прибором сравнения измеряется разность измеряемой X и образцовой величин X_0 :

$$\varepsilon = X - X_0.$$

Регулируя образцовую величину X_0 , уменьшают эту разность до нуля.

Поскольку на индикатор нуля воздействует разность величин, предел измерения его может быть выбран меньшим, а чувствительность больше, чем у прибора для измерения методом непосредственной оценки. Точность индикации равенства двух величин может быть весьма большой. Практически точность измерения нулевым методом равна точности меры.

Примером нулевого метода измерений является измерение массы на равноплечих весах с помещением измеряемой массы и уравнивающих ее гирь на двух чашках весов.

В дифференциальном методе на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины ε и известной величины, воспроизводимой мерой X_0 . Результат измерения находится как

$$Y = X_0 + \varepsilon.$$

Измерительный прибор измеряет не всю величину X , а только ее часть ε , что позволяет уменьшить влияние на результат измерения погрешности измерительного прибора. Влияние погрешности измерительного прибора тем меньше, чем меньше разность ε .

В методе замещения измеряемую величину X замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Техника измерения состоит в следующем. Сначала на вход измерительного прибора подают измеряемую величину X и отмечают показания прибора (отсчет) Y_1 . После этого вместо измеряемой величины на той же самый вход (это существенно) прибора подают величину X_0 , воспроизводимую мерой. В этом случае показание прибора становится равным Y_2 . Изменяя величину, воспроизводимую мерой, добиваются равенства показаний, т. е. $Y_1 = Y_2$. Можно утверждать, что $X = X_0$ – независимо от погрешности измерительного прибора.

1.2. Виды погрешности измерений

При определении состояния объекта контроля, его работоспособности необходимо учитывать погрешности измерений. Существуют три вида погрешности: систематическая, случайная и грубая.

Систематическая (детерминированная составляющая) погрешность постоянна по величине и знаку или меняется по определенному закону. Ее можно определить и тем самым устранить из результата измерений. Примером такой погрешности может быть температурная погрешность, погрешность, обусловленная износом измерительной поверхности прибора, погрешность градуировки, методическая погрешность.

Случайная погрешность меняется по величине и знаку случайным образом, определяется множеством факторов, влияние которых в отдельности на результат измерений очень сложно установить.

Систематическая погрешность переходит в разряд случайных, если не учитывать закономерностей влияния отдельных факторов на результат измерений. Так, погрешность градуировки переходит в разряд случайной, если не будет использоваться градуировочная кривая. То же самое с температурной погрешностью, если не проводить измерения температуры и не учитывать ее влияние на показания прибора.

Случайная погрешность учитывается расчетом доверительного интервала, в пределах которого с доверительной вероятностью находится истинное значение измеряемой величины. Доверительный интервал можно уменьшить, увеличивая количество измерений. По правилу корня из n разброс отклонений средних значений в корень из n раз меньше разброса единичных результатов измерений.

Грубая погрешность обусловлена случайными, единичными факторами. Например, промахом оператора, его ошибкой. Результат измерений, выделяющийся из общего ряда, необходимо исключить. Критерием может служить правило трех сигм ($\sigma = Sx$). То, что не входит в пределы $\pm 3\sigma$, можно считать грубой погрешностью.

1.3. Погрешность и точность

Часто понятия «погрешность» и «точность» рассматриваются как синонимы. Однако эти термины имеют совершенно различные значения. Погрешность показывает, насколько близко измеренное значение к его реальной величине, то есть отклонение между измеренным и фактическим значением. Точность относится к случайному разбросу измеряемых величин.

Когда мы проводим некоторое число измерений до момента стабилизации напряжения или же какого-то другого параметра, то в измеренных значениях будет наблюдаться некоторая вариация. Это вызвано тепловым шумом в измерительной цепи измерительного оборудования и измерительной установки. На левом графике рис. 1.1 показаны эти изменения.

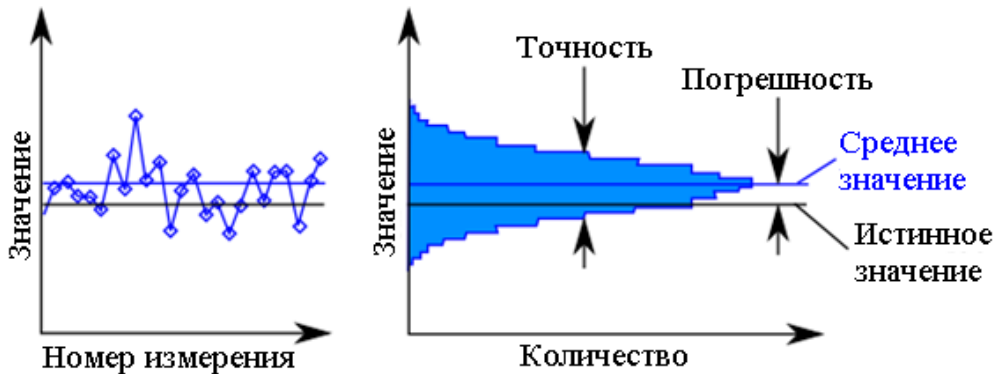


Рис. 1.1 – Погрешность и точность

1.4. Определение погрешности при косвенных измерениях

При косвенных измерениях находят измеряемую величину по известной зависимости:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

Выражение определяет явно нелинейную функцию. В методе малого параметра в области достаточно небольших отклонений параметров X_i можно считать нелинейную функцию $F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ линейной.

Ограничиваясь первыми членами разложения ряда Фурье (метод малого параметра), можно представить погрешность косвенного измерения:

$$\Delta Y = \sum_1^n \frac{dF}{dX_i} \Delta X_i = \sum_1^n W_i \Delta X_i,$$

где W_i – коэффициент влияния (чувствительности) измеряемого параметра X_i на результат измерений Y .

Полученное значение погрешности соответствует случаю, когда измерения всех параметров определено при максимальной погрешности.

Если распределение случайных погрешностей аргументов соответствует нормальному закону распределения, можно записать более вероятное значение погрешности:

$$\Delta Y = \sqrt{\sum_1^n \left(\frac{dF}{dX_i} \Delta X_i \right)^2} = \sqrt{\sum_1^n W_i^2 \Delta X_i^2}.$$

1.5. Представление результатов измерений

Большую часть проводимых измерений составляют прямые однократные измерения. Их отличает простота, высокая производительность, низкая стоимость при удовлетворительной точности.

Согласно ГОСТ 8.401–80 «ГСИ. Классы точности измерений. Общие требования» любое измерение оценивается точностью измерения, которое представляет собой качество измерений, отражающее близость результатов к истинному значению измеряемой величины.

При производственном контроле чаще всего применяется способ выражения точности измерений интервалом, в котором с установленной вероятностью находится истинное значение измеряемой величины. Для этого способа установлена следующая форма представления результатов измерения:

$$X = X_{\text{изм}} \pm \Delta X, P,$$

где Δ – нижняя и верхняя границы суммарной погрешности измерения;

P – доверительная вероятность того, что измеряемая величина находится в этих границах.

Погрешность при однократном измерении определяется суммированием величин приборной и методической погрешностей. Остальными видами погрешностей можно из-за их малости пренебречь.

Приборная погрешность определена классом точности прибора.

Методическая погрешность обусловлена схемой измерения. Например, при измерении напряжения вольтметром, сопротивление которого конечно, вносится методическая погрешность, определяемая изменением цепи при включении вольтметра.

Эта погрешность имеет систематическую и случайную составляющие. Систематическую погрешность можно учесть и исключить. Случайная погрешность в этой схеме измерения определяется погрешностями измерений сопротивления вольтметра и сопротивления цепи, на которой измеряется напряжение.

При многократных измерениях уменьшается погрешность измерений в корень из n раз. Представление результата измерения в этом случае:

$$X = X_{\text{cp}} \pm t \frac{Sx}{\sqrt{n}}, P,$$

где
$$X_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_1^n X_i, Sx = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - X_{\text{cp}})^2}{n-1}};$$

X_{cp} – среднее значение результатов измерений;

t – коэффициент Стьюдента, определенный по заданной вероятности и количеству измерений n ;

Sx – среднеквадратическое отклонение случайной величины (результатов измерений);

P – доверительная вероятность того, что истинное значение измеряемой величины находится в этом интервале.

Пусть произведено n измерений одной и той же величины с помощью одного и того же средства измерения. Задача обработки результата измерений формулируется так: исходя из n отдельных результатов измерений, определить интервал величин, в котором с доверительной вероятностью P может находиться значение измеряемой величины.

2. Общие сведения о статистической методах управления качеством продукции

Имеются три рода лжи: ложь,
наглая ложь и статистика.

*Б. Дизраэли, английский
государственный деятель
и писатель*

Опытный конструктор или технолог каждые четыре часа в течение рабочего дня, хочет он того или не хочет, допускает ошибку средней сложности (мелкие чаще).

Рост сложности и функциональной значимости приводит к высоким потерям при отказе аппаратуры. По некоторым данным, в США для космических объектов при входном контроле затраты составляют 15 долл., при монтаже блоков – 75 долл., 300 при испытании и 25 млн долл. при эксплуатации. Чем раньше обнаружен дефект, тем меньше затрат на его устранение.

Затраты на контроль определяются точностью изделия, его элементов и составляют 40% и более его себестоимости. Количество контролеров в США, странах Европы – 15%, в Японии – 6–15%, в России < 6%.

Парадокс: может ли быть выгодным брак? Чтобы ответить на этот вопрос ниже приведена диаграмма зависимости потерь на брак и затрат на контроль при изготовлении изделия (рис. 2.1). Из рисунка видно, что с уменьшением процента брака непропорционально быстро растут затраты на контроль, увеличивается себестоимость изделия. Точка А соответствует минимальным потерям производства, показывает оптимальное значение дефектности ($q_{\text{опт}}$).

Сочетание в рамках одного прибора изделий массового и уникального производства, изделий, выполненных различными предприятиями, ведомствами, странами требует единого подхода к установлению причин отказа.



Рис. 2.1 – Распределение затрат в зависимости от требований к качеству изделия:

- 1 – суммарные потери; 2 – потери от дефектности;
3 – производственные; 4 – потери на контроль

Среди причин отказов сферы разработки и производства занимают разные места. Например, для зенитных управляемых ракет (ЗУР) по вине разработчиков и производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) происходит 40% отказов, по вине комплектующих – 20%, остальные – по другим причинам: ошибки операторов, сбой питания.

Необходимо совместить анализ причин отказов с организацией контроля условий производства, качества труда и других компонентов технологического процесса (ТП).

В настоящее время процесс производства РЭА при требованиях максимального выигрыша по габаритам, массе, надежности и минимальной себестоимости ведется на основе самых последних достижений микроэлектроники и относится к категории сложных многооперационных процессов, использующих разнообразные электрофизические и физико-химические методы обработки.

Основой РЭА служат микроэлектронные функциональные узлы – интегральные схемы, соответствующим образом закрепленные и соединенные на поверхности основания – печатной плате.

Характерным примером сложного функционального блока такого типа является запоминающее устройство со схемой управления для системы отображения данных, применяемой в вычислительной технике. Это большая интегральная схема, содержащая тысячи транзисторов на кристалле кремния площадью несколько квадратных миллиметров.

Или другой пример: миниатюрная ЭВМ – карманный калькулятор на одной большой интегральной схеме. Качество и надежность такого калькулятора определяются в основном качеством и надежностью применяемой большой интегральной схемы.

Производство интегральных схем коренным образом отличается от производства радиоэлектронной аппаратуры на дискретных элементах, где сборочные операции по изготовлению отдельных узлов и прибора в целом, как правило, обратимы, т. е. возможны разборка конструкции изделия и замена недоброкачественных деталей. Технологические операции по изготовлению интегральной схемы необратимы. Более того, в большинстве случаев невозможна даже частичная утилизация деталей и материалов забракованных интегральных схем.

При изготовлении интегральных схем применяются более 200 технологических операций. Подавляющее большинство операций носит групповой характер, т. е. сразу обрабатываются сотни и тысячи интегральных схем, размещенных на одной кристаллической пластине. При этом важно подчеркнуть, что в течение всего технологического цикла обрабатывается один и тот же кристалл и брак на любой из операций делает бесполезными все предшествующие операции. Чистота атмосферы на многих операциях должна быть такой, чтобы в метре воздуха было не более 1–2 пылинок размером менее 0,5 мкм.

Все это предъявляет исключительно высокие требования не только к качеству материалов и оборудования, но и к качеству технологических процессов в производстве интегральных схем, которые должны обеспечивать надежную воспроизводимость всех режимов технологических операций на каждом участке технологической линии, содержащей сотни единиц оборудования.

Переход к разработке и модернизации таких сложных технологических процессов вызывает необходимость изменения в методиках их изучения, анализа и контроля, что требует знания физики, химии, электроники и др. Однако большое число вопросов анализа и контроля технологических процессов носит математический характер, требуя применения статистических и теоретико-вероятностных методов исследования.

2.1 Понятие о статистических методах [6]

Управление качеством как наука возникло в конце XIX столетия, с переходом промышленного производства на принципы разделения труда. Принцип разделения труда потребовал решения проблемы взаимозаменяемости и точности производства. До этого при ремесленном способе производства продукции обеспечение точности готового продукта производилось по образцам или методами подгонки сопрягаемых деталей и узлов.

Учитывая значительные вариации параметров процесса, становилось ясно, что нужен критерий качества производства продукции, позволяющий ограничить отклонения размеров при массовом изготовлении деталей.

В качестве такого критерия были предложены интервалы, устанавливающие пределы отклонений параметров в виде нижних и верхних границ. Поле значений такого интервала стали называть допуском.

Установление допуска привело к противостоянию интересов конструкторов и производителей: одним ужесточение допуска обеспечивало повышение качества соединения элементов конструкции, другим – создавало сложности с созданием технологической системы, обеспечивающей требуемые значения вариаций процесса.

Очевидно также, что при наличии разрешенных границ допуска у изготовителей не было мотивации «держаться» показатели (параметры) изделия как можно ближе к номинальному значению параметра, это приводило к выходу значений параметра за пределы допуска.

В тоже время (начало 1920-х гг.) некоторых специалистов в промышленности заинтересовало, можно ли предсказать выход параметра за пределы допуска. И они стали уделять основное внимание не самому факту брака продукции, а технологическому процессу, в результате которого возникает этот брак или отклонение параметра от установленного допуска. В результате исследования вариабельности технологических процессов появились статистические методы управления процессами.

С момента зарождения статистических методов контроля качества специалисты понимали, что качество продукции формируется в результате сложных процессов, на результативность которых оказывают влияние множество материальных факторов и ошибки работников. Поэтому для обеспечения требуемого уровня качества нужно уметь управлять всеми влияющими факторами, определять возможные варианты реализации качества, научиться его прогнозировать и оценивать потребность объектов того или иного качества.

В послевоенное время и в США, и в Европе появились национальные стандарты по качеству. Центральная роль в разработке нормативных документов в области качества принадлежит Международной организации по стандартиза-

ции (ISO). Начиная с 1990-х гг. идеи теории вариаций, статистического управления процессами (SPC) овладели не только специалистами-математиками, но и стали неотъемлемыми инструментами менеджеров и работников служб качества. Большой толчок дальнейшему развитию принципов управления качеством дал японский ученый Г. Тагути. Он предложил учитывать вариации свойств продукции на разных этапах ее разработки, что для менеджмента качества явилось революционной идеей. По Тагути, нужно было установить те сочетания параметров изделий и процессов, которые приводили к минимуму вариаций процессов. Эти процессы, которые стали называть *робастными*, были устойчивы к вариациям входных параметров процессов.

В разработку методов общего назначения большой вклад внесли японские специалисты. К ним относятся «Семь простых методов» (или «Семь инструментов качества»), включающие в себя контрольные листки; метод расслоения; графики; диаграммы Парето; диаграммы Исикавы; гистограммы; контрольные карты.

Статистические методы управления включают статистический анализ, регулирование, контроль и оценку.

Статистический анализ в свою очередь включает следующие направления:

- анализ видов и причин брака и отказов;
- анализ влияния отдельных факторов ТП на показатели качества;
- установление связи между случайными величинами;
- определение законов распределения случайной величины;
- определение точности, настроенности и устойчивости ТП;
- планирование и обработка эксперимента, оптимизация;
- исследование операций, принятие обоснованных решений;
- создание математических моделей;
- назначение планов приемочного, статистического контроля, продолжительности испытаний и расчет границ регулирования.

2.2 Анализ технологических процессов в производстве гибридно-пленочных интегральных схем по критериям точности и стабильности

Физико-технологический анализ условий возникновения производственных погрешностей изготовления тонкопленочных компонентов позволяет считать вполне реальным распределение этих погрешностей по законам, близким к нормальному.

Однако на практике весьма часто приходится сталкиваться с распределениями погрешностей параметров качества, отличными от нормального закона.

На рис. 2.2, а изображена гистограмма распределения поверхностного сопротивления резистивных тонких пленок. По внешнему виду распределения можно судить о явном отличии его от нормального закона. Последнее подтверждается также проверкой сходимости с нормальным законом по известным критериям «согласия» эмпирических распределений с теоретическим.

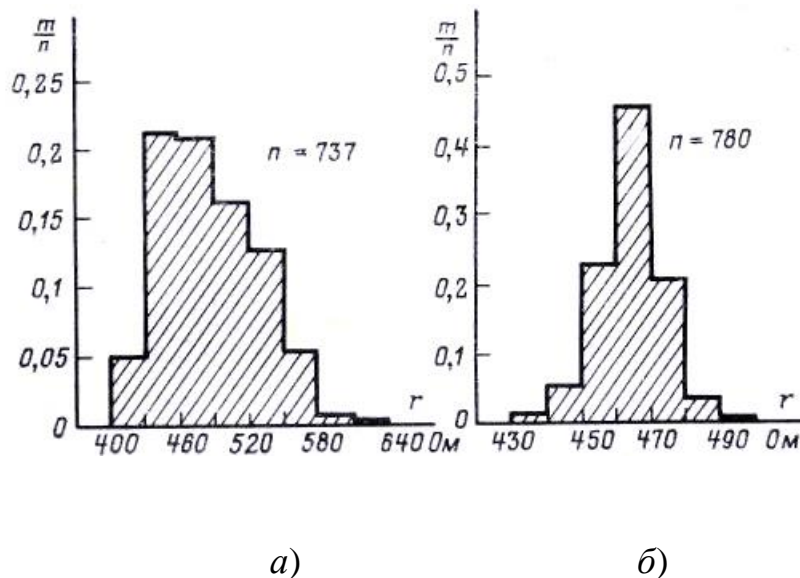


Рис. 2.2– Гистограммы распределения поверхностного сопротивления резистивных тонких пленок: а) анормальное распределение; б) нормальное распределение после введения корректив в технологию напыления; m – число значений сопротивления R в соответствующем интервале; n – общее число измеренных поверхностных сопротивлений

После внесения соответствующих коррективов в технологию напыления (строгое соблюдение технологических режимов, контроль за точностью измерительных средств, усовершенствование системы испаритель-подложка и т. д.) на этих же установках было вновь произведено напыление.

На рис. 2.3, б изображена гистограмма распределения поверхностного сопротивления после коррекции технологического процесса. Видно, что по внешнему виду гистограмма напоминает нормальный закон, что подтверждается и проверкой по критерию «согласия».

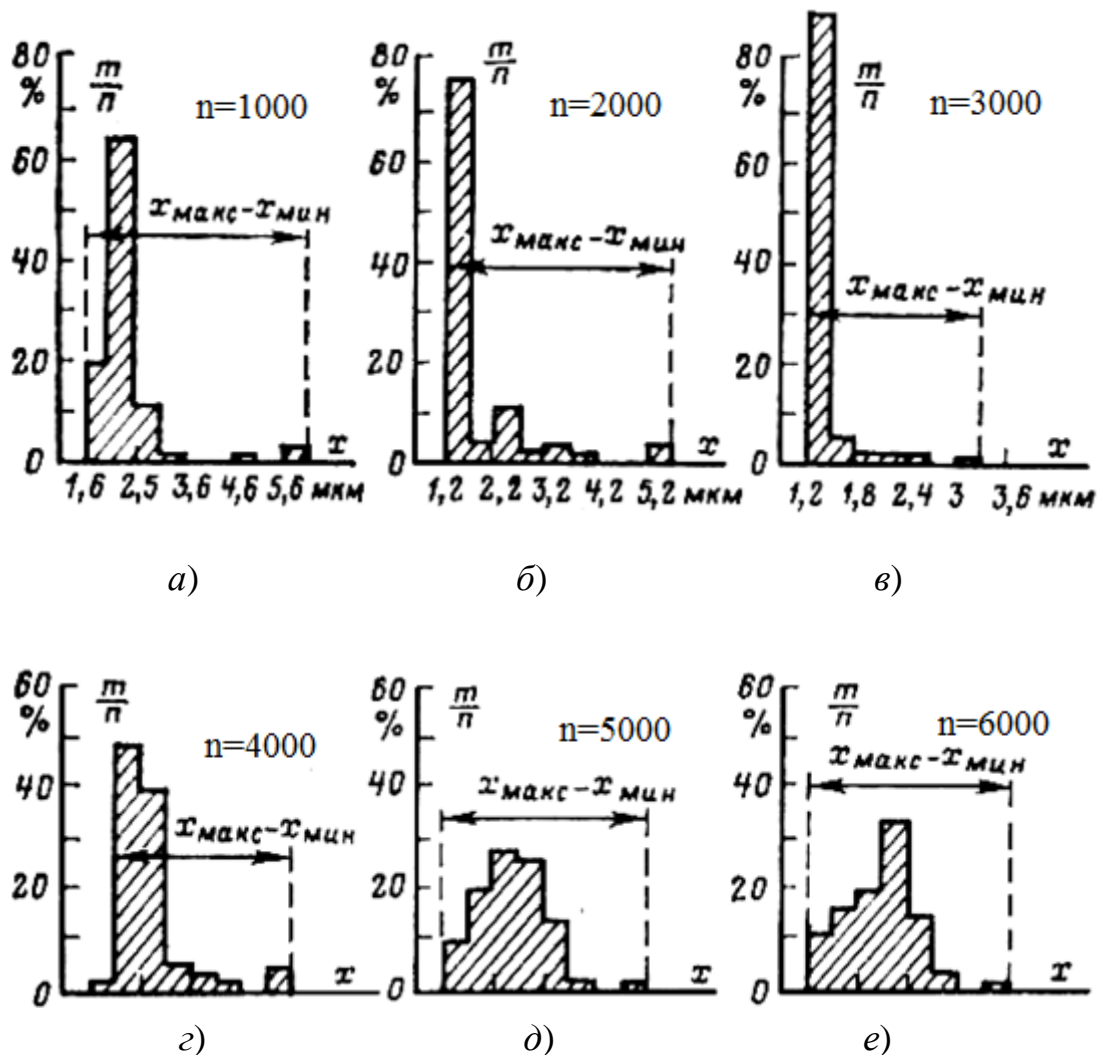


Рис. 2.3— Гистограммы распределения толщины фоторезистивного покрытия

На рис. 2.3 изображены эмпирические распределения толщины фоторезистивного покрытия на поверхностях ситалловых подложек, покрытых предварительно пленкой алюминия. Толщина пленок фоторезиста измерялась с

помощью профилографа-профилометра. С этой целью слой фоторезиста экспонировался через специальный тест-фотошаблон и после проявления и задубливания поверхность подложки оказывалась покрытой элементарными участками фоторезиста. Фоторезист наносился методом центрифугирования.

Из рассмотрения рис. 2.3 видно, что при сравнительно низкой частоте вращения ротора центрифуги $n = 1000 \div 4000$ об/мин распределения толщины фоторезиста отличаются от нормального закона, приближаясь к нему при $n = 5000 \div 6000$ об/мин.

Близость распределений к нормальному закону может быть приближенно оценена с помощью так называемого правила трех сигм. При этом границы реального поля рассеяния (X_{\max} и X_{\min}) сравниваются с вычисленными значениями $X_{\text{ср}} \pm 3\sigma$ в предположении ожидаемого нормального закона. Разность между реальными и вычисленными значениями является приближенным критерием близости эмпирического распределения нормальному.

Приближение распределений толщины фоторезиста к нормальному закону при увеличении числа оборотов ротора центрифуги можно объяснить улучшением условий растекания фоторезиста по подложке и уменьшением «краевого» утолщения, что в итоге ведет к сглаживанию профиля толщины слоя по поверхности подложки [6].

Безусловно, из этого не следует, что во всех без исключения случаях возможно распределение погрешности параметров качества по нормальным законам.

3. Статистические методы предупредительного контроля качества

3.1 Статистический ряд и его характеристики

Для организации статистического контроля и анализа технологических процессов первоначально необходимо набрать достаточное количество статистических данных по интересующим параметрам качества изделий. Как правило, эти данные являются случайными величинами, которые в результате опыта могут принять то или иное значение, причем неизвестно заранее, какое именно.

Сбор и обработка статистических данных основаны на применении так называемого выборочного метода.

Выборкой называют часть изделий, отобранных из общей их совокупности для получения информации о всей массе изделий, называемой общей или генеральной совокупностью. Последняя подразумевает однородную совокупность параметров качества контролируемых изделий. Если выборка достаточно хорошо представляет соответствующие характеристики генеральной совокупности, то такую выборку называют представительной или репрезентативной.

При анализе и контроле технологических процессов выборку классифицируют по ряду признаков, например по способу образования (повторные и бесповторные), по преднамеренности отбора (пристрастные и случайные), по отношению ко времени образования (единовременные и текущие), по целевому назначению (общепроизводственные, одноагрегатные) и т. д.

Повторная выборка образуется путем извлечения изделий из генеральной совокупности с последующим возвращением в нее после измерения параметров качества. Такое извлечение и возвращение может быть проведено многократно.

При бесповторной выборке извлеченные изделия не возвращаются в генеральную совокупность, при этом дается гарантия, что ни одно изделие не попадет дважды в выборку.

Если при отборе изделий из генеральной совокупности одним отдается предпочтение по отношению к другим, например отбор изделий с заранее оговоренным признаком, то такую выборку называют *пристрастной*.

Случайная выборка образуется при отборе изделий из генеральной совокупности, если возможность попадания в выборку каждого из них равновероятна. Например, изделие отбирается наугад из разных источников (разные поточные линии, разные единицы оборудования и т. д.).

Единовременная выборка образуется из партии изделий после их изготовления независимо от того, в какой момент времени изготовлено каждое из них.

В отличие от единовременной текущая выборка состоит из изделий, последовательно изготовленных за определенный промежуток времени.

Общепроизводственные выборки преследуют цель получения общей оценки технологического процесса независимо от того, сколько поточных линий, единиц оборудования и т. п. занято в производстве продукции.

Одноагрегатная выборка образуется из изделий, изготовленных на определенном оборудовании (агрегате).

Помимо названных выше применяют и другие, так называемые экспериментальные выборки, предназначенные для анализа точности и стабильности отдельных технологических операций, изучения влияния технологических режимов отдельного оборудования, оснастки на точность и стабильность качества продукции и пр.

3.2 Виды контроля

В зависимости от места контроля различают приёмочный, промежуточный, входной (покупных изделий) и выходной; от объема – сплошной и выборочный; от периода проверки – первичный и летучий; от особенности проверки – разрушающий и неразрушающий.

Основу статистических методов контроля качества представляет выборочный контроль, при котором контролируется не вся совокупность изделий (партия), а некоторая ее часть, называемая выборкой. Наличие альтернативы «годен

– не годен» является специфической особенностью контроля по альтернативному признаку. Вероятность ошибочных решений о качестве в этом случае сравнима с вероятностью ошибок при сплошном контроле за счет погрешностей измерений. Этот вид контроля получил название приемочного или последующего статистического контроля.

Статистические методы стали использовать не только для контроля качества уже изготовленной партии изделий, но и для контроля за качеством на всем протяжении изготовления такой партии по пробам небольшого объема для обнаружения и предупреждения возможных причин появления брака в конце технологического процесса изготовления изделия. Тем самым статистические методы позволяют выявлять не только брак в уже изготовленной партии, но и предупреждать его появление в ходе технологического процесса. Этот вид контроля получил название текущего предупредительного контроля.

Текущий предупредительный контроль осуществляется на практике в форме введения карт статистического контроля. В этих картах по оси абсцисс откладываются номера отбираемых через определенные промежутки времени проб небольшого объема (3–10 шт.). По оси координат указывается положение центра группирования пробы, границы ее разброса. Если медиана или среднее арифметическое значение пробы выйдет за определенные границы, подается сигнал о необходимости подналадки технологического процесса.

Выборочный контроль используется:

- 1) когда сплошной контроль невозможен (например, при разрушении изделия в ходе контроля);
- 2) когда с технической точки зрения не имеет смысла поштучный контроль (например при литье, прессовании);
- 3) когда достигается высокая надежность контроля;
- 4) когда выборочный контроль выгоден в экономическом отношении (расходы на контроль сравнимы с потерями из-за дефектности);
- 5) при разного рода инспекциях.

3.3 Колеблемость выборочных оценок

При использовании выборочного контроля существенно, что каждый образец в контролируемой партии имеет равную вероятность попасть в выборку. Выборка, отвечающая этому условию, считается репрезентативной, обладающей статистическими свойствами, характерными для всей совокупности. Характеристики выборки при увеличении объема стремятся к характеристикам всей партии.

Когда из партии, содержащей определенную долю изделий, извлекают выборки установленного образца, при подсчете числа дефектных изделий оказывается, что это число меняется вместе с каждой выборкой. Из-за колебаний в оценках дефектности партии по результатам контроля выборок возможны ошибки принятия решений о годности всей партии. Партии с уровнем дефектности q больше предельно допустимого уровня q_m могут быть приняты. И, наоборот, при $q < q_m$ партия может оказаться забракованной.

Допустимый процент принятия ошибочных решений для годных партий называется риском поставщика (ошибка первого рода) и обозначается через α , причем при планировании выборочного контроля обычно принимают $\alpha = 0.05$ (при контроле выборок из 100 партий возможен прием пяти дефектных партий).

Риском потребителя (ошибка второго рода) называют вероятность ошибки, при которой негодную партию изделий в результате колебаний выборочной оценки могут принять годной. Эту вероятность обозначают через β и обычно принимают $\beta = 0.1$.

Большую по тяжести последствий ошибку называют ошибкой первого рода.

3.4 Выборочные характеристики

Значение параметров качества изделий выборки представляет собой первичный статистический материал, подлежащий обработке, осмыслению и науч-

ному анализу. Такая однородная совокупность называется «простой статистической совокупностью» или «простым статистическим рядом». Обычно простая статистическая совокупность оформляется в виде таблицы с одним входом, в первом столбце которой стоит номер опыта, а во втором – замеренное значение параметра.

Среди выборочных характеристик выделяют показатели, относящиеся к центру распределения (меры положения), показатели рассеяния вариант (меры рассеяния) и меры формы распределения.

Если расположить замеренные значения параметра в возрастающем или убывающем порядке, то получится так называемый упорядоченный (вариационный) ряд или упорядоченное распределение различных значений одного и того же параметра качества.

Для группирования одинаковых значений параметра статистический материал должен быть подвергнут дополнительной обработке – строится так называемый «статистический ряд».

Предположим, что в нашем распоряжении N наблюдений над случайной величиной X , которые оформлены в виде простой статистической совокупности, причем отдельные значения повторяются некоторое число раз. Тогда одни и те же значения случайной величины (СВ) объединим, а число случаев для каждого из повторяющихся значений обозначим через $m_1, m_2, m_3, \dots, m_i$, где m_i обычно называют абсолютной частотой или статистическим весом. Сумма частот в интервалах равна количеству наблюдений:

$$\sum m_j = N.$$

Построим таблицу (табл. 4.1), в которой приведены значения параметра в ранжированном порядке и соответствующие частоты.

Таблица 4.1 – Статистический ряд случайных величин

X	x_1	x_2	x_3	...	x_i	...	x_k
m	m_1	m_2	m_3	...	m_i	...	m_k

Таблица для непрерывного распределения строится аналогично случаю дискретного распределения параметра, где вместо дискретных значений величины X приводятся интервалы в порядке их расположения вдоль оси абсцисс и соответствующие им частоты (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Интервальное распределение случайной величины

X	$x_1; x_2$	$x_2; x_3$	$x_3; x_4$...	$x_i; x_{i+1}$...	$x_k; x_{k+1}$
m	m_1	m_2	m_3	...	m_i	...	m_k

Здесь X – обозначение i -го интервала; $x_i; x_{i+1}$ – его границы; m_i – соответствующая частота; k – число интервалов.

Часто за величину интервала принимают его середину, т. е. центральное значение.

Если значение случайной величины находится в точности на границе двух интервалов, можно считать (чисто условно) данное значение принадлежащим в равной мере к обоим интервалам и прибавлять к числам и того, и другого интервала по $1/2$.

Число интервалов, на которые следует группировать статистический материал, не должно быть слишком большим (тогда ряд распределения становится невыразительным, и частоты в нем обнаруживают незакономерные колебания); с другой стороны, оно не должно быть слишком малым (при малом числе интервалов свойства распределения описываются статистическим рядом слишком грубо).

Практика показывает, что при достаточно большом числе наблюдений рационально выбирать число интервалов около 10–20 (для 100 наблюдений не меньше восьми интервалов). Известно правило Стерджеса выбора количества интервалов: $k=1+3.22 \lg N$.

Длины интервалов могут быть как одинаковыми, так и различными. Проще, разумеется, брать их одинаковыми. В этом случае длина интервала подсчитывается по формуле:

$$\Delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k},$$

где k – выбранное число интервалов.

При формировании данных о случайных величинах, распределенных крайне неравномерно, более удобно выбирать в области наибольшей плотности распределения интервалы более узкие, чем в области малой плотности. В случае неодинаковой длины интервалов удобнее пользоваться не абсолютной величиной m_i , а относительной величиной, равной отношению частоты m_i , приходящейся на i -й интервал или i -е значение параметра, к общему числу наблюдений N :

$$w_i = \frac{m_i}{N}.$$

Эта относительная величина называется частотой. Нетрудно заметить, что сумма частот всех интервалов равна единице.

Статистический ряд часто оформляется графически в виде кривых распределения случайной величины X . Наиболее распространенными изображениями статистического ряда являются изображения его в виде полигона и гистограммы [10].

Полигон распределения строится в прямоугольной системе координат. По оси абсцисс откладываются значения параметра качества, а по оси ординат – соответствующие им частоты (или частоты). Чаще всего полигоны применяются для дискретных изменений значения параметра, но могут быть применены и для непрерывных (интервальных) изменений. В этом случае из середины интервала, отложенного по оси абсцисс, восстанавливается перпендикуляр, высота которого пропорциональна частоте (или частоте) данного интервала. Вершины ординат соединяются прямыми линиями. Для замыкания крайние ординаты соединяются с близлежащей серединой интервала, в которой частота (или частота) равна нулю.

Пример изображения статистического ряда в виде полигона приведен на рис. 3.1.

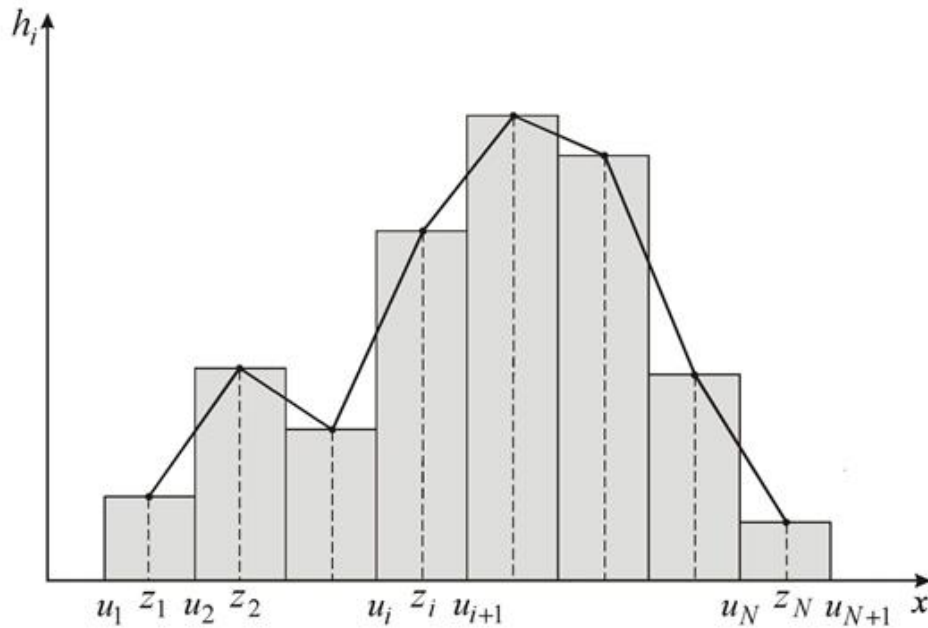


Рис. 3.1– Изображение статистического ряда в виде полигона и гистограммы

Гистограмма строится аналогично полигону в прямоугольной системе координат. Отличие гистограммы от полигона состоит в том, что на оси абсцисс берутся не точки, а отрезки, изображающие интервал, и на каждом из интервалов как их основании строятся прямоугольники, высота которых пропорциональна соответствующим частотам.

В случае неравных по длине интервалов для построения гистограммы нужно частоту каждого интервала разделить на его длину и полученное число взять в качестве высоты прямоугольника.

Площадь прямоугольника в таком случае будет равна частоте данного интервала.

Разбивая интервалы на несколько частей и исходя из того, что вся площадь гистограммы остается неизменной, можно получить многоступенчатую гистограмму, которая в пределе (за счет уменьшения величины интервала и увеличения числа наблюдений) перейдет в плавную кривую, называемую кривой распределения.

Для гистограммы относительных частот площадь ступенчатой фигуры соответствует сумме вероятностей и равна 1. Площадь каждого прямоугольника гистограммы равна вероятности попадания случайной величины в интервал, соответствующий основанию прямоугольника.

С увеличением количества членов исходного ряда вид кривой стабилизируется и может быть описан. К широко известным видам распределения СВ можно отнести равновероятный, нормальный, Вейбула, Фишера, Пирсона и др. законы распределения.

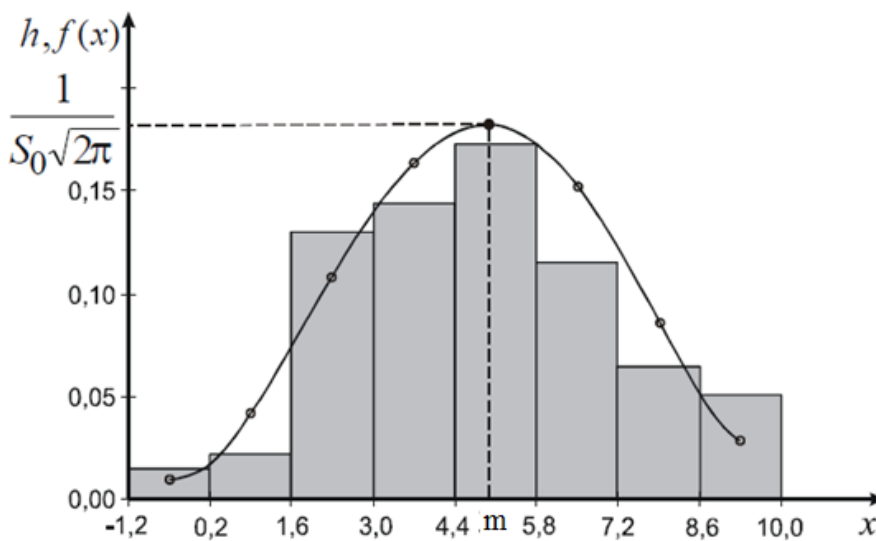


Рис. 3.2– Гистограмма относительных частот и кривая теоретической плотности вероятностей по нормальному закону распределения

Нормальное распределение – наиболее часто встречаемый вид распределения случайной величины. Кривая распределения имеет симметричный колоколообразный вид, может принимать положительные и отрицательные значения (рис. 3.2).

Особенность нормального закон среди всех других состоит в том, что он является предельным законом, к которому приближаются другие законы распределения при весьма часто встречающихся типичных условиях (предельная теорема).

Гистограмма и полигон относительных частот (рис.3.2), являющиеся статистическими оценками плотности вероятностей генеральной совокупности, схожи с кривой плотности вероятностей нормального закона.

На основании этого выдвигаем нулевую гипотезу H_0 : Генеральная совокупность, из которой взята выборка, распределена по нормальному закону с параметрами $m = X_{\text{ср}} = 4,9961$, $\sigma = S_0 = 2,2657$, то есть теоретическая плотность вероятностей имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}.$$

Зачастую удобно бывает представлять статистический ряд не графически, а характеризовать его отдельными числовыми параметрами, которые до некоторой степени отображают существенные черты статистического ряда.

В качестве одной из важнейших характеристик статистического ряда значений какого-либо параметра применяют среднюю величину этого параметра, около которого группируются все возможные значения данного параметра.

Математическая статистика различает ряд типов средних величин: гармоническую, геометрическую, арифметическую, квадратическую, кубическую и др.

Выбор одного из перечисленных типов средних для характеристики значений параметра статистического ряда делается не произвольно, а в зависимости от особенностей изучаемого явления и цели, для которой средняя исчисляется. Наиболее часто из указанных средних применяется средняя арифметическая, которую будем в дальнейшем называть выборочной средней арифметической и обозначать через $X_{\text{ср}}$.

Для простой статистической совокупности (когда каждое значение параметра встречается только один раз) средняя арифметическая подсчитывается по формуле:

$$X_{\text{ср}} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n}.$$

В случае статистического, вариационного ряда (когда значению параметра соответствует какая-то частота) средняя арифметическая имеет вид:

$$X_{\text{ср}} = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} x_j m_j}{n}.$$

Во втором случае среднюю называют «средней взвешенной».

Следует иметь в виду, что средняя только в том случае является обобщающей характеристикой, когда она применяется к однородной совокупности наблюдаемых значений параметра.

Кроме важнейшей из характеристик положения – средней, на практике иногда применяются и другие характеристики положения, в частности медиана и мода случайной величины.

Медианой случайной величины X называется такое ее значение Me , которое приходится на середину упорядоченного ряда. Таким образом, медиана – это значение параметра, которое делит упорядоченный ряд на две равные по объему группы.

Если в упорядоченном ряду $2i + 1$ случаев, то значение параметра у случая $i + 1$ будет медианным. Если в ряду четное число $2i$ случаев, то медиана равна средней арифметической из двух значений.

Таким образом, формулы для исчисления медианы имеют следующий вид:

$Me = x_{i+1}$ – для случая нечетного числа наблюдений;

$Me = (x_{i+1} + x_{i+2}) / 2$ – для случая четного числа наблюдений СВ.

Мода – это элемент выборки с наиболее часто встречающимся значением (наиболее вероятная величина).

Например: МОДА(10;14;5;6;10;12;13) равняется 10. Распределение с двумя «горбами» – двухмодальное.

Основными показателями рассеяния СВ являются интервал, дисперсия выборки, стандартное отклонение и стандартная ошибка.

Интервал (амплитуда, вариационный размах) – это разница между максимальным и минимальным значениями элементов выборки. Интервал является простейшей и наименее надежной мерой вариации или рассеяния элементов в выборке.

Более точно отражают рассеяние показатели, учитывающие не только крайние, но и все значения элементов выборки. Дисперсией выборки, или выборочным аналогом дисперсии, называется величина

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{ср}})^2}{n-1}.$$

Дисперсия выборки – это параметр, характеризующий степень разброса элементов выборки относительно среднего значения. Чем больше дисперсия, тем дальше отклоняются значения элементов выборки от среднего значения.

Выборочным стандартным отклонением (среднее квадратичное отклонение) называется величина

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{ср}})^2}{n-1}}.$$

Этот параметр также характеризует степень разброса элементов выборки относительно среднего значения. Чем больше среднее квадратичное отклонение, тем дальше отклоняются значения элементов выборки от среднего значения. Параметр аналогичен дисперсии и используется в тех случаях, когда необходимо, чтобы показатель разброса случайной величины выражался в тех же единицах, что и среднее значение этой случайной величины.

При $n \rightarrow \infty$ $S \rightarrow \sigma$ (сигма).

Стандартная ошибка или ошибка среднего находится из выражения:

$$S_{\text{ср}} = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Стандартная ошибка – это параметр, характеризующий степень возможного отклонения среднего значения, полученного на исследуемой ограниченной выборке, от истинного среднего значения, полученного на всей совокупности элементов. С помощью стандартной ошибки задается так называемый доверительный интервал. 95%-ный доверительный интервал, равный $x \pm 2s$, обозначает диапазон, в который с вероятностью $p = 0,95$ (при достаточно большом числе наблюдений $n > 30$) попадает среднее генеральной совокупности MX .

Выборочной квантилью x называется решение уравнения

$$Fn(x) = p.$$

Коэффициент вариации по среднему квадратическому отклонению:

$$Vx = \frac{s}{X_{cp}} 100\%.$$

4. Статистическая проверка гипотез

Замена теоретической функции распределения $F(x)$ на ее выборочный аналог $F_n(x)$ в определении математического ожидания, дисперсии, стандартного отклонения и т. п. приводят к выборочному среднему, выборочной дисперсии, выборочному стандартному отклонению и т. д. Выборочные характеристики являются оценками соответствующих характеристик генеральной совокупности. Эти оценки должны удовлетворять определенным требованиям. В соответствии с важнейшими требованиями оценки должны быть:

- несмещенными, то есть стремиться к истинному значению характеристики генеральной совокупности при неограниченном увеличении количества испытаний;
- состоятельными, то есть с ростом размера выборки оценка должна стремиться к значению соответствующего параметра генеральной совокупности с вероятностью, приближающейся к 1;
- эффективными, то есть для выборок равного объема используемая оценка должна иметь минимальную дисперсию [6–12].

Статистическая проверка гипотез

Статистической называется такая гипотеза (предположение), которая относится к виду или параметрам распределения случайной величины и которую можно проверить статистическими методами.

Статистическая проверка гипотез – важный раздел математической статистики, на основе использования которого был сделан ряд серьезных открытий в различных областях науки, позволяющий решать широкий круг практических задач. К ним относятся: выбор закона распределения случайных величин, проверка наличия зависимостей между ними, принадлежность выборочных данных к одной генеральной совокупности и др.

Задача статистической проверки гипотез возникает при экспериментальном исследовании (установлении оптимального режима работы изделия, сравнительной оценке различных технологических процессов, организации выборочного контроля, определении величин возможного брака), когда на основании выборочных наблюдений *необходимо дать ответ на вопрос согласуются ли данные эксперимента с выдвинутой гипотезой.*

Приведем ряд определений, используемых в теории статистической оценки гипотез [11].

Нулевой называется выдвинутая гипотеза H_0 .

Конкурирующей (альтернативной) называется гипотезу H_1 , которая противоположна нулевой.

Простой называют гипотезу, содержащую только одно предложение. Сложной называют гипотезу, состоящую из нескольких предложений.

Ошибки первого рода, когда отвергается правильная гипотеза H_0 . Вероятность этой ошибки определяется уровнем значимости α , который часто выбирается 0.001, 0.005, 0.1.

Ошибки второго рода, когда принимается неверная гипотеза H_1 . Вероятность ошибки второго рода определяется мощностью критерия β .

Ошибка первого рода имеет более тяжелые последствия.

Критерий проверки определяет границы существования одной гипотезы. Вне этих границ гипотеза H_0 отвергается при заданном уровне значимости α .

Статистическая проверка непараметрических гипотез

Предположение о виде функции распределения случайной величины (СВ) называют непараметрическими гипотезами.

Критерий Пирсона позволяет производить проверку согласия эмпирической и гипотетической функции распределения $F(x)$ [8].

Пусть генеральная совокупность имеет функцию распределения $F(x)$. Из этой совокупности извлечена выборка n ($n > 50$). Разобьем весь диапазон полученных результатов на k равных интервалов (размером d) и пусть в каждом интервале оказалось m_i измерений, причем $\sum m_i = n$.

Требуется на основе имеющейся информации проверить нулевую гипотезу, что гипотетическая функция распределения $F(x)$ значимо представляет данную выборку.

При проверке нулевой гипотезы с помощью критерия согласия придерживаются следующей последовательности действий:

Вычисляют вероятность попаданий случайной величины x_i в частичные интервалы $[x_i, x_i + d]$:

$$P_i = \int_{x_i}^{x_i+d} F(x)dx,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots k$, $F(x)$ – функция распределения случайной величины.

Для нормального закона распределения значение вероятности появления случайной величины X в интервале от центра группирования X_{cp} до значения X можно найти с помощью функции Лапласа (табл. 4.1). В таблице значение отклонение случайной величины от центра группирования нормировано величиной среднеквадратического отклонения Sx : $z = (X - X_{cp}) / Sx$.

Вероятность появления случайной величины X в интервале $x_i, x_i + d$

$$P_i = F(z_1) - F(z_2),$$

где $z_1 = (x_i - X_{cp}) / Sx$, $z_2 = (x_i + d - X_{cp}) / Sx$.

Таблица 4.1 – Значения функции Лапласа F(Z) (после запятой)

z	01	02	03	04	05	06	07	08	09
0.0	000 0040	0080	0120	0160	0199	0239	0279	0312	0359
0,1	039 0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0.2	079 0832	0871	0910	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0.3	117 1217	1265	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0.4	156 1591	1628	1664	1700	1735	1772	1808	1844	1879
0.5	191 1950	1986	2019	2054	2088	2123	2157	2190	2224
0.6	225 2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2517	2549
0.7	258 2611	2642	2673	2703	2734	2764	2794	2823	2852
6.8	288 2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0.9	315 3186	3212	3228	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1.0	341 3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1.1	364 3665	3686	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1.2	384 3869	3888	3907	3925	3944	3862	3980	3997	4015
1.3	403 4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1.4	419 4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1.5	433 4335	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441
1.6	446 4463	4474	4484	4492	4505	4515	4526	4535	4545
1.7	455 4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1.8	464 4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1,3	471 4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767
2.0	477	4783		4793		4803		4812	
2.1	482	4830		4838		4846		4854	
2.2	486	4868		4875		4881		4887	
2.4	491	4922		4927		4931		4934	

Умножая полученную вероятность на объем выборки, получают теоретические частоты $P_i \times N$, т. е. частоты, которые следует ожидать, если нулевая гипотеза справедлива.

Вычисляют выборочную статистику:

$$\chi^2 = \sum_1^k \frac{(m_i - N P_i)^2}{N P_i}.$$

Можно показать, что при $N \rightarrow \infty$ закон распределения выборочной статистики независимо от вида функции $F(x)$ стремиться к распределению с $f = k - z - 1$ степенями свободы (k – число частичных интервалов, z – число параметров гипотетической функции $F(x)$ (для нормального распределения, Вейбула $z = 2$)).

Критерий сконструирован таким образом, что чем ближе к нулю наблюдаемое значение критерия, тем вероятнее, что нулевая гипотеза справедлива. Для проверки нулевой гипотезы по таблицам распределения по заданному уровню значимости и числу степеней свободы (табл. 4.2) находится критическое значение $\chi_{кр}$, удовлетворяющее условию: $P(\chi^2 > \chi_{кр}^2) = \alpha$.

Таблица 4.2 – Распределение χ^2

r	Критерий значимости α					
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	1,842	2,706	3,841	5,412	6,645	10,827
2	3,219	4,606	5,991	7,824	9,210	13,815
4	5,98	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
6	8,658	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
8	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
10	13,442	16,987	18,307	21,161	23,209	29,588
12	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	32,909
14	18,151	21,064	23,685	26,783	29,141	36,123
16	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	39,252
18	22,760	25,980	28,869	32,346	34,805	42,332
20	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	45,315
22	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289	48,268
24	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980	51,179
26	31,795	35,563	38,385	42,856	46,642	54,052
28	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278	56,893
30	36,250	40,256	43,773	47,562	50,892	59,703

Если $\chi^2 < \chi^2_{кр}$, то считается, что нет оснований для отклонения нулевой гипотезы, т. е. гипотетическая функция $F(x)$ согласуется с опытными данными.

Уровень значимости α определяет насколько вероятна ошибка принятия нулевой гипотезы $P(\chi^2 < \chi^2_{кр}) = 1 - \alpha$.

Вероятность совершить ошибку первого рода принято обозначать α . Ее называют уровнем значимости. Наиболее часто уровень значимости принимают равным 0,05 или 0,01. Если, например, принят уровень значимости, равный 0,05, то это означает, что в пяти случаях из ста мы рискуем допустить ошибку первого рода отвергнуть правильную гипотезу.

Статистическая проверка параметрических гипотез

Проверка гипотезы о принадлежности двух нормально распределенных совокупностей одной

Гипотеза относительно значений параметров функции распределения известного вида называется параметрической.

Гипотеза о равенстве средних довольно часто используется в исследовательской и производственной практике. Например, когда необходимо узнать, является ли внесенное изменение значимым или полученное различие – следствие случайных факторов, имеющих место.

Для проверки различия средних может быть применен критерий Стьюдента, определяемый по формуле:

$$t = \frac{(\bar{X}_a - \bar{X}_b) \sqrt{\frac{NaNb}{Na + Nb}}}{\sqrt{\frac{(Na - 1)Sa^2 - (Nb - 1)Sb^2}{Na + Nb - 2}}},$$

где \bar{X}_a, \bar{X}_b – средние значения выборки A и B ;

Sa, Sb – средние квадратичные отклонения выборки A и B ;

Na, Nb – объем выборок A и B .

Задав уровень значимости α и степень свободы ($f = Na + Nb - 2$), по таблице распределения Стьюдента (табл. 4.3) находим критическое значение расхождения $t_{кр}$. Если полученное значение превосходит критическое, то гипотезу

о равенстве средних следует отбросить, внесенные изменения следует признать значимыми. Вероятность ошибки соответствует величине уровня значимости.

Таблица 4.3 – Распределение Стьюдента

<i>f</i>	<i>P</i>				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
4	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	1,796	2,201	2,718	3,106	4,487
12	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
18	1,734	2,103	2,552	2,878	3,922
20	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
40	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460

Проверка гипотез о дисперсиях случайной величины, распределенной по нормальному закону

Гипотезы о дисперсиях играют в технике большую роль, так как измеряемая дисперсией величина рассеивания характеризует исключительно важные конструкторские и технологические показатели, такие как точность машин и приборов, технологических процессов и т. д.

Для проверки гипотез равенства дисперсий в двух генеральных совокупностях по независимым выборкам используется *F*-распределение:

$$F = Sa^2 / Sb^2,$$

причем в качестве числителя *S* берут большую из двух несмещенных оценок дисперсии (см. рис. 4.1). *F*-распределение зависит только от числа степеней свободы $ra = Na - 1$, $rb = Nb - 1$, если выборка имеет объемы первая *Na*, и вторая *Nb*.

За критическую область принимают два интервала – интервал больших значений $F > F_2$, и интервал малых значений $F < F_1$, причем подбирают критические точки так, что при заданном уровне значимости:

$$P(F > F_2) = \alpha / 2 \quad \text{и} \quad P(F < F_1) = \alpha / 2.$$

Такой выбор критической области обеспечивает большую чувствительность критерия F . На рис. 4.1 изображена кривая распределения Фишера (критерия F). Здесь каждая заштрихованная площадь равна $\alpha / 2$. Если выбранное значение F оказывается в критической области, т. е. вне области допустимых значений F_1, F_2 , то гипотеза ($Sa = Sb$) должна быть отвергнута.

Критические значения критерия Фишера для заданного уровня значимости и числа степени свободы приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Критерий Фишера. Уровень значимости 0.05

r	Степень свободы – r					
	2	4	6	8	12	∞
1	199,5	224,5	233,9	238,8	243,9	264,3
2	18,9	19,24	19,32	19,37	19,41	18,49
4	6,95	6,39	6,16	6,04	5,91	5,63
6	5,14	4,63	4,28	4,15	4,00	3,67
8	4,26	3,63	3,37	3,23	3,07	2,71
10	4,10	3,48	3,22	3,07	2,91	2,64
12	3,89	3,26	2,99	2,65	2,68	2,30
14	3,74	3,11	2,79	2,64	2,48	2,07
16	3,63	3,01	2,74	2,59	2,42	2,01
18	3,56	2,93	2,66	2,51	2,34	1,92
20	3,49	2,87	2,60	2,45	2,28	1,84
22	3,44	2,82	2,55	2,40	2,25	1,78
24	3,40	2,78	2,51	2,36	2,18	1,74
30	3,31	2,69	2,53	2,27	2,09	1,62
40	3,23	2,61	2,34	2,18	2,01	1,51
60	3,15	2,65	2,25	2,10	1,92	1,39
120	3,07	2,45	2,18	2,11	1,83	1,25
∞	2,97	2,37	2,10	1,94	1,75	1,00

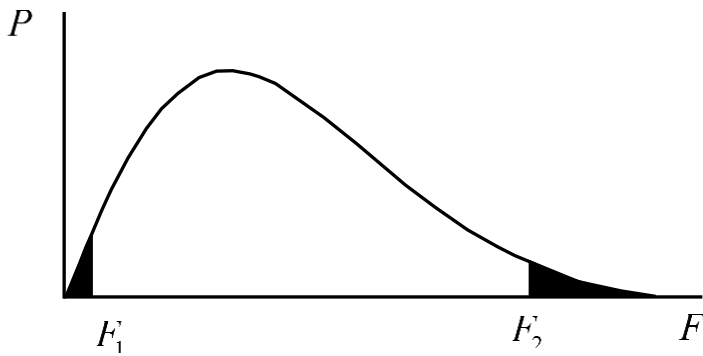


Рис. 4.1 – Распределение Фишера

5. Порядок выполнения работы

Для заданного руководителем практики варианта индивидуального задания (приложение 10) необходимо:

- При заданном критерии значимости α определить соответствие эмпирической кривой распределения нормальному закону.
- По двум выборкам из 20 наблюдений в начале и конце списка оценить гипотезу о равенстве средних.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со статистическими методами обработки результатов измерений [8]. По заданному варианту задания (приложение Д) записать динамический ряд Y_i вектором MathCAD, построить его в виде графика.

2. Представить результаты измерения в таблицу 1.1 отчета. Оформить график изменения контролируемой величины.

Таблица 1.1 – Исходные данные (вариант __)

X_1									X_{90}
X_{10}									X_{99}

3. Найти центр группирования и среднеквадратическое отклонение результатов измерений:

$$X_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_1^N X_i, \quad Sx = \sqrt{\frac{\sum_1^{N-1} (X_i - X_{\text{ср}})^2}{N-1}}.$$

4. Построить гистограмму распределения случайной величины X_i :

- Определить максимальное и минимальное значения. Число интервалов K зависит от объема выборки и определяется по правилу:

$K \geq [1 + 3,32 \cdot \lg(n)]$, где n – объем выборки, а квадратные скобки обозначают целую часть числа. Разбиение на малое число интервалов может привести к неверным статистическим выводам. Согласно этой формуле, необходимо брать не менее 8 интервалов на 100 наблюдений.

- Найти цену интервала, которая должна быть больше, чем цена деления прибора, на котором производилось измерение:

$$d = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{K}.$$

- Определяется представитель разряда a_j как среднее арифметическое значение границ интервала- X_j, X_j+d .
- Найти частоту попадания измерений в каждый из интервалов m_j .

$$m_j = m_j + 1 \text{ if } X_j < X_i \leq X_j + d$$

- Построить гистограмму распределения. С этой целью в прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладываются границы интервалов, а по оси ординат откладываются значения частоты в произвольном масштабе.

9. Проверить с помощью критерия Пирсона соответствие полученного закона распределения нормальному закону:

- По отклонению среднего значение от границ интервала найти теоретические частоты распределения- nP_j ,

где $P_j = (F(z_1) - F(z_2))$, -вероятность попадания случайной величины в

интервал от z_1 до z_2 , $z_1 = \frac{|X_{j\text{min}} - X_{\text{ср}}|}{Sx}$, $z_2 = \frac{|X_{j\text{min}+d} - X_{\text{ср}}|}{Sx}$,

$X_{j\text{min}}$ -нижнее значение границы интервала.

- Результаты вычисления занести в таблицу 1.2 отчета. Для определения критерия согласия вычисляют выборочную статистику:

$$\chi^2 = \sum_1^k \frac{(m_i - n P_i)^2}{n P_i}.$$

Таблица 1.2 – К расчету критерия Пирсона

m_j	$X_{j\min}$	$X_{j\max}$	$F(z_1)$	$F(z_2)$	P_j	$n \cdot P_j$	$m_i - n P_i$	$\frac{(m_i - n P_i)^2}{n P_i}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sum m_j$					$\sum P_j$	$\sum n \cdot P_j$		χ^2

Для того чтобы величина критерия приближенно обладала распределением χ^2 , теоретические частоты не должны быть слишком малыми.

Для всех интервалов должно выполняться соотношение $n P_i > 5$, $m_i > 5$. Если в некотором интервале это требование будет нарушено, надо объединить его с соседним (соответственно, уменьшается число интервалов и суммируются теоретические частоты $n P_i$ по этим интервалам).

Если граничные интервалы с $m_i < 5$ не входят в выборочную статистику, то пересчитывается количество наблюдений

Если $\chi^2 < \chi^2_{кр}$, то считается, что нет оснований для отклонения нулевой гипотезы, т. е. гипотетическая функция $F(x)$ согласуется с опытными данными и можно считать, что полученное распределение подчиняется нормальному закону.

10. Найти ошибки первого и второго рода по результатам измерений стабильности источника напряжения цифровым вольтметром с трехразрядным индикатором дифференциальным методом.

11. Выделить детерминированную (закономерную) составляющую исходного ряда и вновь оценить соответствие эмпирической кривой распределения нормальному закону. При выборе кривой аппроксимации можно ограничиться сравнением кривых первого и второго порядка.

12. Оценить соответствие полученного распределения нормальному закону.

13. Проверить гипотезу о равенстве средних для первых и последних 20 значений.

Задав уровень значимости ($\alpha = 1 - P$) и степень свободы f :

$$f = Na + Nb - 2,$$

по таблице 2 распределения Стьюдента (приложение Б, табл. 2) находим критическое значение расхождения $t_{кр}$. Если полученное значение превосходит критическое, то гипотезу о равенстве средних следует отбросить, внесенные изменения следует признать значимыми. Вероятность ошибки соответствует величине уровня значимости.

При выполнении задания можно использовать программу расчета (приложения В и Г). Файл программы прислать вместе с отчетом в 2001i или 2011 версии маткада.

В именах файлов отчета и программ указывать свою фамилию.

Приложение 9. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2 «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСТРАПОЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ»

1. Прогнозирование результатов технологического процесса

Необходимость прогнозирования состояния РЭА возникла в связи с тем, что степень ее сложности стала опережать уровень качества и надежности элементов, из которых она создавалась. Задачи, возлагаемые на РЭА, становятся все более ответственными, растет цена ее отказа. Необходимо оценивать возможность отказа и определить сроки проведения профилактических работ.

Эффективность диагностической программы возрастает, когда при том же содержании контрольных операций решаются задачи прогнозирования состояния объекта. В этом случае алгоритм диагностирования дополняется алгоритмом решения задач прогнозирования, что требует разработки методов получения прогнозов, учитывающих особенности объектов диагностирования.

Задачи прогнозирования должны решаться на всех стадиях жизненного цикла продукции: разработки, производства, обращения и эксплуатации.

Качество и надежность изделия закладываются на стадии проектирования и уже здесь требуется осуществлять прогноз работоспособности РЭА в период эксплуатации, то есть решать задачу синтеза по критериям надежности, требуемой долговечностью или заданной степенью работоспособности.

В производстве одним из основных элементов технологического процесса является контроль его режима, параметров изделия по мере его изготовления. Используя данные контроля, можно прогнозировать конечный результат – качество изделия. Прогнозирование дает возможность целенаправленно управлять технологическим процессом, регулировать качество РЭА в процессе ее изготовления. В крайнем случае, когда на одном из этапов контроля станет ясным невозможность получения необходимого качества изделия, изъять его из технологической цепи. Последнее позволяет существенно сократить из-

держки, связанные с изготовлением заведомо некачественной продукции. Издержки эти растут лавинообразно, и чем раньше мы остановим процесс, тем выше экономический эффект принятия решения.

На стадии обращения: в период хранения, транспортировки возможен отказ изделия из-за дополнительных вибраций, процессов старения и должен быть предусмотрен перечень профилактических работ.

Применение методов прогнозирования в период эксплуатации решает ряд важных задач и позволяет:

- обосновать сроки профилактических работ, так как определяет момент предстоящего отказа;
- оптимизировать программу поиска неисправностей в связи с определением блоков, в которых наиболее вероятно ожидание отказа;
- ограничивать количество обслуживающего персонала путем автоматизации процесса прогнозирования и определения состояния объекта на некоторый период времени вперед;
- определить количество запасных частей по количеству блоков, в которых ожидается отказ на заданном интервале функционирования;
- сократить время восстановления путем выявления наиболее ненадежных блоков и подготовки им замены запасных частей.

В самом общем плане прогнозирование разделяют на эвристическое и математическое (рис. 1.1).

Под эвристическим прогнозированием понимают искусство суждения о развитии и исходе события на основе субъективного взвешивания множества факторов, большая часть которых носит качественный характер. Эвристическое прогнозирование основано на использовании мнений специалистов и, как правило, используется для прогнозирования процессов, формализацию которых нельзя привести к моменту прогнозирования. Этот старый метод широко применяется в повседневной жизни. Известна роль друзей и знакомых при решении различных проблем. Процесс принятия решения является достаточно

сложным. Окончательное решение принимается не простым сравнением голосов, полученных «за» и «против», а интуитивно учитывается «вес» каждого «эксперта» в зависимости от нашего субъективного представления и его жизненного опыта.

Несомненное достоинство эвристического прогнозирования – возможность избежать грубых ошибок, особенно в области скачкообразных изменений прогнозируемых величин. Это объясняется тем, что опрашиваемые, как правило, квалифицированные специалисты. Однако этот метод субъективен, сложен и трудоемок.

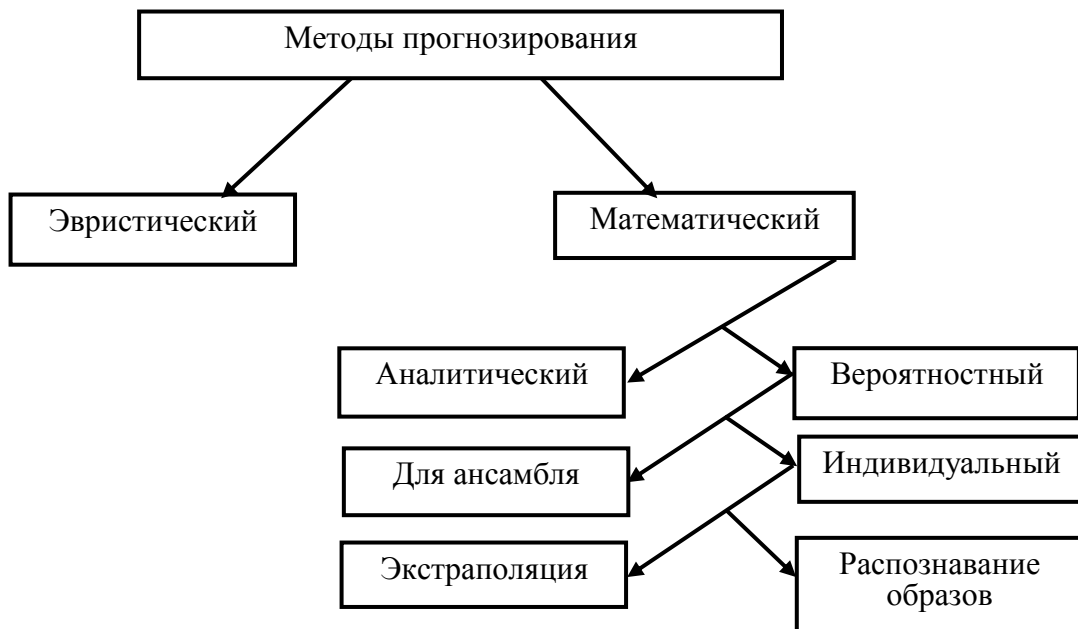


Рис. 1.1 – Классификация методов прогнозирования

Под математическим прогнозированием понимают количественную оценку параметров в будущем, полученную по результатам исследования процесса или состояния объекта в настоящий момент времени и основанную на изучении в количественном отношении объективных закономерностей. Задачами математического прогнозирования являются выбор и разработка, по которым на основе полученной информации предсказывается поведение параметров до некоторого момента времени $t_{пр}$.

В свою очередь математическое прогнозирование можно разделить на аналитическое и вероятностное.

Аналитическое прогнозирование используется для детерминированных процессов с определенным законом изменения. Например, движение механизмов, протекание химических реакций и т. д.

Вероятностное прогнозирование используется для статистически устойчивых, стабильных процессов, обусловлено сложностью физических процессов в элементах материала современной РЭА. Вероятностное прогнозирование используется для прогноза однотипных групп изделий, процессов, так называемое прогнозирование для ансамбля, и прогнозирование для отдельных видов изделий, процессов – индивидуальное прогнозирование.

Прогнозирование для ансамбля дает возможность оценки надежности, сроков профилактики, вероятности безотказной работы, усредненных для какой-то группы однотипных изделий. Этот вид прогнозирования широко используется при статистических методах управления качеством продукции.

Наличие отклонений в технологическом процессе органически присуще производству РЭА, несмотря на жесткое регламентирование условий производства, усовершенствование технологии.

Индивидуальное прогнозирование учитывает особенность изделия процесса, дает более объективную оценку состояния объекта в будущем.

Индивидуальное вероятностное прогнозирование осуществляется с использованием распознавания образов и методов экстраполяции.

Распознавание образов предполагает, что имеются какие-то дополнительные, просто и за короткое время измеряемые параметры X_i – признаки, значения которых стохастически (случайно) связаны с имеющимися значениями для эксплуатации параметрами аппаратуры. Совокупность значений признаков j -го устройства составляют образ конкретного устройства, обладающего теми или иными показателями $X^j(t)$ на интервале времени до $t_{пр}$.

Пользуясь определенным оператором или алгоритмом прогнозирования по набору значений признаков оценивают значение $X^j(t_{\delta})$ или класс, к которому следует отнести рассматриваемый j -й экземпляр.

Прогнозирование с использованием метода распознавания образов не имеет прямой связи с моделью процессов.

Этот метод используется для выявления эксплуатационных свойств и качества элементов и устройств на этапе изготовления.

Индивидуальное прогнозирование экстраполяцией можно осуществлять в процессе эксплуатации. Она основана на закономерностях протекания процесса за длительное время с использованием моделей исследуемого процесса.

2. Последовательность составления прогноза

Изменение характеристик объекта прогнозирования можно представить следующим образом: $Y = f(\bar{a}, \bar{x}) + \gamma$,

где $f(\bar{a}, \bar{x})$ – некоторая детерминированная (закономерно изменяющаяся) функция;

\bar{a}, \bar{x} – векторы известных и неизвестных параметров, определяющих процесс;

γ – случайная составляющая.

При прогнозировании экстраполяционным методом необходимо выделить детерминированную часть процесса, дать ему аналитическое описание и продолжить его на интересующий нас отрезок времени вперед.

Для выявления тенденций осуществляется сглаживание исходного динамического ряда, уменьшение случайной составляющей процесса γ .

Один из приемов сглаживания заключается в применении *метода скользящей средней*. Пусть исходный динамический ряд состоит из значений признака рассматриваемого процесса Y_i , где $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Подсчитываем среднее для m первых членов ряда, затем смещенных на единицу и так до пор, пока в этот интервал не попадет последний n -й член. Таким образом, интервал сглаживания как бы скользит по динамическому ряду с шагом, равным единице. Полученная в результате усреднения величина Y_t относится к середине интервала, участвующего в расчете:

$$Y_t = \sum_{i=t-p}^{t+p} Y_i / m,$$

где $p = (m - 1) / 2$;

m выбирается нечетным.

Чем продолжительней интервал сглаживания, тем сильнее усреднение, более плавной становится выделяемая тенденция. Чаще всего применяется значение $m = 3, 5, 7$.

В методе скользящей средней значимость каждого из m значений одинакова. Но это не так. Значимость последних наблюдений должна быть больше предыдущих. Более плавное «устаревание» данных осуществляется при экспоненциальном сглаживании:

$$Q_t = Q_{t-1} + \alpha(Y_t - Q_{t-1}),$$

где Q_t – экспоненциальная средняя на момент t ;

α – постоянная сглаживания.

Вес текущего наблюдения имеет величину α , а всех предыдущих убывает по геометрической прогрессии.

Диапазон значений $\alpha = 0,1 \div 0,3$. Уменьшение α приводит к снижению скорости реакции на изменение процесса, увеличивает «фильтрационные» возможности экспоненциальной средней.

Выбор формы кривой

Самым обоснованным подходом к выбору формы кривой был анализ изучаемого процесса, его внутренней логики, специфики и взаимосвязи с другими процессами и условиями. Подобное решение не всегда возможно из-за сложности, малой изученности процесса.

Более простой путь – визуальный – выбор формы кривой по графическому изображению рядов динамики. Риск субъективного и произвольного выбора в этом случае велик. Среднее между этими подходами решение проблемы заключается в применении метода последовательных разностей.

Процедура выбора формы кривой включает предварительную статистическую обработку ряда и сам выбор формы. Предварительная обработка состоит

из трех этапов: сглаживание ряда, определение средних приростов и ряда производных характеристик приростов.

Сглаживание ряда Y_i методом скользящей средней дает возможность грубо наметить тенденцию изменения ряда – тренд Yt . Получив черновой тренд Yt , можно найти средние приросты первого и второго порядка:

$$Yt^{(1)} = Yt - Yt_{t-1}, Yt^{(2)} = Yt^{(1)} - Yt^{(1)}_{t-1}.$$

Функции, применяемые при описании динамического ряда

При описании кривых нас будут интересовать такие преобразования приростов, которые можно представить в виде линейной функции.

Многочлен первой степени:

$$\hat{Y}_t = a + bt \text{ – прямая линия.}$$

Многочлен второй степени (рис. 2.1, а):

$\hat{Y}_t = a + bt + ct^2$ – парабола второй степени. Его первая производная – прямая линия.

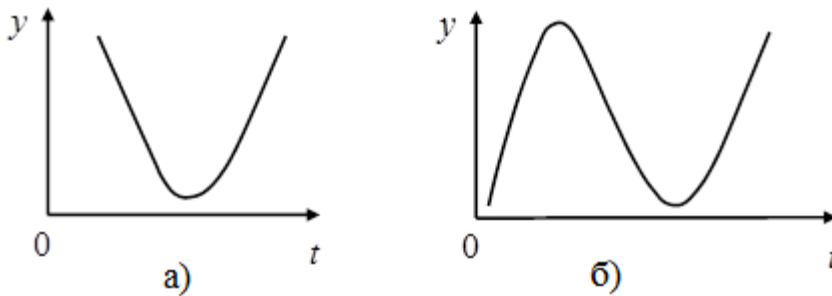


Рис. 2.1– Параболы второй и третьей степени

Многочлен третьей степени

$\hat{Y}_t = a + bt + ct^2 + dt^3$ – парабола третьей степени (рис. 2.1, б), вторая производная этого многочлена – прямая линия.

С увеличением степени кривая аппроксимации лучше описывает исходный ряд, но менее пригодна для экстраполяции. По этой причине ограничиваются при экстраполяции кривыми второго, третьего порядка.

Экспоненциальная кривая

$$\hat{Y}_t = ab^t.$$

Преобразуется в прямую линию при логарифмировании

$$\log \hat{Y}_t = \log a + t \log b = \alpha + \beta t.$$

Логарифмическая парабола

$$\hat{Y}_t = ab^t c^{t^2}.$$

Для нее тип прироста:

$$\tau_{i\delta} = \frac{Y_t^{(2)}}{\hat{Y}_t} = \ln b + 2t \ln c.$$

Модифицированная экспонента (рис. 2.2): $\hat{Y}_t = k + ab^t$.

Для нее

$$\log \hat{Y}_t = \log a + \log(b-1) + (t-1) \log b.$$

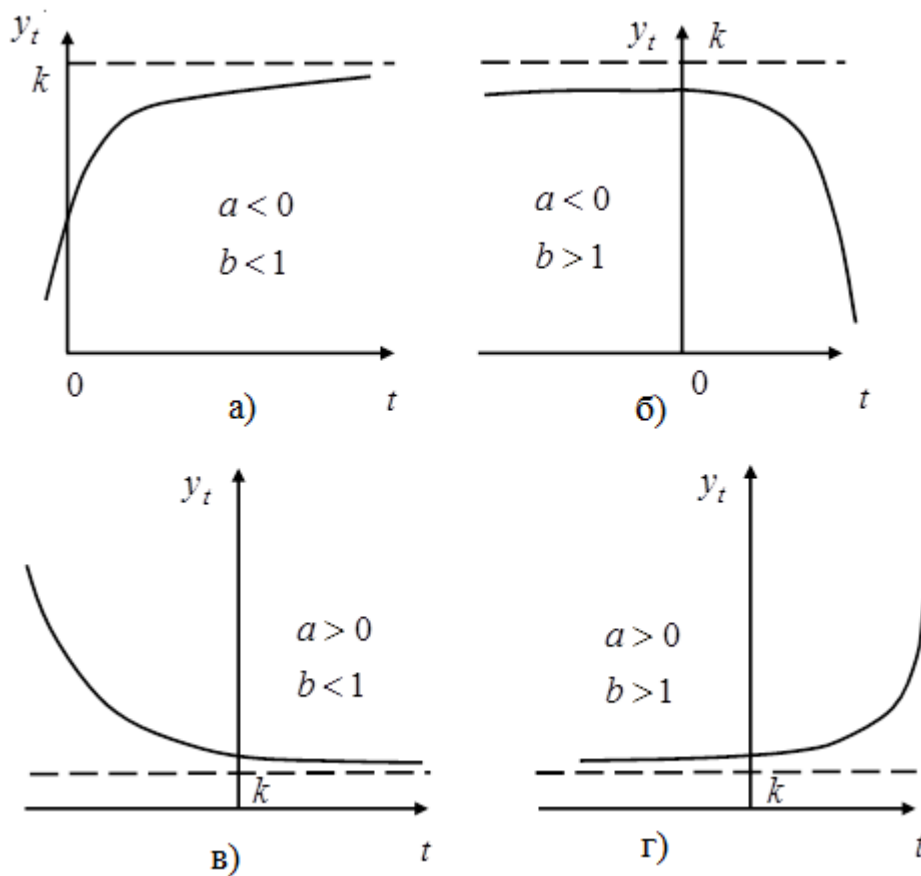


Рис. 2.2– Модифицированная экспонента

В табл. 2.1 приводится перечень наиболее употребляемых видов кривых и симптомы, по которым можно определить наиболее подходящий для данного ряда вид кривой.

Таблица 2.1 – Характер изменения показателей для различных видов кривых

Показатель	Характер изменения	Вид кривой
Yt	Примерно одинаковый	Прямая
$Yt^{(1)}$	Линейно изменяется	Парабола второй степени
$Yt^{(2)}$	Линейно изменяется	Парабола третьей степени
$\log Yt$	Примерно одинаковый	Экспонента
$Yt^{(1)} / Yt$	Линейно изменяется	Логарифмическая парабола
$\log Yt^{(1)}$	Линейно изменяется	Модифицированная экспонента

Оценивание параметров кривых методом наименьших квадратов

Параметры кривых определяются из условия минимума суммы квадратов разности между членами ряда Yt_i и соответствующего ему значения аппроксимирующей кривой.

Для линейного уравнения

$$y_i = A + Bx_i,$$

где

$$A = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i - B \sum_{i=1}^n x_i \right);$$

$$B = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) - n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2}.$$

Другие зависимости проще привести к линейной, а далее использовать приведенные выражения.

Например, для экспоненциальной функции $y = ax^b$ после логарифмирования $\ln y = \ln a + b \ln x$. Обозначим $B = b$, $Y = \ln y$, $X = \ln x$, тогда получится $Y = A + BX$.

Коэффициенты A и B выразятся:

$$B = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \ln x_i x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln y_i \right) - n \sum_{i=1}^n \ln x_i \ln y_i}{\left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n \ln x_i^2};$$

$$A = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln y_i - B \sum_{i=1}^n \ln x_i \right).$$

Воспользовавшись обратным преобразованием, находим параметры аппроксимирующей кривой.

Лучшей из нескольких аппроксимационных зависимостей будет та, у которой будет меньше среднеквадратическое отклонение:

$$S_y = \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 / (n-1)},$$

где Y_t , \hat{Y}_t – фактическое и расчетное значение члена ряда соответственно.

Критерием достоверности аппроксимации может быть коэффициент детерминации

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n y_i^2 - (\sum_{t=1}^n y_i)^2 / n}.$$

Чем ближе к единице коэффициент детерминации, тем лучше описывает аппроксимирующая кривая исходный ряд.

Экстраполяция тренда и доверительные интервалы прогноза

Выбор формы кривой, характеризующей тренд, содержит элемент субъективизма. Нет твердой основы для того, чтобы утверждать, что выбранная форма кривой является единственно возможной:

- оценивание параметров кривой производится на основе ограниченной совокупности наблюдений, каждое из которых содержит случайную компоненту. В силу этого параметрам кривой и её положению в пространстве свойственна некоторая неопределенность;

- тренд характеризует некоторый средний уровень ряда на каждый момент времени. Отдельные наблюдения, как правило, отклонялись от него в прошлом. Естественно ожидать, что подобного рода отклонения будут происходить и в будущем.

Погрешность, связанная со вторым и третьим источником, может быть отражена в виде доверительного интервала. С помощью такого интервала точечный экстраполяционный прогноз преобразуется в интервальный.

Интуитивно понятно, что в основу расчета доверительного интервала прогноза должен быть положен показатель колеблемости ряда наблюдаемых значений признака. Обычно такой показатель определяют в виде среднеквадратического отклонения (стандартного отклонения) фактических наблюдений от расчетных. В общем виде среднеквадратическое отклонение от тренда можно выразить как

$$S_y = \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 / (n-1)}$$

где Y_t, \hat{Y}_t – фактическое и расчетное значение члена ряда соответственно;

$z = n - f$ – число степеней свободы, определяемое в зависимости от числа наблюдений n и числа оцениваемых параметров выравнивающей кривой: $f = 2$ для прямой; $f = 3$ для параболы второй степени и т. д.

Прежде чем приступить к определению доверительного интервала прогноза, необходимо сделать оговорку об условности рассматриваемого ниже расчета. Дело в том, что основное предположение о нормальности распределения отклонений вокруг линии регрессии не может, по существу, ни утверждаться, ни быть проверено при анализе динамических рядов.

Кроме того, полученные в ходе статистического оценивания параметры не свободны от погрешности, связанной с ограниченным объемом информации, выборки. Отсюда расчетные значения \hat{Y}_t несут на себе груз неопределенности, связанной с ошибками в значении параметров.

В общем виде доверительный интервал для тренда определяется как

$$\hat{Y}_t \pm t_\alpha S_y,$$

где S_y – средняя квадратическая ошибка тренда;

\hat{Y}_t – расчетное значение Y_t ;

t_α – значение t -критерия Стьюдента.

Если $t = n + L$, то уравнение определяет значение доверительного интервала для тренда, продленного на L единиц времени.

Доверительный интервал для прогноза должен учитывать не только неопределенность, связанную с положением тренда, но и возможность отклонения от него. Обозначим соответствующую среднюю квадратическую ошибку как S_p , тогда доверительный интервал прогноза составит:

$$Y_{n+L} \pm t_{\alpha} S_p, P.$$

Для линейного тренда

$$S_p = S_y \sqrt{\frac{n+1}{n} + \frac{3(n+2L-1)^2}{n(n^2+1)}}.$$

2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с экстраполяционным методом прогнозирования.
2. По заданному варианту задания (приложение 10) записать динамический ряд Y_i в таблицу EXCEL, построить его в виде графика.
3. В EXCEL имеется большое количество встроенных функций категории «Статистические», а также пакет сервисных программ «Анализ данных». Если такая команда отсутствует, необходимо этот пакет установить в меню «Настройка» / «Надстройка» / «Пакет анализа».
4. Сгладить исходный ряд для выявления тенденций Y_t .
5. Найти $Y_t^{(1)}$, $Y_t^{(2)}$, $Y_t^{(1)} / Y_t$, $\log Y_t$, $\log Y_t / Y_t$. Построить по полученным данным графики. По минимуму их отличия от прямой линии выбрать вид кривой.
6. Методом наименьших квадратов найти параметры A и B прямой.
7. Обратным преобразованием можно определить параметры интерполирующей кривой.

Пример. Прирост второго порядка наиболее близок к прямой, т. е. тренд описывается уравнением третьего порядка $At^3 + Bt^2 + Ct + D$. Находим для прироста второго порядка коэффициенты A и B прямой. Коэффициент C находится из графиков прироста первого порядка, его начального значения. После по-

строения на этом же графике кривой второго порядка коэффициент уточняется. Коэффициент D находится из графиков прироста второго порядка, его начального значения. После построения на этом же графике кривой второго порядка коэффициент уточняется. Критерием выбора коэффициентов является величина среднеквадратического отклонения (S) исходного тренда от значений интерполирующей кривой.

В EXCEL и MATHCAD этот процесс автоматизирован, обеспечивает наибольшую точность выбора параметров кривых. При увеличении порядка аппроксимирующего выражения оно лучше описывает исходный ряд но меньше пригоден для прогнозирования.

8. Заполнить таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты расчетов линейной и выбранной регрессии

X_i	Y_i	$Y_{\text{лин}}$	$(Y_i - Y_{\text{лин}})^2$	$Y_{\text{выбр}}$	$(Y_i - Y_{\text{выбр}})^2$
1					
2					
3					
4					
.....					
99					
			Σ		Σ
Коэффициенты линейной регрессии				Среднеквадратическое отклонение	
$B =$		$A =$		$S_y =$	
Коэффициенты выбранной регрессии					
$A = ; B = ; C = ; \dots$				$S_y =$	

9. Найти значение прогнозируемой величины с упреждением на $L = 0.15n$ интервалов, доверительный интервал.

10. Выделить случайную составляющую исходного ряда ($Y_i - Y_{\text{выбр}}$) и оценить ее соответствие нормальному закону распределения.

11. Оформить отчет по работе. Отчет должен содержать цель работы, характеристику экстраполяционного метода прогнозирования, таблицы, графики, расчетные формулы и результаты расчета.

12. На последнем рисунке отобразить исходный ряд, две кривые аппроксимации (привести оба выражения), продленные на L интервалов. Доверительный интервал строим только для прогнозируемого значения.

13. Результат прогноза записать в виде доверительных интервала и вероятности $Y_{n+L} \pm t_{\alpha} S_p, P$.

3. Предметный указатель

- А**
- Аналитическое прогнозирование, 74
Аппроксимирующая кривая, 79
- В**
- Вариационный размах, 60
Вариационный ряд, 53
Вероятностное прогнозирование, 74
Выборка, 49
Выборочный контроль, 51
- Г**
- гипотеза, 62
Гистограмма, 46
Грубая погрешность, 36
- Д**
- Детерминированная (закономерно
изменяющаяся) функция, 75
Динамический ряд, 67
Дисперсия выборки, 60
Доверительная вероятность, 38
Доверительный интервал, 36
Допуск, 43
- И**
- Индивидуальное прогнозирование, 74
- К**
- Коэффициент вариации, 61
Коэффициент детерминации, 80
Кривая распределения, 58
Критерий Пирсона, 63
Критерий согласия, 46
Критерий Стьюдента, 65
критерия Фишера, 67
- М**
- Математическое прогнозирование, 74
- Метод наименьших квадратов, 79
Метод последовательных разностей, 77
Метод скользящей средней, 76
Методы измерений, 34
Мода, 59
- О**
- Ошибка второго рода, 53
Ошибка первого рода, 52
- П**
- Погрешность и точность, 36
Полигон распределения, 55
Правило трех сигм, 36
Представление результатов измерения, 38
Прогнозирование для ансамбля, 74
- Р**
- Распознавание образов, 75
Репрезентативная выборка, 49
- С**
- Систематическая погрешность, 35
Случайная погрешность, 36
Среднее квадратичное отклонение, 60
Средняя арифметическая, 59
Стадии жизненного цикла, 71
Стандартная ошибка, 60
- У**
- Уровень значимости, 65
- Ч**
- Частость, 55
Число степеней свободы, 82
- Э**
- Эвристическое прогнозирование, 73
Экспоненциальное сглаживание, 76

4. Список литературы

1. Озеркин, Д. В. Основы научных исследований и патентоведение: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Д. В. Озеркин, В. П. Алексеев. — Томск: ТУСУР, 2012. — 171 с. Доступ из личного кабинета студента. (Дата обращения 1.06.2018) .

URL: <https://study.tusur.ru/study/library/> .

2. Мицель, А. А. Прикладная математическая статистика: Учебное пособие [Электронный ресурс] / А. А. Мицель. — Томск: ТУСУР, 2016. — 113 с. Доступ из личного кабинета студента. (Дата обращения 1.06.2018)

URL: <https://study.tusur.ru/study/library/> .

3. Загребаев, А. М. Элементы теории вероятностей и математической статистики : учебное пособие для вузов / А. М. Загребаев. — 2-е изд. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 159 с. — (Серия : Университеты Рос-сии). — ISBN 978-5-534-08871-7. (Дата обращения 1.06.2018)

URL: <https://biblio-online.ru/book/293903BB-D076-4656-97A2-1245E39724C0/elementy-teorii-veroyatnostey-i-matematicheskoy-statistiki?>

4. Далингер, В. А. Теория вероятностей и математическая статистика с применением mathcad : учебник и практикум для СПО / В. А. Далингер, С. Д. Симонженков, Б. С. Га-люкшов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 145 с. — (Серия : Про-фессиональное образование). — ISBN 978-5-534-01554-6. (Дата обращения 1.06.2018)

URL: [https://biblio-online.ru/adv-search/get?disciplines\[\]=14640](https://biblio-online.ru/adv-search/get?disciplines[]=14640)

5. Яковлев, В. Б. Статистика. Расчеты в microsoft excel : учебное пособие для вузов / В. Б. Яковлев. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 353 с. — (Серия : Университеты России). — ISBN 978-5-534-01672-7. (Дата обращения 1.06.2018)

URL: <https://biblio-online.ru/book/A518BFC0-B182-4ACA-9BE4-45240807598F/statistika-raschety-v-microsoft-excel>

ПРИЛОЖЕНИЕ 10 Варианты заданий к индивидуальной работе

При исследовании стабильности источника напряжений от тока нагрузки было проведено $n = 100$ наблюдений, в результате которых были получены следующие значения напряжения, В:

№ п/п	Варианты заданий															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-13.2	86.8	86.8	-13.2	125.9	0.6	143.5	-80.8	1.8	101.8	101.8	1.8	10.6	-33.5	178.5	-45.9
2	-19.4	78.6	74.6	-15.3	161.1	44.8	140.4	-73.2	-13.9	84.1	80.0	-9.9	34.9	-2.1	153.2	-60.5
3	-12.2	83.8	76.0	-4.4	84.5	-23.1	141.3	-61.8	3.7	99.7	91.9	11.5	80.9	50.9	130.1	-73.0
4	-25.5	68.5	57.1	-14.2	116.2	17.1	132.6	-60.1	-21.6	72.4	61.0	-10.2	74.4	51.2	176.0	-16.7
5	-46.6	45.4	30.8	-31.9	141.8	51.2	149.0	-33.6	2.6	94.6	79.9	17.2	40.7	24.1	125.7	-56.8
6	6.3	96.3	78.6	24.1	36.7	-45.8	125.2	-47.3	-2.5	87.5	69.7	15.2	34.7	24.6	188.9	16.4
7	2.4	90.4	69.7	23.0	126.6	52.1	123.3	-39.4	6.6	94.6	73.9	27.2	56.6	52.8	80.7	-82.1
8	23.7	109.7	86.4	47.0	51.9	-14.7	165.4	12.3	60.6	146.6	123.2	83.9	-27.4	-25.1	172.5	19.4
9	73.8	157.8	131.9	99.6	93.3	34.4	127.8	-15.9	5.8	89.8	64.0	31.7	53.0	61.1	193.7	50.1
10	33.3	115.3	87.1	61.4	44.2	-7.2	179.9	45.5	-5.1	76.9	48.8	23.1	16.5	30.4	110.3	-24.1
11	39.6	119.6	89.2	69.9	34.9	-9.3	65.9	-59.4	41.1	121.1	90.7	71.4	-11.0	8.4	91.9	-33.3
12	36.9	114.9	82.5	69.2	81.3	44.3	110.7	-5.7	52.7	130.7	98.4	85.1	59.9	84.7	125.8	9.5
13	39.5	115.5	81.3	73.7	7.6	-22.5	116.5	8.9	-32.0	44.0	9.8	2.2	-17.2	12.8	112.6	5.0
14	33.2	107.2	71.3	69.1	58.0	34.7	148.4	49.4	51.6	125.6	89.7	87.5	-14.9	20.1	100.0	1.0
15	-17.3	54.7	17.2	20.1	70.8	54.1	114.0	23.4	-21.0	51.0	13.6	16.5	96.6	136.4	10.1	-80.5
16	17.1	87.1	48.2	56.0	99.2	88.8	39.8	-42.6	-27.0	43.0	4.1	11.9	33.4	77.8	105.6	23.1
17	-6.7	61.3	21.1	33.6	15.3	11.1	46.1	-28.3	0.5	68.5	28.3	40.8	62.7	111.6	81.6	7.2
18	37.9	103.9	62.5	79.3	37.6	39.5	155.3	88.7	11.6	77.6	36.2	53.1	32.1	85.3	105.6	39.0
19	12.5	76.5	34.0	55.1	60.5	68.2	101.6	42.6	37.2	101.2	58.7	79.8	47.4	104.7	20.3	-38.6
20	-0.3	61.7	18.2	43.2	48.9	62.3	75.7	24.3	12.8	74.8	31.3	56.3	2.5	63.7	53.4	2.0
21	-1.7	58.3	13.9	42.7	46.5	65.4	46.8	2.6	-27.3	32.7	-11.7	17.1	63.8	128.8	68.9	24.7
22	5.5	63.5	18.3	50.7	53.5	77.8	38.1	1.0	20.3	78.3	33.1	65.5	-69.9	-1.4	59.5	22.4
23	38.7	94.7	48.9	84.6	60.0	89.4	16.2	-13.9	33.0	89.0	43.1	78.9	22.5	94.4	98.4	68.3
24	15.7	69.7	23.1	62.2	60.8	95.1	30.1	6.8	46.4	100.4	53.9	92.9	2.4	77.6	22.1	-1.3
25	26.7	78.7	31.6	73.7	57.4	96.5	91.9	75.2	72.5	124.5	77.5	119.5	29.3	107.4	60.1	43.3
26	62.9	112.9	65.4	110.4	36.0	79.7	83.6	73.2	6.7	56.7	9.2	54.2	42.7	123.7	4.2	-6.2
27	4.8	52.8	5.0	52.7	5.2	53.3	74.9	70.8	30.2	78.2	30.3	78.0	1.1	84.8	81.3	77.1
28	27.1	73.1	24.9	75.3	37.8	90.2	17.3	19.1	-8.7	37.3	-10.9	39.5	41.7	127.8	67.2	69.1
29	61.2	105.2	56.8	109.7	17.3	73.7	33.8	41.5	-49.9	-5.9	-54.3	-1.4	-49.9	38.5	91.8	99.5
30	55.8	97.8	49.1	104.4	-6.0	54.3	91.5	105.0	74.4	116.4	67.7	123.0	72.7	163.3	78.7	92.2
31	-57.0	-17.0	-65.8	-8.3	81.5	145.4	41.3	60.2	16.4	56.4	7.6	65.1	50.4	142.9	65.0	83.9
32	-33.7	4.3	-44.5	15.1	-20.8	46.7	28.0	52.2	-23.1	14.9	-33.9	25.7	5.8	100.1	17.0	41.2

№ п/п	Варианты заданий															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
33	38.2	74.2	25.3	87.0	-36.2	34.6	21.7	51.0	-17.1	18.9	-29.9	31.7	6.0	101.9	40.5	69.9
34	14.5	48.5	-0.3	63.3	24.6	98.6	44.8	79.1	39.8	73.8	25.0	88.6	-44.4	52.9	50.8	85.1
35	-1.9	30.1	-18.7	46.8	-31.3	45.6	45.4	84.5	49.5	81.5	32.8	98.2	-35.9	62.5	34.3	73.4
36	38.0	68.0	19.4	86.6	-2.2	77.5	25.8	69.5	7.6	37.6	-11.0	56.1	-3.1	96.4	63.8	107.5
37	59.1	87.1	38.7	107.5	35.1	117.4	28.5	76.6	85.2	113.2	64.8	133.6	-10.5	89.9	59.8	108.0
38	46.2	72.2	24.0	94.4	-9.4	75.3	36.5	88.9	54.9	80.9	32.7	103.1	32.5	133.6	-4.8	47.6
39	38.3	62.3	14.4	86.3	-20.8	66.2	-1.3	55.1	76.9	100.9	53.0	124.8	-57.7	43.8	21.8	78.2
40	16.1	38.1	-9.6	63.7	-20.6	68.5	15.9	76.1	53.5	75.5	27.9	101.2	20.5	122.4	37.1	97.4
41	27.7	47.7	0.4	75.0	37.4	128.4	-25.8	38.1	2.0	22.0	-25.4	49.3	-8.1	93.9	1.4	65.3
42	20.8	38.8	-8.2	67.7	-27.0	65.7	22.3	89.8	70.8	88.8	41.8	117.7	-0.3	101.6	3.8	71.3
43	38.0	54.0	7.5	84.6	-34.7	59.6	65.0	135.8	6.9	22.9	-23.7	53.5	18.4	120.1	-12.1	58.7
44	73.5	87.5	41.4	119.7	21.0	116.5	-14.2	59.8	42.2	56.2	10.0	88.3	-37.1	64.3	-40.6	33.4
45	49.4	61.4	15.7	95.1	-20.5	76.2	35.1	112.1	34.3	46.3	0.6	80.0	-15.0	85.7	4.9	81.9
46	60.4	70.4	25.2	105.6	17.4	115.1	6.4	86.1	16.1	26.1	-19.1	61.3	2.7	102.7	10.4	90.1
47	68.2	76.2	31.5	112.9	20.6	119.2	-24.7	57.6	-4.7	3.3	-41.4	40.0	-9.0	90.1	-0.9	81.4
48	46.5	52.5	8.3	90.7	16.0	115.2	29.3	114.1	57.4	63.4	19.3	101.6	14.9	112.8	19.2	104.0
49	56.4	60.4	16.8	100.0	4.6	104.2	15.2	102.3	67.3	71.3	27.7	110.9	-46.7	49.9	23.2	110.2
50	53.9	55.9	12.8	96.9	-1.5	98.4	-21.0	68.1	42.5	44.5	1.5	85.6	37.1	132.2	43.2	132.3
51	62.9	62.9	20.4	105.3	9.5	109.5	-53.5	37.5	77.7	77.7	35.3	120.2	-52.0	41.5	-50.9	40.1
52	36.7	34.7	-7.1	78.6	7.5	107.4	-25.1	67.6	49.4	47.4	5.6	91.3	30.4	122.0	79.2	171.9
53	31.1	27.1	-14.0	72.3	-4.9	94.7	-36.9	57.3	40.9	36.9	-4.3	82.1	-9.8	79.8	33.5	127.7
54	144.4	138.4	97.9	185.0	-13.2	86.0	-9.6	86.0	-6.8	-12.8	-53.3	33.7	50.6	138.0	-0.1	95.5
55	45.4	37.4	-2.4	85.3	9.5	108.1	-28.6	68.1	25.4	17.4	-22.4	65.3	-15.1	70.0	-11.9	84.9
56	16.6	6.6	-32.6	55.8	5.6	103.4	-16.7	81.1	87.4	77.4	38.3	126.6	46.4	128.9	10.4	108.1
57	78.8	66.8	28.3	117.2	-26.4	70.4	29.1	127.7	50.8	38.8	0.4	89.3	32.8	112.6	-48.9	49.6
58	45.2	31.2	-6.5	82.9	26.0	121.6	24.5	123.7	48.6	34.6	-3.2	86.3	43.7	120.6	22.8	122.0
59	21.9	5.9	-31.1	58.9	24.4	118.6	-9.8	89.8	91.6	75.6	38.6	128.6	8.3	82.1	-0.1	99.5
60	27.9	9.9	-26.4	64.1	35.0	127.7	-53.9	46.0	65.9	47.9	11.7	102.2	51.1	121.5	-25.0	74.9
61	59.4	39.4	3.9	94.9	28.8	119.8	20.2	120.2	61.0	41.0	5.5	96.5	17.9	84.9	-14.7	85.3
62	62.0	40.0	5.2	96.7	24.0	113.1	-81.2	18.8	44.2	22.2	-12.5	79.0	59.6	122.9	-34.6	65.3
63	69.9	45.9	12.0	103.9	-0.9	86.2	-7.1	92.5	74.4	50.4	16.4	108.3	9.1	68.6	-14.9	84.8
64	77.7	51.7	18.6	110.9	5.0	89.8	-40.5	58.7	42.9	16.9	-16.3	76.0	9.5	65.0	35.9	135.1
65	71.1	43.1	10.8	103.5	29.4	111.7	-23.2	75.4	34.9	6.9	-25.4	67.2	-6.1	45.2	-3.8	94.8
66	44.5	14.5	-17.0	76.0	33.9	113.6	-17.1	80.6	87.1	57.1	25.6	118.6	-13.0	34.0	28.7	126.4
67	17.6	-14.4	-45.1	48.2	22.3	99.2	-5.7	91.1	17.8	-14.2	-44.9	48.4	55.8	98.2	28.5	125.3
68	109.3	75.3	45.5	139.2	6.7	80.7	12.1	107.7	53.4	19.4	-10.4	83.3	41.2	78.8	-13.7	81.9
69	97.1	61.1	32.1	126.2	9.9	80.8	36.9	131.1	50.5	14.5	-14.5	79.5	56.8	89.6	-38.9	55.3
70	34.3	-3.7	-31.8	62.5	20.4	87.8	-14.6	78.1	60.4	22.4	-5.7	88.6	46.8	74.5	-29.6	63.1
71	74.3	34.3	7.0	101.6	44.0	107.9	-13.9	77.1	89.3	49.3	22.0	116.6	44.3	66.7	17.6	108.6
72	121.9	79.9	53.5	148.4	78.6	138.9	-27.3	61.8	91.0	49.0	22.6	117.4	-50.4	-33.4	-27.2	61.9
73	62.4	18.4	-7.2	88.0	23.9	80.3	-9.3	77.7	47.7	3.7	-21.9	73.2	-3.2	8.1	-2.6	84.4

№ п/п	Варианты заданий															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
74	12.1	-33.9	-58.6	36.8	40.8	93.1	-1.6	83.2	36.6	-9.4	-34.0	61.3	44.9	50.5	-17.4	67.3
75	31.7	-16.3	-40.1	55.5	42.7	90.8	4.4	86.7	55.4	7.4	-16.4	79.2	3.6	3.1	-16.9	65.4
76	35.2	-14.8	-37.7	58.2	84.9	128.6	-19.1	60.6	42.2	-7.8	-30.7	65.2	42.2	35.6	13.2	92.9
77	60.5	8.5	-13.5	82.5	74.9	113.9	3.0	80.0	97.1	45.1	23.1	119.2	49.0	36.0	21.1	98.0
78	78.9	24.9	3.7	100.0	-35.9	-1.6	2.3	76.3	79.3	25.3	4.2	100.5	36.5	17.0	-1.4	72.5
79	60.1	4.1	-16.1	80.3	55.2	84.6	-19.7	51.1	93.5	37.5	17.3	113.7	14.2	-12.0	53.2	124.0
80	69.1	11.1	-8.2	88.4	24.7	48.9	13.4	80.9	111.1	53.1	33.7	130.4	82.9	49.8	-7.1	60.4
81	96.2	36.2	17.8	114.6	26.4	45.3	10.0	74.0	78.9	18.9	0.5	97.3	92.6	52.5	55.9	119.9
82	87.6	25.6	8.1	105.0	46.0	59.4	-26.2	34.1	97.6	35.6	18.1	115.1	79.5	32.1	7.7	67.9
83	94.2	30.2	13.6	110.7	25.2	33.0	30.0	86.3	127.7	63.7	47.2	144.3	38.3	-16.5	-4.4	51.9
84	48.3	-17.7	-33.3	63.9	59.5	61.4	36.3	88.6	33.6	-32.4	-48.1	49.2	82.4	19.9	10.1	62.4
85	50.8	-17.2	-31.8	65.5	25.9	21.7	-51.9	-3.8	69.7	1.7	-13.0	84.4	97.5	27.2	42.2	90.3
86	51.9	-18.1	-31.9	65.7	112.3	101.9	-7.7	36.0	91.6	21.6	7.8	105.3	135.0	56.8	27.1	70.8
87	73.8	1.8	-11.0	86.6	-23.3	-40.1	3.4	42.4	78.7	6.7	-6.1	91.6	103.5	17.1	41.8	80.9
88	47.6	-26.4	-38.3	59.5	87.8	64.5	57.5	91.8	93.2	19.2	7.3	105.1	83.7	-11.0	54.3	88.6
89	2.8	-73.2	-84.1	13.7	130.5	100.4	67.3	96.6	108.2	32.2	21.3	119.2	109.7	6.5	50.5	79.8
90	127.3	49.3	39.3	137.3	101.1	64.1	13.9	38.1	95.9	17.9	7.9	105.9	133.2	21.3	51.1	75.3
91	113.7	33.7	24.7	122.8	107.4	63.3	31.5	50.4	77.0	-3.0	-12.0	86.1	128.5	7.8	72.1	91.0
92	95.3	13.3	5.2	103.4	46.7	-4.8	39.5	52.9	78.7	-3.3	-11.4	86.8	76.1	-53.7	18.6	32.0
93	61.8	-22.2	-29.3	68.9	32.3	-26.7	51.5	59.3	132.8	48.8	41.7	140.0	132.1	-6.9	47.1	54.9
94	65.2	-20.8	-27.0	71.4	97.3	30.7	48.3	50.1	63.5	-22.5	-28.7	69.6	110.2	-38.3	26.7	28.6
95	67.7	-20.3	-25.6	72.9	131.5	57.1	38.1	33.9	82.8	-5.2	-10.4	88.0	122.6	-35.4	29.0	24.8
96	103.3	13.3	9.1	107.6	126.3	43.8	47.8	37.4	58.3	-31.7	-35.9	62.6	138.5	-29.3	35.5	25.1
97	83.9	-8.1	-11.4	87.2	72.5	-18.1	32.8	16.0	84.0	-8.0	-11.3	87.3	109.2	-68.5	40.8	24.0
98	136.1	42.1	39.7	138.4	114.9	15.9	71.0	47.6	35.7	-58.3	-60.7	38.0	140.8	-47.1	-13.2	-36.6
99	56.7	-39.3	-40.7	58.0	118.8	11.2	39.7	9.6	134.6	38.6	37.3	136.0	142.6	-55.6	72.0	41.9

Продолжение. Варианты заданий к индивидуальной работе

№ п/п	Варианты заданий															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
0	143.5	-80.8	1.8	101.8	101.8	1.8	10.6	-33.5	178.5	-45.9	-13.2	86.8	86.8	-13.2	125.9	0.6
1	140.4	-73.2	-13.9	84.1	80.0	-9.9	34.9	-2.1	153.2	-60.5	-19.4	78.6	74.6	-15.3	161.1	44.8
2	141.3	-61.8	3.7	99.7	91.9	11.5	80.9	50.9	130.1	-73.0	-12.2	83.8	76.0	-4.4	84.5	-23.1
3	132.6	-60.1	-21.6	72.4	61.0	-10.2	74.4	51.2	176.0	-16.7	-25.5	68.5	57.1	-14.2	116.2	17.1
4	149.0	-33.6	2.6	94.6	79.9	17.2	40.7	24.1	125.7	-56.8	-46.6	45.4	30.8	-31.9	141.8	51.2
5	125.2	-47.3	-2.5	87.5	69.7	15.2	34.7	24.6	188.9	16.4	6.3	96.3	78.6	24.1	36.7	-45.8
6	123.3	-39.4	6.6	94.6	73.9	27.2	56.6	52.8	80.7	-82.1	2.4	90.4	69.7	23.0	126.6	52.1
7	165.4	12.3	60.6	146.6	123.2	83.9	-27.4	-25.1	172.5	19.4	23.7	109.7	86.4	47.0	51.9	-14.7
8	127.8	-15.9	5.8	89.8	64.0	31.7	53.0	61.1	193.7	50.1	73.8	157.8	131.9	99.6	93.3	34.4
9	179.9	45.5	-5.1	76.9	48.8	23.1	16.5	30.4	110.3	-24.1	33.3	115.3	87.1	61.4	44.2	-7.2
10	65.9	-59.4	41.1	121.1	90.7	71.4	-11.0	8.4	91.9	-33.3	39.6	119.6	89.2	69.9	34.9	-9.3
11	110.7	-5.7	52.7	130.7	98.4	85.1	59.9	84.7	125.8	9.5	36.9	114.9	82.5	69.2	81.3	44.3
12	116.5	8.9	-32.0	44.0	9.8	2.2	-17.2	12.8	112.6	5.0	39.5	115.5	81.3	73.7	7.6	-22.5
13	148.4	49.4	51.6	125.6	89.7	87.5	-14.9	20.1	100.0	1.0	33.2	107.2	71.3	69.1	58.0	34.7
14	114.0	23.4	-21.0	51.0	13.6	16.5	96.6	136.4	10.1	-80.5	-17.3	54.7	17.2	20.1	70.8	54.1
15	39.8	-42.6	-27.0	43.0	4.1	11.9	33.4	77.8	105.6	23.1	17.1	87.1	48.2	56.0	99.2	88.8
16	46.1	-28.3	0.5	68.5	28.3	40.8	62.7	111.6	81.6	7.2	-6.7	61.3	21.1	33.6	15.3	11.1
17	155.3	88.7	11.6	77.6	36.2	53.1	32.1	85.3	105.6	39.0	37.9	103.9	62.5	79.3	37.6	39.5
13	101.6	42.6	37.2	101.2	58.7	79.8	47.4	104.7	20.3	-38.6	12.5	76.5	34.0	55.1	60.5	68.2
19	75.7	24.3	12.8	74.8	31.3	56.3	2.5	63.7	53.4	2.0	-0.3	61.7	18.2	43.2	48.9	62.3
20	46.8	2.6	-27.3	32.7	-11.7	17.1	63.8	128.8	68.9	24.7	-1.7	58.3	13.9	42.7	46.5	65.4
21	38.1	1.0	20.3	78.3	33.1	65.5	-69.9	-1.4	59.5	22.4	5.5	63.5	18.3	50.7	53.5	77.8
22	16.2	-13.9	33.0	89.0	43.1	78.9	22.5	94.4	98.4	68.3	38.7	94.7	48.9	84.6	60.0	89.4
23	30.1	6.8	46.4	100.4	53.9	92.9	2.4	77.6	22.1	-1.3	15.7	69.7	23.1	62.2	60.8	95.1
24	91.9	75.2	72.5	124.5	77.5	119.5	29.3	107.4	60.1	43.3	26.7	78.7	31.6	73.7	57.4	96.5
25	83.6	73.2	6.7	56.7	9.2	54.2	42.7	123.7	4.2	-6.2	62.9	112.9	65.4	110.4	36.0	79.7
26	74.9	70.8	30.2	78.2	30.3	78.0	1.1	84.8	81.3	77.1	4.8	52.8	5.0	52.7	5.2	53.3
27	17.3	19.1	-8.7	37.3	-10.9	39.5	41.7	127.8	67.2	69.1	27.1	73.1	24.9	75.3	37.8	90.2
28	33.8	41.5	-49.9	-5.9	-54.3	-1.4	-49.9	38.5	91.8	99.5	61.2	105.2	56.8	109.7	17.3	73.7
29	91.5	105.0	74.4	116.4	67.7	123.0	72.7	163.3	78.7	92.2	55.8	97.8	49.1	104.4	-6.0	54.3
30	41.3	60.2	16.4	56.4	7.6	65.1	50.4	142.9	65.0	83.9	-57.0	-17.0	-65.8	-8.3	81.5	145.4
31	28.0	52.2	-23.1	14.9	-33.9	25.7	5.8	100.1	17.0	41.2	-33.7	4.3	-44.5	15.1	-20.8	46.7
32	21.7	51.0	-17.1	18.9	-29.9	31.7	6.0	101.9	40.5	69.9	38.2	74.2	25.3	87.0	-36.2	34.6
33	44.8	79.1	39.8	73.8	25.0	88.6	-44.4	52.9	50.8	85.1	14.5	48.5	-0.3	63.3	24.6	98.6
34	45.4	84.5	49.5	81.5	32.8	98.2	-35.9	62.5	34.3	73.4	-1.9	30.1	-18.7	46.8	-31.3	45.6
35	25.8	69.5	7.6	37.6	-11.0	56.1	-3.1	96.4	63.8	107.5	38.0	68.0	19.4	86.6	-2.2	77.5
36	28.5	76.6	85.2	113.2	64.8	133.6	-10.5	89.9	59.8	108.0	59.1	87.1	38.7	107.5	35.1	117.4
37	36.5	88.9	54.9	80.9	32.7	103.1	32.5	133.6	-4.8	47.6	46.2	72.2	24.0	94.4	-9.4	75.3

№ п/п	Варианты заданий															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
38	-1.3	55.1	76.9	100.9	53.0	124.8	-57.7	43.8	21.8	78.2	38.3	62.3	14.4	86.3	-20.8	66.2
39	15.9	76.1	53.5	75.5	27.9	101.2	20.5	122.4	37.1	97.4	16.1	38.1	-9.6	63.7	-20.6	68.5
40	-25.8	38.1	2.0	22.0	-25.4	49.3	-8.1	93.9	1.4	65.3	27.7	47.7	0.4	75.0	37.4	128.4
41	22.3	89.8	70.8	88.8	41.8	117.7	-0.3	101.6	3.8	71.3	20.8	38.8	-8.2	67.7	-27.0	65.7
42	65.0	135.8	6.9	22.9	-23.7	53.5	18.4	120.1	-12.1	58.7	38.0	54.0	7.5	84.6	-34.7	59.6
43	-14.2	59.8	42.2	56.2	10.0	88.3	-37.1	64.3	-40.6	33.4	73.5	87.5	41.4	119.7	21.0	116.5
44	35.1	112.1	34.3	46.3	0.6	80.0	-15.0	85.7	4.9	81.9	49.4	61.4	15.7	95.1	-20.5	76.2
45	6.4	86.1	16.1	26.1	-19.1	61.3	2.7	102.7	10.4	90.1	60.4	70.4	25.2	105.6	17.4	115.1
46	-24.7	57.6	-4.7	3.3	-41.4	40.0	-9.0	90.1	-0.9	81.4	68.2	76.2	31.5	112.9	20.6	119.2
47	29.3	114.1	57.4	63.4	19.3	101.6	14.9	112.8	19.2	104.0	46.5	52.5	8.3	90.7	16.0	115.2
48	15.2	102.3	67.3	71.3	27.7	110.9	-46.7	49.9	23.2	110.2	56.4	60.4	16.8	100.0	4.6	104.2
49	-21.0	68.1	42.5	44.5	1.5	85.6	37.1	132.2	43.2	132.3	53.9	55.9	12.8	96.9	-1.5	98.4
50	-53.5	37.5	77.7	77.7	35.3	120.2	-52.0	41.5	-50.9	40.1	62.9	62.9	20.4	105.3	9.5	109.5
51	-25.1	67.6	49.4	47.4	5.6	91.3	30.4	122.0	79.2	171.9	36.7	34.7	-7.1	78.6	7.5	107.4
52	-36.9	57.3	40.9	36.9	-4.3	82.1	-9.8	79.8	33.5	127.7	31.1	27.1	-14.0	72.3	-4.9	94.7
53	-9.6	86.0	-6.8	-12.8	-53.3	33.7	50.6	138.0	-0.1	95.5	144.4	138.4	97.9	185.0	-13.2	86.0
54	-28.6	68.1	25.4	17.4	-22.4	65.3	-15.1	70.0	-11.9	84.9	45.4	37.4	-2.4	85.3	9.5	108.1
55	-16.7	81.1	87.4	77.4	38.3	126.6	46.4	128.9	10.4	108.1	16.6	6.6	-32.6	55.8	5.6	103.4
56	29.1	127.7	50.8	38.8	0.4	89.3	32.8	112.6	-48.9	49.6	78.8	66.8	28.3	117.2	-26.4	70.4
57	24.5	123.7	48.6	34.6	-3.2	86.3	43.7	120.6	22.8	122.0	45.2	31.2	-6.5	82.9	26.0	121.6
58	-9.8	89.8	91.6	75.6	38.6	128.6	8.3	82.1	-0.1	99.5	21.9	5.9	-31.1	58.9	24.4	118.6
59	-53.9	46.0	65.9	47.9	11.7	102.2	51.1	121.5	-25.0	74.9	27.9	9.9	-26.4	64.1	35.0	127.7
60	20.2	120.2	61.0	41.0	5.5	96.5	17.9	84.9	-14.7	85.3	59.4	39.4	3.9	94.9	28.8	119.8
61	-81.2	18.8	44.2	22.2	-12.5	79.0	59.6	122.9	-34.6	65.3	62.0	40.0	5.2	96.7	24.0	113.1
62	-7.1	92.5	74.4	50.4	16.4	108.3	9.1	68.6	-14.9	84.8	69.9	45.9	12.0	103.9	-0.9	86.2
63	-40.5	58.7	42.9	16.9	-16.3	76.0	9.5	65.0	35.9	135.1	77.7	51.7	18.6	110.9	5.0	89.8
64	-23.2	75.4	34.9	6.9	-25.4	67.2	-6.1	45.2	-3.8	94.8	71.1	43.1	10.8	103.5	29.4	111.7
65	-17.1	80.6	87.1	57.1	25.6	118.6	-13.0	34.0	28.7	126.4	44.5	14.5	-17.0	76.0	33.9	113.6
66	-5.7	91.1	17.8	-14.2	-44.9	48.4	55.8	98.2	28.5	125.3	17.6	-14.4	-45.1	48.2	22.3	99.2
67	12.1	107.7	53.4	19.4	-10.4	83.3	41.2	78.8	-13.7	81.9	109.3	75.3	45.5	139.2	6.7	80.7
68	36.9	131.1	50.5	14.5	-14.5	79.5	56.8	89.6	-38.9	55.3	97.1	61.1	32.1	126.2	9.9	80.8
69	-14.6	78.1	60.4	22.4	-5.7	88.6	46.8	74.5	-29.6	63.1	34.3	-3.7	-31.8	62.5	20.4	87.8
70	-13.9	77.1	89.3	49.3	22.0	116.6	44.3	66.7	17.6	108.6	74.3	34.3	7.0	101.6	44.0	107.9
71	-27.3	61.8	91.0	49.0	22.6	117.4	-50.4	-33.4	-27.2	61.9	121.9	79.9	53.5	148.4	78.6	138.9
72	-9.3	77.7	47.7	3.7	-21.9	73.2	-3.2	8.1	-2.6	84.4	62.4	18.4	-7.2	88.0	23.9	80.3
73	-1.6	83.2	36.6	-9.4	-34.0	61.3	44.9	50.5	-17.4	67.3	12.1	-33.9	-58.6	36.8	40.8	93.1
74	4.4	86.7	55.4	7.4	-16.4	79.2	3.6	3.1	-16.9	65.4	31.7	-16.3	-40.1	55.5	42.7	90.8
75	-19.1	60.6	42.2	-7.8	-30.7	65.2	42.2	35.6	13.2	92.9	35.2	-14.8	-37.7	58.2	84.9	128.6
76	3.0	80.0	97.1	45.1	23.1	119.2	49.0	36.0	21.1	98.0	60.5	8.5	-13.5	82.5	74.9	113.9
77	2.3	76.3	79.3	25.3	4.2	100.5	36.5	17.0	-1.4	72.5	78.9	24.9	3.7	100.0	-35.9	-1.6
78	-19.7	51.1	93.5	37.5	17.3	113.7	14.2	-12.0	53.2	124.0	60.1	4.1	-16.1	80.3	55.2	84.6
79	13.4	80.9	111.1	53.1	33.7	130.4	82.9	49.8	-7.1	60.4	69.1	11.1	-8.2	88.4	24.7	48.9

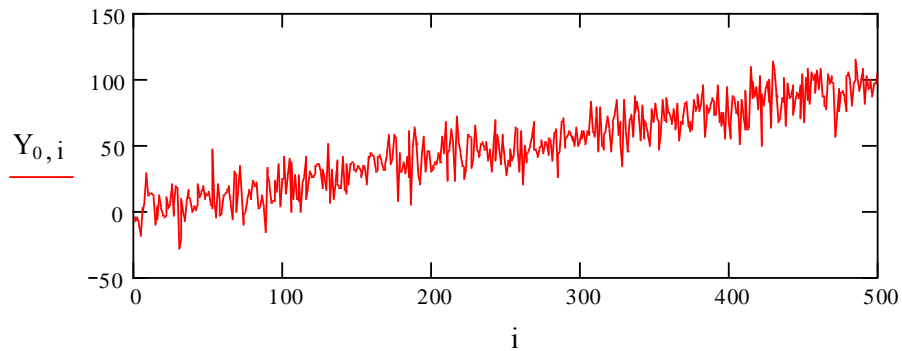
№ п/п	Варианты заданий															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
80	10.0	74.0	78.9	18.9	0.5	97.3	92.6	52.5	55.9	119.9	96.2	36.2	17.8	114.6	26.4	45.3
81	-26.2	34.1	97.6	35.6	18.1	115.1	79.5	32.1	7.7	67.9	87.6	25.6	8.1	105.0	46.0	59.4
82	30.0	86.3	127.7	63.7	47.2	144.3	38.3	-16.5	-4.4	51.9	94.2	30.2	13.6	110.7	25.2	33.0
83	36.3	88.6	33.6	-32.4	-48.1	49.2	82.4	19.9	10.1	62.4	48.3	-17.7	-33.3	63.9	59.5	61.4
84	-51.9	-3.8	69.7	1.7	-13.0	84.4	97.5	27.2	42.2	90.3	50.8	-17.2	-31.8	65.5	25.9	21.7
85	-7.7	36.0	91.6	21.6	7.8	105.3	135.0	56.8	27.1	70.8	51.9	-18.1	-31.9	65.7	112.3	101.9
86	3.4	42.4	78.7	6.7	-6.1	91.6	103.5	17.1	41.8	80.9	73.8	1.8	-11.0	86.6	-23.3	-40.1
87	57.5	91.8	93.2	19.2	7.3	105.1	83.7	-11.0	54.3	88.6	47.6	-26.4	-38.3	59.5	87.8	64.5
88	67.3	96.6	108.2	32.2	21.3	119.2	109.7	6.5	50.5	79.8	2.8	-73.2	-84.1	13.7	130.5	100.4
89	13.9	38.1	95.9	17.9	7.9	105.9	133.2	21.3	51.1	75.3	127.3	49.3	39.3	137.3	101.1	64.1
90	31.5	50.4	77.0	-3.0	-12.0	86.1	128.5	7.8	72.1	91.0	113.7	33.7	24.7	122.8	107.4	63.3
91	39.5	52.9	78.7	-3.3	-11.4	86.8	76.1	-53.7	18.6	32.0	95.3	13.3	5.2	103.4	46.7	-4.8
92	51.5	59.3	132.8	48.8	41.7	140.0	132.1	-6.9	47.1	54.9	61.8	-22.2	-29.3	68.9	32.3	-26.7
93	48.3	50.1	63.5	-22.5	-28.7	69.6	110.2	-38.3	26.7	28.6	65.2	-20.8	-27.0	71.4	97.3	30.7
94	38.1	33.9	82.8	-5.2	-10.4	88.0	122.6	-35.4	29.0	24.8	67.7	-20.3	-25.6	72.9	131.5	57.1
95	47.8	37.4	58.3	-31.7	-35.9	62.6	138.5	-29.3	35.5	25.1	103.3	13.3	9.1	107.6	126.3	43.8
96	32.8	16.0	84.0	-8.0	-11.3	87.3	109.2	-68.5	40.8	24.0	83.9	-8.1	-11.4	87.2	72.5	-18.1
97	71.0	47.6	35.7	-58.3	-60.7	38.0	140.8	-47.1	-13.2	-36.6	136.1	42.1	39.7	138.4	114.9	15.9
98	39.7	9.6	134.6	38.6	37.3	136.0	142.6	-55.6	72.0	41.9	56.7	-39.3	-40.7	58.0	118.8	11.2
99	53.6	16.6	68.0	-30.0	-30.4	68.3	174.7	-34.0	59.1	22.1	110.4	12.4	12.0	110.8	84.2	-32.1

ПРИЛОЖЕНИЕ 11 Определение детерминированной составляющей

Выделение детерминированной составляющей процесса

$N := 500$ $a := \text{rnorm}(N, 0, 12)$

$i := 0..N - 1$ $Y_{0,i} := 1 \cdot \frac{i}{5} + a_i$



$i := 0..N - 1$

$X_i := i$ $[(\text{data})^{(0)}] := X$ $\text{data}^{(1)} := (Y^T)^{(0)}$

$X := \text{data}^{(0)}$ $Y := \text{data}^{(1)}$ $n := \text{rows}(\text{data})$

Enter degree of polynomial to fit

$k := 1$

$z := \text{regress}(X, Y, k)$

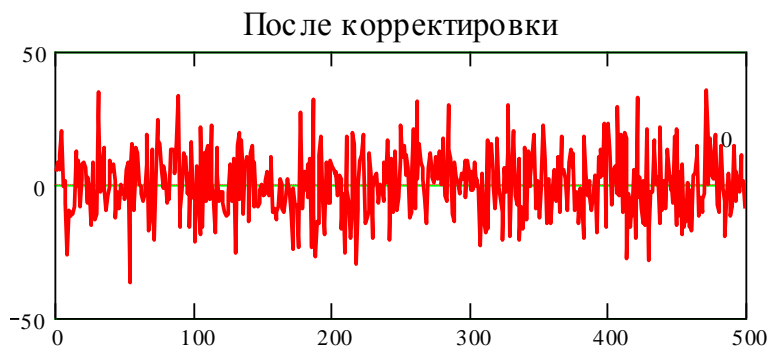
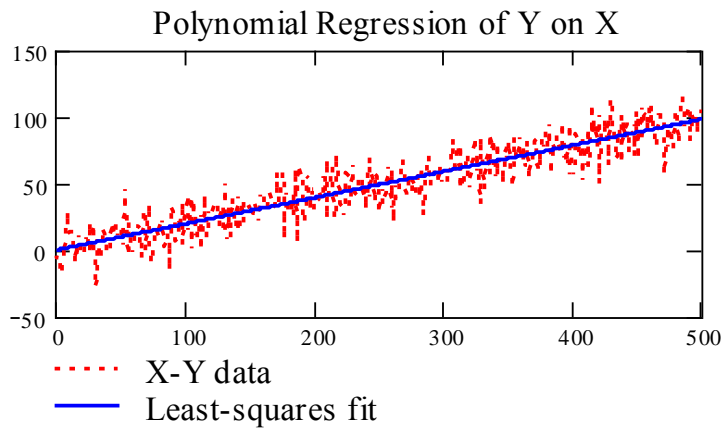
$\text{fit}(x) := \text{interp}(z, X, Y, x)$

$\text{coeffs} := \text{submatrix}(z, 3, \text{length}(z) - 1, 0, 0)$

$\text{coeffs}^T = (-0.448 \ 0.196)$

$q := 0..N$

$$R^2: \frac{\sum (\text{fit}(X) - \text{mean}(Y))^2}{\sum (Y - \text{mean}(Y))^2} = 0.85$$



$D := \overset{\longrightarrow}{\text{fit}(X)} - Y$ После коррекции

$D := Y$ До коррекции

Построение гистограммы

$k := 30$

$X_{\max} := \text{ceil}(\max(D))$

$X_{\min} := \text{floor}(\min(D))$

$h := \frac{(X_{\max} - X_{\min})}{k}$ $h = 4.8$

$j := 0..k$

$\text{int}_j := X_{\min} + h \cdot j$ $X_{\max} = 115$

$X_{\min} = -29$

$m := \text{hist}(\text{int}, D)$

$\sum_{j=0}^{k-1} m_j = 500$

Проверка гипотезы о соответствии исходного распределения нормальному закону

$$\sum_{j=4}^{28} \left[\frac{(m_j - \text{nor1}_{j+0})^2}{\text{nor1}_{j+0}} \right] = 47.846 \quad q_{\text{chisq}}(1 - \alpha, k - 10) = 31.41$$

$$\sum_{j=6}^{23} \left[\frac{(m_j - \text{nor1}_j)^2}{\text{nor1}_j} \right] < q_{\text{chisq}}(1 - \alpha, k - 10) = 0$$

Гипотеза о соответствии исходного распределения нормальному закону не подтверждается на уровне значимости 0.05.

После корректировки (устранения детерминированной составляющей процесса) можно говорить о соответствии полученного распределения нормальному закону на уровне значимости 0.05.

Поле рассеивания полученного распределения уменьшилось с 123 до 48.

Расчет ошибок первого и второго рода

Принимаем распределение СВ нормальным, а поле рассеяния показаний вольтметра равновероятным

$$d := 2 \quad N = 500$$

$$Dv := 0$$

$$Dn := -d$$

Верхнее – Dv и нижнее – Dn отклонения поля допуска

$$(\text{pnorm}(Dv, X_{sr}, s) - \text{pnorm}(Dn, X_{sr}, s)) \cdot N = 3.545$$

$$Dv := 100 + d$$

$$Dn := 100$$

Ошибка второго рода

Ошибка второго рода

$$(\text{pnorm}(Dv, X_{sr}, s) - \text{pnorm}(Dn, X_{sr}, s)) \cdot N = 3.023$$

Риск заказчика: из-за погрешности вольтметра (d=2) семь (6.5) из 500 негодных изделий принято.

Риск поставщика: из-за погрешности вольтметра ($d=2$) семь (7.3) из 500 годных изделий забраковано.

$$D_v := d \qquad D_n := 0$$

Ошибка первого рода

$$(\text{pnorm}(D_v, X_{sr}, s) - \text{pnorm}(D_n, X_{sr}, s)) \cdot N = 3.928$$

$$D_v := 100 \qquad D_n := 100 - d$$

Ошибка первого рода

$$(\text{pnorm}(D_v, X_{sr}, s) - \text{pnorm}(D_n, X_{sr}, s)) \cdot N = 3.371$$