А. Ф. Рогачев
Е. В. Мелихова
В. Л. Розалиев

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова, В. Л. Розалиев

Информационно-аналитический комплекс для обработки экспериментальных данных

Учебное пособие

Волгоград
2020

УДК 004.6 (075)

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра высшей математики
Волгоградского государственного аграрного университета,
зав. кафедрой д-р техн. наук, профессор *Ю. В. Клочков*;

доцент кафедры технологии, экономики образования и сервиса
Волгоградского государственного социально-педагогического университета
канд. пед. наук *Д. В. Латышев*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Рогачев, А. Ф.
Информационно-аналитический комплекс для обработки экспериментальных данных : учеб. пособие / А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова, В. Л. Розалиев ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – 80 с.
ISBN 978-5-9948-3669-9

Рассмотрены назначение и функциональные возможности программного пакета PowerGraph v.3.3, включая ввод экспериментальных данных, регистрацию экспериментальных данных, блочную систему записи данных, визуализацию и запись обрабатываемых данных. Элементы автоматизированной обработки включают предварительный статистический анализ, импорт и экспорт, а также дополнительные возможности и вспомогательные утилиты пакета. Приведены теоретические основы обработки экспериментальных данных, варианты применяемых ПС, включая аналитические возможности MS Excel.

Предназначено для бакалавров, магистрантов и аспирантов, обучающихся по направлениям 09.03.00, 09.04.00 и 09.06.00 «Информатика и вычислительная техника», «Программная инженерия».

ISBN 978-5-9948-3669-9

© Волгоградский государственный технический университет, 2020
© А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова В. Л. Розалиев, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……..……4
1. НАЗНАЧЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА POWERGRAPH 7
1.1 Ввод экспериментальных данных 8
1.2 Регистрация экспериментальных данных 10
1.3 Блочная система записи данных 12
1.4 Визуализация и запись обрабатываемых данных..... 14
2. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ 16
2.1. Предварительный анализ данных..... 18
2.2. Импорт и экспорт данных 21
3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УТИЛИТЫ 24
3.1. Утилита «File Recorder»..... 24
3.2. Утилита «File Viewer»..... 25
4. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ 27
Утилита «Спектрограмма» 29
5. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАДСТРОЙКИ «АНАЛИЗ ДАННЫХ» MSEXCEL 41
5.1. Оценка изменчивости количественных признаков для независимых выборок 41
5.2 Оценка средней разности при количественной изменчивости признаков для зависимых выборок. Парный двухвыборочный t-тест для средних..... 43
5.3 Дисперсионный анализ данных однофакторного вегетационного и полевого опытов с полной рандомизацией вариантов..... 44
5.4 Дисперсионный анализ данных двухфакторного вегетационного и полевого опытов с полной рандомизацией вариантов..... 47
6. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ..... 51
6.1. Основные понятия 51
6.2. Моделирование временных рядов 54
6.3. Решение типовых задач..... 56
Вопросы для самопроверки..... 68
Список использованной литературы..... 70
Приложение 73

Введение

Любая современная автоматизированная измерительная система, построенная на базе персонального компьютера, состоит из двух частей – аппаратной и программной.

Выбор компонентов аппаратной части в настоящее время не является проблемой, так как на рынке представлен широкий ассортимент измерительных преобразователей и устройств сбора данных от различных производителей.

При автоматизации измерений большая нагрузка «ложится на плечи» программного обеспечения (ПО) – это управление устройствами и процессом регистрации, накопление и хранение данных, визуализация, редактирование, обработка и анализ сигналов. Именно с программным обеспечением взаимодействует пользователь в процессе работы, поэтому качество и эффективность любой измерительной системы зависят в конечном итоге от функциональных возможностей ее программной части.

Стандартным и самым эффективным решением при создании автоматизированных измерительных систем является разработка собственного программного обеспечения. Этот путь требует опыта и знаний в области программирования, а также существенных затрат сил и времени, которые могут превысить затраты, необходимые на проведение измерений. Конечно, существующие современные средства быстрой разработки и графического программирования облегчают написание программ, но при создании полноценного многофункционального ПО выбор и использование этих инструментов не играет определяющей роли, так как основная работа в этом случае связана с проектированием архитектуры и разработкой логики программного обеспечения, а не с кодированием.

Разработка нового ПО целесообразна при отсутствии готовых программ, решающих поставленные задачи, или если основной целью является повышение личной квалификации в программировании, а не проведение измерений и исследований. В остальных случаях наиболее оправданным решением является использование готового программного обеспечения.

Существующее программное обеспечение в области компьютерных измерений можно условно разделить на три группы:

■ К первой группе относятся дорогостоящие комплексы промышленной автоматизации, предназначенные для использования в рамках крупного предприятия. Такие комплексы обладают высоким уровнем функциональности, но зачастую требуют длительной и трудоемкой подготовки и настройки, что не всегда приемлемо для конечного пользователя.

■ Вторую группу составляет программное обеспечение, разработанное производителями измерительной аппаратуры и поставляемое в комплекте с их продукцией. Основной задачей такого ПО является проверка работоспособности устройств и сохранение данных на компьютере, поэтому его функциональные возможности, как правило, весьма ограничены – визуализация короткого временного участка сигналов в осциллографическом режиме и запись данных в файл на диске. Кроме того, программы, поставляемые в комплекте с оборудованием, создаются с учетом специфики продукции только данного производителя и поэтому не обладают необходимой степенью гибкости и универсальности. Ведь очень часто в лабораториях и исследовательских центрах используется оборудование и программное обеспечение разных производителей, что создает определенные неудобства при сборе, обработке и анализе данных, не говоря уже об обмене данными между исследователями.

■ В третью группу входит независимое программное обеспечение, ориентированное на индивидуального конечного пользователя и обла-

дающее достаточной для большинства задач универсальностью и функциональностью. К этой группе относится изучаемый в данной лабораторной работе программный пакет PowerGraph, который обеспечивает не только регистрацию сигналов, но и полный спектр операций визуализации, печати, редактирования, обработки и анализа полученных данных.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА POWERGRAPH

Программный пакет PowerGraph предназначен для компьютерного обеспечения сбора, обработки, визуализации, хранения и экспорта экспериментальных аналоговых сигналов, поступающих на входы различных устройств сбора данных.

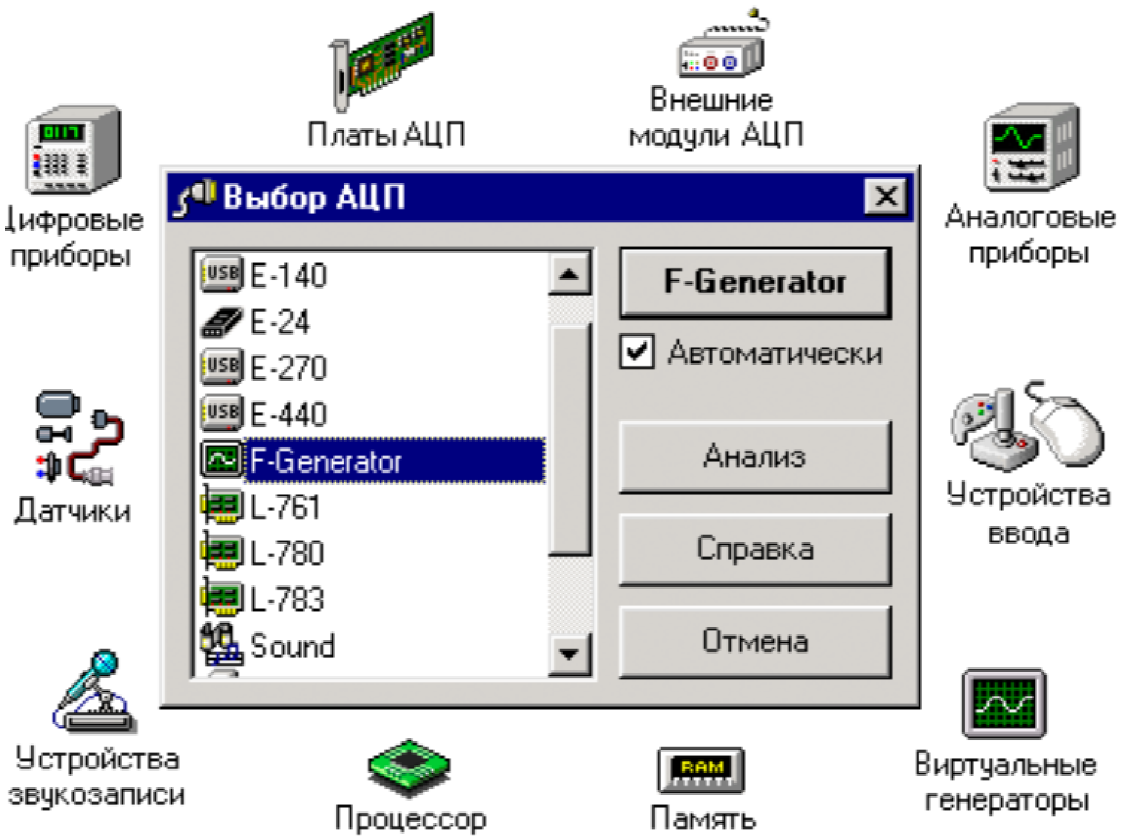


Рисунок 1.1 – Семейство приборов, взаимодействующих с программным пакетом PowerGraph

Рассмотрим основные функциональные возможности программного пакета PowerGraph 3.3:

- Ввод экспериментальных данных
- Регистрация экспериментальных данных

- Визуализация и запись обрабатываемых данных
- Предварительный статистический анализ данных
- Импорт и экспорт данных
- Дополнительные возможности вспомогательные утилиты

Основные возможности пакета:

– Поддержка любой разрядности АЦП.

– Поддержка индивидуальных аппаратных настроек различных устройств, в том числе управление ЦАП-ми и цифровыми линиями.

– Возможность разделения "физических" и "логических" каналов.

– Независимая настройка диапазонов измерений и параметров регистрации для каждого из каналов.

– Предварительный мониторинг входных сигналов.

– Программная коррекция и калибровка входных сигналов.

– Использование любых единиц измерения сигналов.

1.1 Ввод экспериментальных данных

В состав программного пакета PowerGraph входит постоянно расширяемая библиотека драйверов различных устройств. Помимо поддержки серийной продукции российских и зарубежных производителей (Л-Кард, Центр АЦП, Сигнал, Аурис, National Instruments, Measurement Computing, Texas Instruments), пакет PowerGraph поддерживает ряд специализированного оборудования (рисунок 1.2) и поставляется в его составе в качестве стандартного программного обеспечения.

В пакете PowerGraph имеются также дополнительные функции получения данных, расширяющие области его применения: регистрации сигналов с помощью звуковой карты и игрового порта компьютера, регистра-

ция данных с GPS-приемников, регистрация системных параметров операционной системы (загрузка процессора, использование памяти), регистрация перемещения курсора мыши на экране и использование виртуальных математических генераторов сигналов.

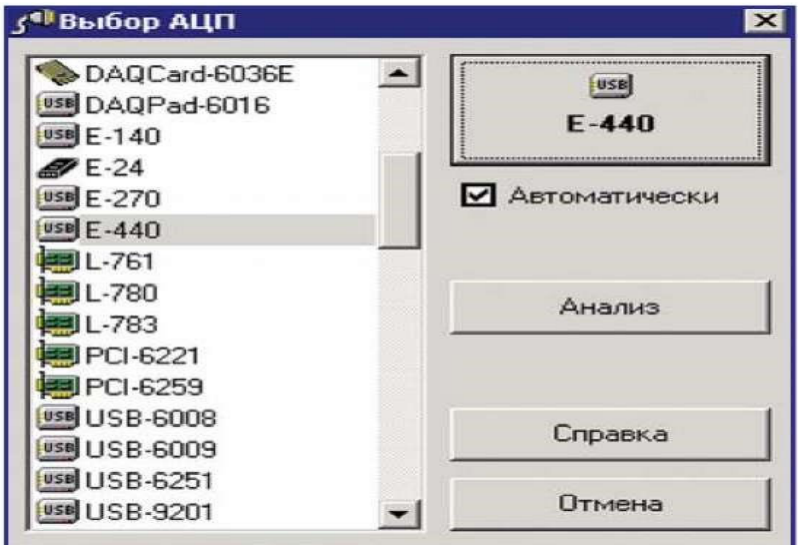


Рисунок 1.2 – Окно выбора АЦП для ввода данных

Все программы в составе пакета PowerGraph обладают аппаратно-независимой архитектурой, индивидуальные особенности и возможности каждого устройства (например, настройки физических входов – однополюсные или дифференциальные) реализованы и доступны на уровне конкретного драйвера. Кроме индивидуальных настроек каждого устройства, PowerGraph включает общие функции подготовки к проведению измерений: предварительный мониторинг входных сигналов, выбор оптимального диапазона измерений, ввод индивидуального названия и единиц измерения каждого канала, а также проведение калибровки входных сигналов для преобразования единиц измерения устройства (обычно Вольты или коды АЦП) в реальные единицы измеряемой величины (градусы, килограммы, метры и т.п.).

Общие настройки регистрации данных предусматривают выбор произвольного набора каналов, использование любых частот дискретизации, поддерживаемых устройством, а также использование аппаратной и программной синхронизации (счетчики, таймеры, по уровню сигналов с записью пред- и постистории). Кроме регистрации данных в PowerGraph существует возможность управления дополнительными компонентами устройств – цифровыми и цифро-аналоговыми выходами (например, автоматическое управление состоянием цифровых выходов по уровню входных сигналов).

1.2 Регистрация экспериментальных данных

Программный пакет PowerGraph состоит из основной программы и набора специализированных утилит. Основная программа PowerGraph представляет собой компьютерный самописец, обладающий не только всеми возможностями обычных ленточных самописцев, но и функциями редактирования, обработки и анализа записанных данных. В отличие от часто используемого в компьютерных программах осциллографического режима, программа PowerGraph осуществляет запись сигналов на «бумажную ленту» с возможностью прокрутки и просмотра любого ее участка в любой момент времени (рис. 1.3).

Как правило, исследования состоят из серии измерений, но в большинстве компьютерных программ данные каждого измерения сохраняются в отдельный файл, что в результате приводит к накоплению большого количества файлов. Работа с большим количеством файлов имеет ряд неудобств, связанных с многочисленными операциями открытия, обработки и сохранения, а также с размещением на экране графических данных нескольких файлов и переключением между окнами.

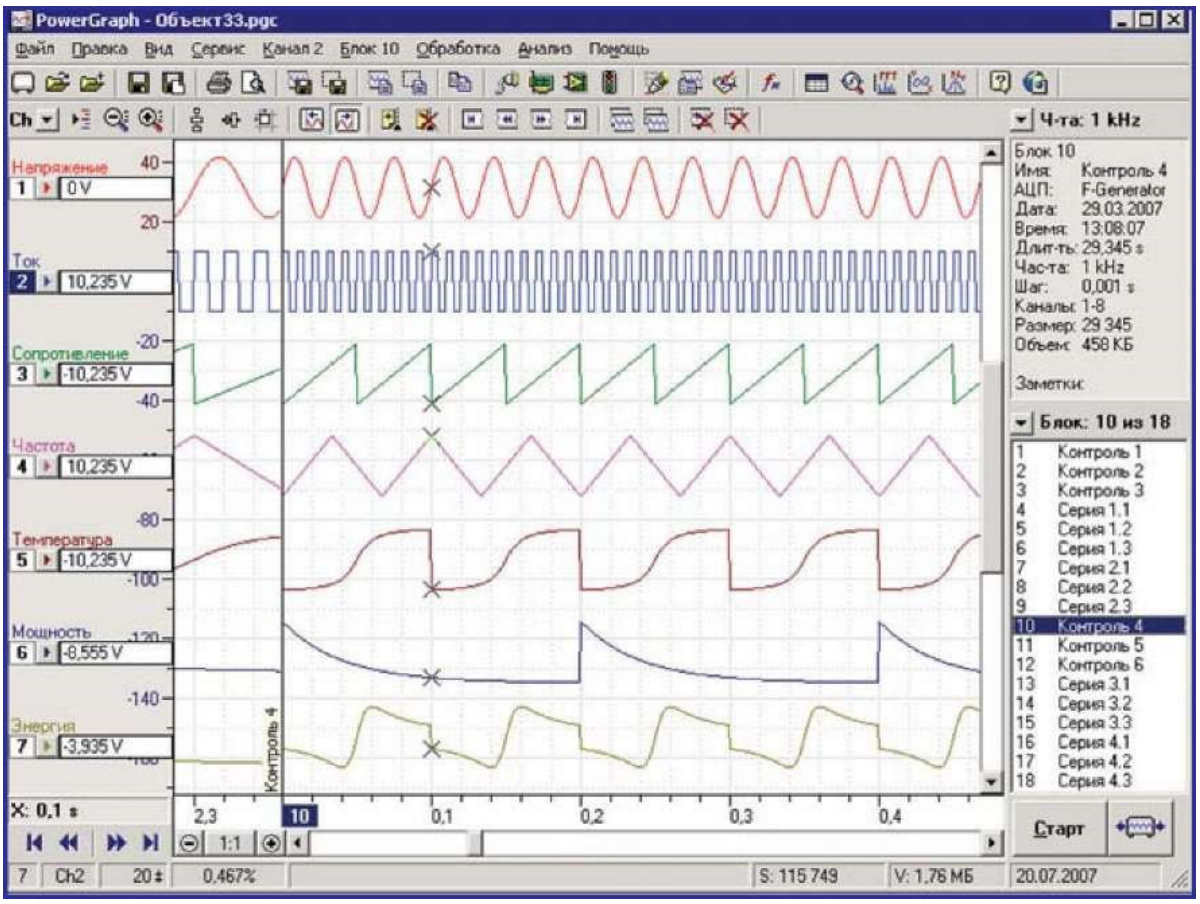


Рисунок 1.3 – Окно управления введенными данными

В программе PowerGraph используется другой подход – при каждом запуске измерений данные записываются в один и тот же файл в виде последовательности независимых блоков. Пользователь имеет возможность самостоятельно решать, когда завершить запись текущего файла, начать запись нового файла или продолжить регистрацию данных в уже существующий файл.

Такая система записи облегчает работу с данными, так как серия однотипных измерений может содержаться в одном файле (например, все измерения за один день или все измерения одного из исследуемых объектов).

Блочная система записи обладает также следующими преимуществами: отображение на экране графических данных нескольких измерений,

единый масштаб и положение каждого графика во всех блоках, возможность сквозной обработки сигналов по всем блокам.

Кроме графических данных программа PowerGraph содержит список блоков и позволяет двойным щелчком на соответствующем элементе списка быстро переходить на ленте записи к любому из них. Для идентификации каждого блока пользователь может ввести его индивидуальное название, а также свои заметки и примечания (например, описание условий и задач проведения данного измерения). Для каждого блока автоматически фиксируется и отображается на экране полезная дополнительная информация: тип устройства, дата и время начала записи, частота, длительность, размер и объем данных.

1.3 Блочная система записи данных

Пакет **«PowerGraph»** позволяет последовательно записывать в один файл серию измерений в виде отдельных блоков данных.

– Порядок следования блоков может быть изменен в соответствии с более логичной последовательностью проведения измерений.

– Блоки можно копировать, удалять, а также добавлять из других файлов.

– Каждый блок данных имеет собственные независимые параметры - скорость регистрации, продолжительность записи, количество записанных каналов и др.

– Каждый блок хранит полезную информацию о записанных данных (дату и время начала записи, тип и параметры АЦП).

– Как для всего файла, так и для каждого блока Вы можете ввести дополнительную текстовую информацию (протокол эксперимента, заметки и т.п.).

– Программа PowerGraph позволяет осуществлять с блоками данных стандартные операции редактирования: перемещение блоков в соответствии с более логичной последовательностью проведения измерений, удаление и дублирование блоков, а также добавление блоков из других файлов. Программа позволяет также выделять произвольный временной участок сигналов внутри блока для проведения дополнительных операций редактирования - удаление лишних данных и копирование выделенного участка в новый блок (рис.1.4).

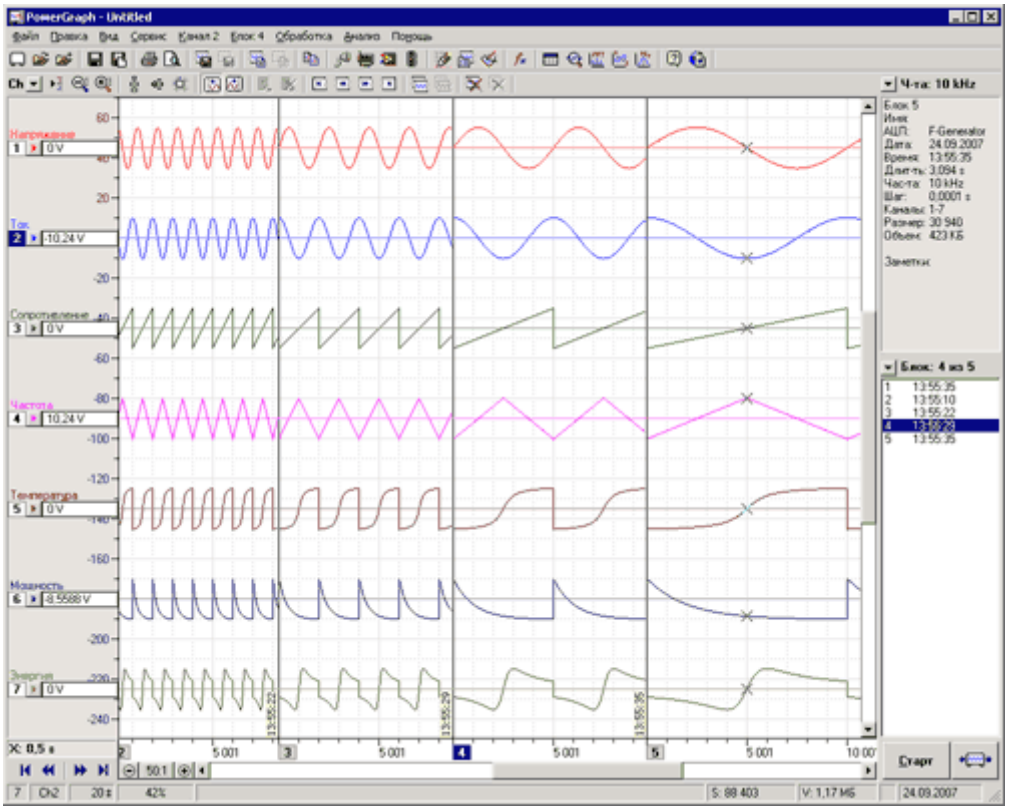


Рисунок 1.4 – Разметка блоков экспериментальных данных

Кроме операций редактирования, выделение временного участка используется для ограничения объема данных (для создания выборки) во всех инструментах анализа и при экспорте сигналов в различные файловые форматы.

Программа PowerGraph позволяет устанавливать на ленте записи текстовые метки (комментарии), обозначающие определенный момент на шкале времени. Использование текстовых меток позволяет фиксировать различные события, возникающие в процессе регистрации, разделять непрерывный набор данных на логические участки и отмечать на ленте записи отдельные значения сигнала (например, максимальное или минимальное).

1.4 Визуализация и запись обрабатываемых данных

В компьютерных программах обычно встречаются два основных варианта визуализации большого количества графиков. В первом варианте все графики отображаются на одном графическом дисплее с общей шкалой, что существенно затрудняет визуальное восприятие в результате наложения графиков друг на друга. Во втором – каждый график отображается в отдельном независимом дисплее, что ограничивает пространство для его отображения и не позволяет совмещать отдельные графики для сравнения.

Программа PowerGraph предоставляет пользователю полную свободу в размещении графиков на экране, так как все графики отображаются на общей ленте записи, но каждый из них имеет собственную независимую шкалу амплитуды. В общем случае графики равномерно распределены по вертикали, как на обычных ленточных самописцах, но программа позволяет свободно перемещать графики, а также использовать режимы совмещения масштабных сеток и нулевых линий. Для каждого графика можно установить индивидуальный масштаб шкалы амплитуды или использовать общие для всех графиков команды выбора и изменения масштаба шкалы.

Программа PowerGraph позволяет ввести для каждого канала контрольные уровни, которые отображаются на дисплее в виде дополнитель-

ных горизонтальных линий, соответствующих указанному значению на шкале амплитуды. Контрольные уровни используются для визуализации возможных или допустимых диапазонов изменения сигналов, а также для определения точек, в которых амплитуда сигналов достигает заданного значения.

Печать графических данных – одна из важнейших функций современных компьютерных программ. Особенностью PowerGraph является печать графических данных в масштабе стандартной миллиметровой бумаги, используемой в обычных ленточных самописцах. При печати используются текущие настройки визуализации, что облегчает процесс изменения параметров печати и позволяет получить на бумаге точную копию экранного изображения.

Дополнительные функции печати включают предварительный просмотр печатных страниц, выбор печати всего файла, отдельного блока или области выделения, печать параметров регистрации и заметок пользователя вместе с графическими данными, экспорт печатных страниц в формате масштабируемых векторных рисунков.

2. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

PowerGraph включает обширную библиотеку функций математической и цифровой обработки сигналов (рис. 2.1).

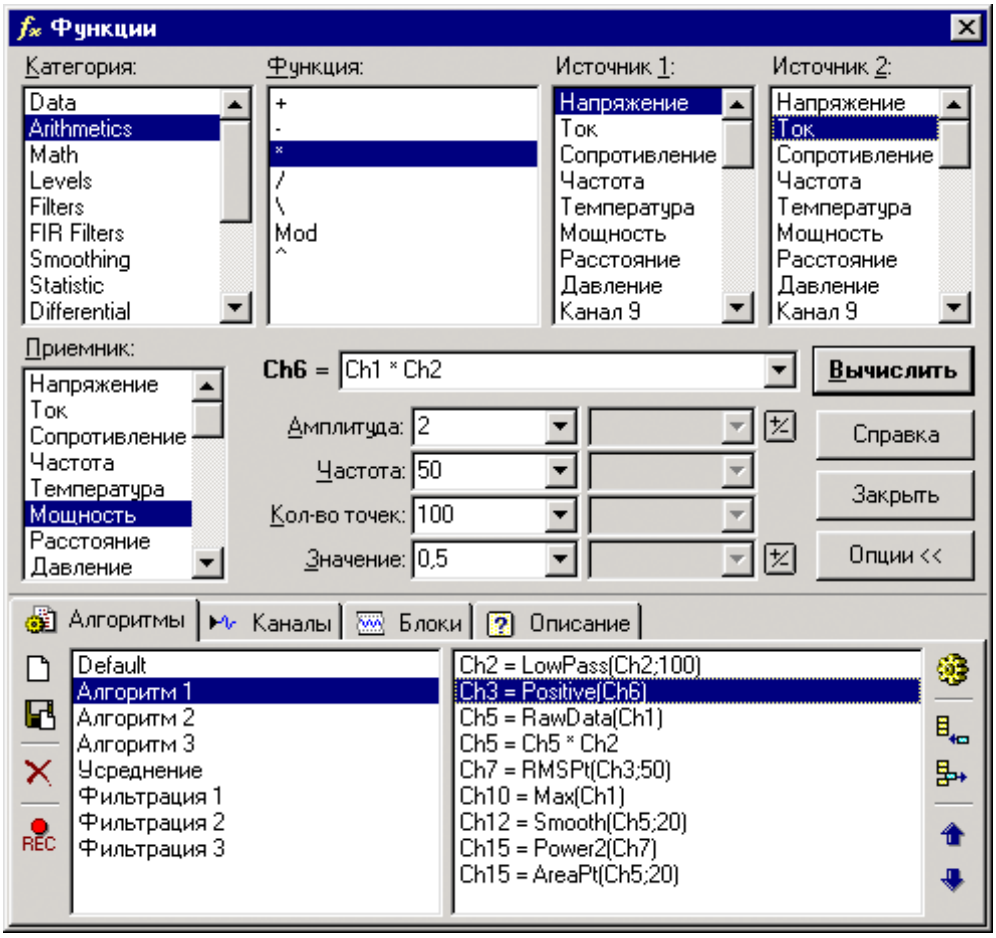


Рисунок 2.1 – Окно выбора математических функций

В состав этой библиотеки входит более 200 функций, объединенных в различные категории:

– копирование, калибровка и нормализация сигналов;

– арифметические и логические операции с каналами;

– сглаживание сигналов с различными весовыми окнами;

– частотная и амплитудная фильтрация;

– дифференцирование и интегрирование;

– обработка циклических сигналов;

– обработка сигналов по формуле полинома;

– построение огибающей амплитудно-модулированного сигнала;

– математические функции (тригонометрические, логарифмические и другие).

Большая часть функций может быть использована непосредственно в процессе регистрации для вычислений в режиме реального времени.

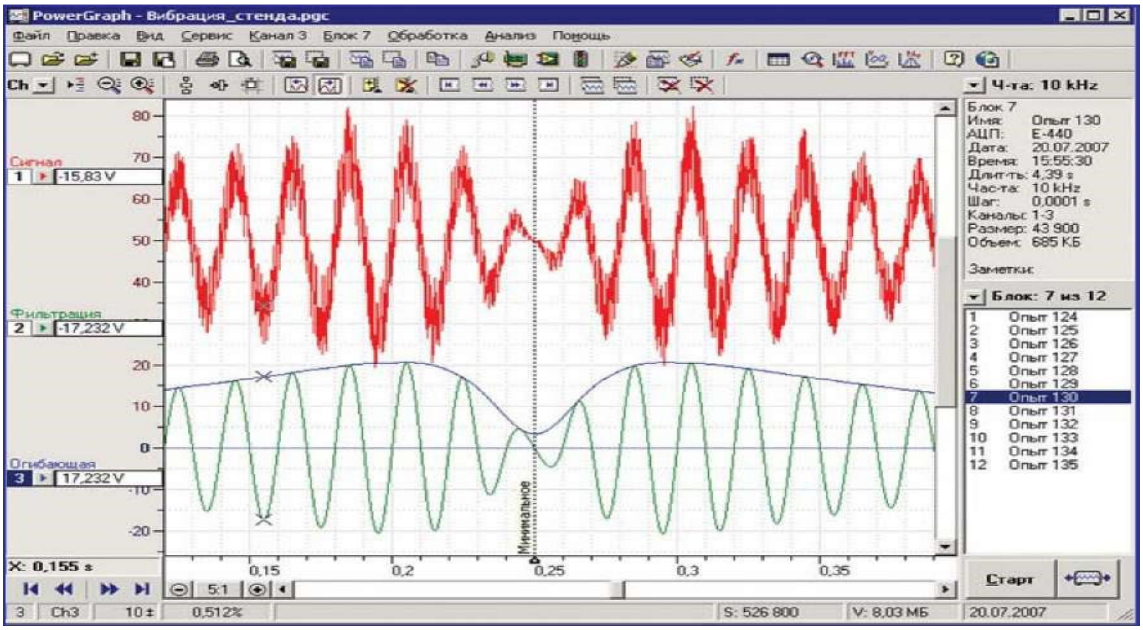


Рисунок 2.2 – Обработка сигналов: частотная фильтрация и построение огибающей амплитудно-модулированного сигнала

Процесс проведения вычислений в программе PowerGraph не представляет сложностей и аналогичен вычислениям по выбираемым математическим зависимостям, используемым в MS Excel.

Для проведения вычислений необходимо выбрать функцию, указать канал(ы) с исходными данными и канал – приемник расчетных данных. Результаты вычислений могут быть скопированы в любой из каналов, что позволяет создавать новые каналы с расчетными данными или заменять

данные в существующих каналах. Программа автоматически запоминает для каждого канала формулу последних вычислений, что ускоряет повторную обработку канала с помощью соответствующих команд меню. Кроме того, программа PowerGraph позволяет создавать протоколы вычислений в виде набора формул для повторного использования сложных алгоритмов обработки.

Обработка сигналов в PowerGraph включает также прореживание (децимацию) данных с различными вариантами формирования результатов: вычисление среднего и медианы, выбор максимального, минимального или одного из значений исходных данных.

2.1. Предварительный анализ данных

Программный пакет PowerGraph предоставляет возможность вычисления статистических, дифференциальных и интегральных характеристик сигналов по всем данным каждого блока и по выделенному участку. Результаты вычислений сохраняются в файл вместе с исходными данными в виде текстовых таблиц значений. Кроме расчетных величин в таблицу значений могут быть добавлены параметры блока и области выделения, значения сигналов в отдельных точках, а также произвольные значения и текст, введенные пользователем.

Основу любого анализа данных составляют математические вычисления с табличным представлением результатов, однако во многих случаях бывает полезным представить результаты вычислений в виде дополнительных построений на графиках исходных сигналов. Программа PowerGraph предоставляет такую возможность с помощью специализированных графических инструментов, которые включают следующие функции (рис. 2.3):

– построение проекций на оси времени и амплитуды в отдельных точках;

– расчет угла наклона и построение касательной в отдельной точке сигнала;

– поиск максимального, минимального и вычисление среднего значения на участке сигнала;

– расчет и построение линейного тренда на участке сигнала;

– построение произвольной прямой и прямой, проходящей через две точки;

– определение точек пересечения касательных и проекций.

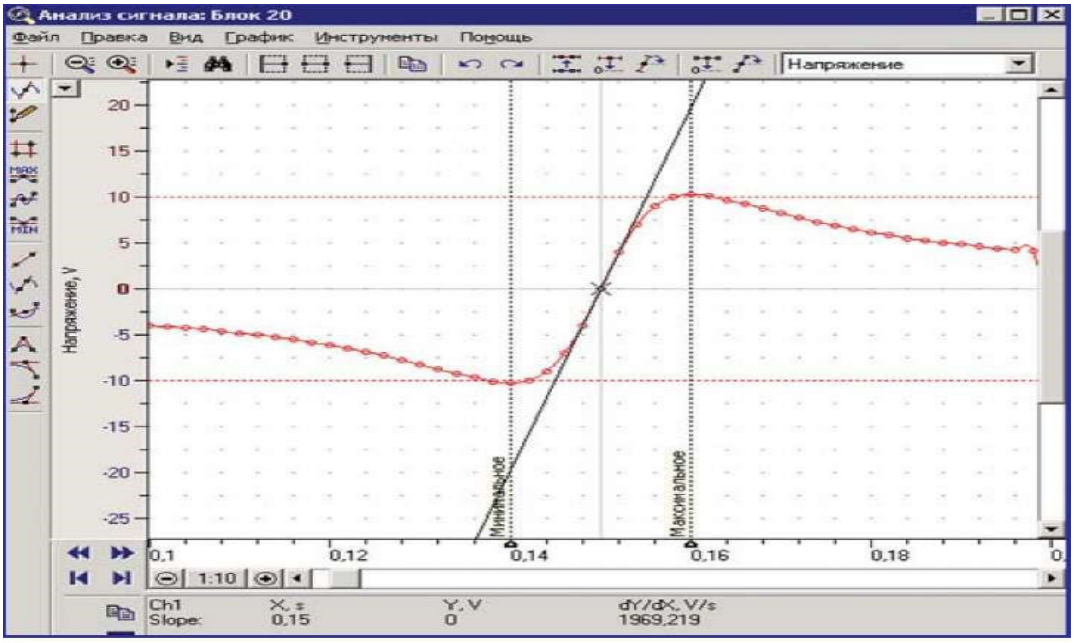


Рисунок 2.3 – Анализ сигналов: вычисление угла наклона и построение касательной

Кроме визуализации результатов вычислений, дополнительные графические инструменты используются для редактирования сигналов: смещение сигнала на величину расчетного значения; поворот сигнала на угол наклона прямой; замена исходных точек сигнала точками, лежащими на прямой (например, для замены зашумленного участка сигнала линией тренда). Функции редактирования включают также изменение значения

любой точки сигнала путем ее перемещения вдоль шкалы амплитуды с помощью мыши.

Программный пакет PowerGraph содержит многофункциональный спектроанализатор, позволяющий осуществлять частотный анализ сигналов, в том числе в процессе регистрации (рис. 2.4). К основным возможностям спектроанализатора относятся: построение различных типов спектральных графиков (спектр амплитуды, спектры мощности и усиления в децибеллах, фазово-частотные спектры, спектры комплексных составляющих), выбор размера спектра и весовой функции, а также усреднение спектров длительных сигналов с различной степенью перекрытия спектральных окон.

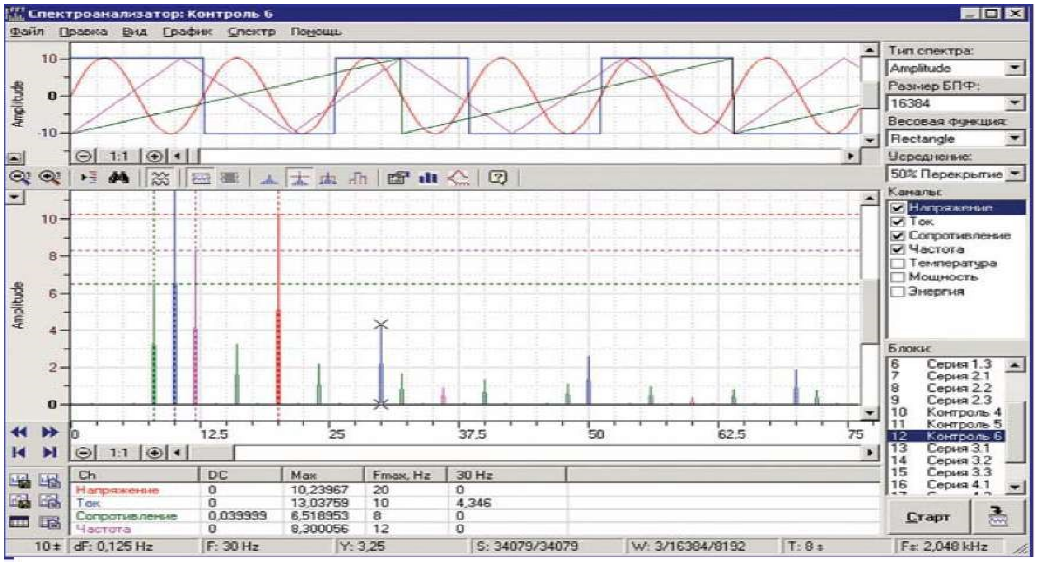


Рисунок 2.4 – Применение инструмента «Анализатор спектра» для построения и регистрации частотных спектров сигналов

Дополнительно анализатор спектра позволяет разделять шкалу частот на отдельные полосы (октавные, третьоктавные, с равномерным шагом, произвольные) и вычислять в этих полосах итоговые статистические значения (максимальное, минимальное, среднее, уровни звукового давления). Результаты спектрального анализа можно экспортировать в тексто-

вом формате в виде таблицы или сохранить в файл вместе с исходными сигналами в виде отдельного блока данных.

При сохранении в отдельный блок данных появляется возможность проведения со спектрами любых математических операций с помощью, описанных выше функций обработки сигналов. Возможности анализа сигналов включают также построение и регистрацию параметрических графиков (зависимость одного сигнала от другого) с помощью многофункционального осциллографа и построение гистограмм распределения амплитуды сигналов (рисунок 2.5).

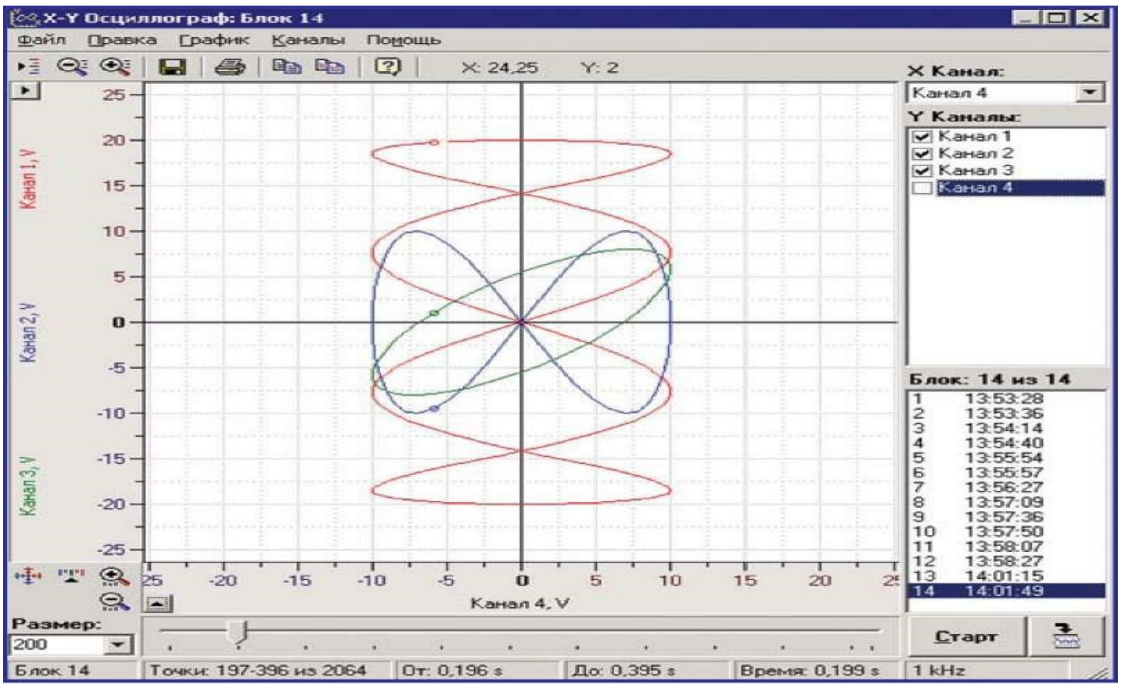


Рисунок 2.5 – «Осциллограф» позволяет строить и регистрировать параметрические графики зависимости одного сигнала от другого

2.2. Импорт и экспорт данных

Программа PowerGraph предоставляет возможность импорта и экспорта данных в текстовом, звуковом и двоичном форматах (рисунок 7) (поддерживаются двоичные форматы, используемые различными производителями оборудования). При экспорте данных возможен выбор произ-

вольного набора каналов, изменение порядка следования каналов (последовательности столбцов в текстовом файле), прореживание данных, а также включение дополнительной информации (параметры записи, заголовки столбцов, заметки и комментарии).

Импорт данных. Программное обеспечение «PowerGraph» позволяет импортировать данные из следующих файловых форматов:

– ADCLab Binary (*.alf) - файлы программы «ADCLab» (ADC Lab).

– WinDaq (*.wdq) - файлыпрограммы «WinDaq» (DATAQ Instruments, Inc.).

– Axon Binary (*.abf) - файлы Axon Binary (Axon Instruments, Inc.).

– Biopac 3.x Files (*.acq) - файлы BSL и AcqKnowledge версий 3.x иниже (BIOPAC Systems, Inc.).

– European Data Format (*.edf)- стандартный файловый формат полиграфических и биомедицинских данных, полученных методами электрокардиографии (ЭКГ), электроэнцефалографии (ЭЭГ), электромиографии (ЭМГ), полисомнографии (ПСГ) и др.

Экспорт данных. Программное обеспечение «PowerGraph» позволяет экспортировать данные в различных файловых форматах:

– текстовый;

– двоичный

– звуковой.

Для экспорта можно использовать следующие наборы данных:

– Все данные файла.

– Данные одного *блока*.

– Данные *выделенного* участка.

– Единичные значение в любой точке оси времени.

Гибкие настройки экспорта позволяют копировать или сохранять данные произвольного набора каналов, осуществлять прореживание дан-

ных при экспорте, а также включать дополнительную информацию (Рис.2.6).

В программе PowerGraph используется эффективный формат файлов, который позволяет хранить большое количество независимых блоков, различные настройки визуализации и регистрации сигналов, формулы вычислений, таблицы расчетных значений, а также текстовые заметки и комментарии пользователя.

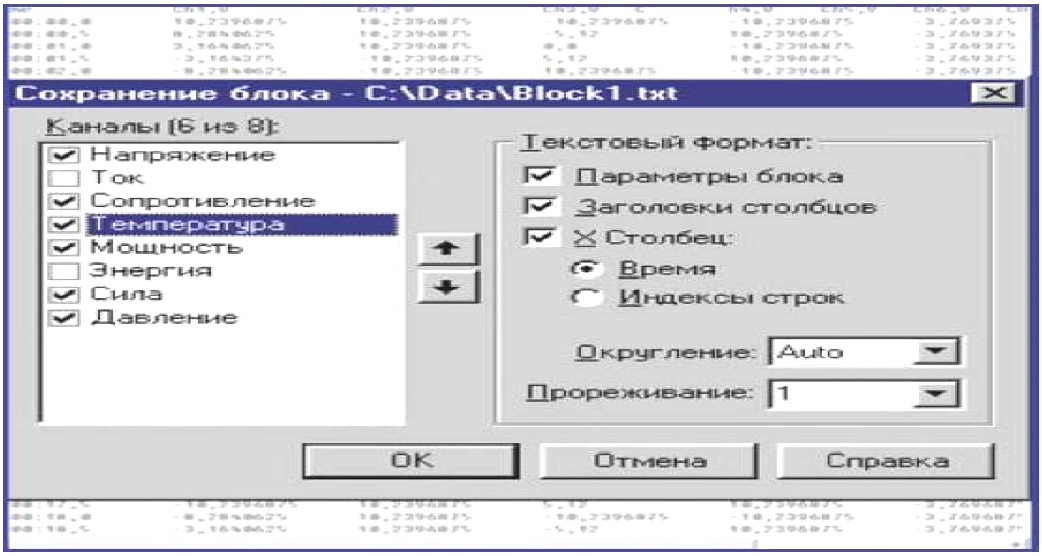


Рисунок 2.6 – Экспорт позволяет копировать, сохранять данные произвольного набора каналов

Для пользователей-программистов, разрабатывающих специализированные программы обработки и анализа сигналов, предоставляется возможность получения данных непосредственно из файлов PowerGraph с помощью библиотеки компонентов. Возможность прямого чтения данных из файлов позволяет отказаться от промежуточного конвертирования данных в громоздкие текстовые или другие типы файлов и обеспечивает независимость от формата файлов в собственных программах.

3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УТИЛИТЫ

Кроме основной программы, в состав пакета PowerGraph входит набор дополнительных утилит, выполняющих специализированные функции:

- использование устройства сбора данных в качестве цифрового вольтметра;
- автоматическая запись серии файлов через заданные интервалы времени;
- быстрый просмотр и поиск файлов, содержащих аналоговые сигналы;
- разделение больших файлов на серию файлов меньшего размера;
- экспорт данных в различные файловые форматы.

3.1. Утилита «File Recorder»

Утилита File Recorder («Регистрация в файл») предназначена для непосредственной регистрации сигналов в файл. Позволяет осуществлять автоматическую запись серии файлов с синхронизацией по времени, счетчику значений и уровню сигналов. Может использоваться для автономного сбора данных, не требующего присутствия оператора.

Основные функциональные возможности утилиты File Recorder:

– Предварительный мониторинг и калибровка входных сигналов.

– Регистрация и визуализация произвольного набора каналов.

– Сохранение данных в файл непосредственно в процессе регистрации.

– Автоматическая запись серии файлов с синхронизацией по времени, счетчику значений и уровню сигналов.

– Автозапуск регистрации данных при включении и перезагрузке компьютера.

Автозапуск программ обработки после завершения записи каждого файла.

Автоматическое управление состоянием цифровых выходов в процессе регистрации.

3.2. Утилита «File Viewer»

Утилита File Viewer ("Просмотр в файлов") предназначена для быстрого просмотра и поиска файлов, содержащих аналоговые сигналы. Позволяет одновременно визуализировать данные в режимах осциллограммы и спектрограммы, экспортировать данные в текстовом, звуковом и двоичном форматах, а также разделять длинные файлы на серию файлов меньшего размера с заданным шагом.

Более полную информацию о всех функциях и возможностях программного пакета PowerGraph приведены в [7], где доступны подробные справочные материалы, список поддерживаемого оборудования, а также демонстрационная версия, позволяющая протестировать возможность применения PowerGraph для различных задач регистрации, обработки и анализа сигналов.

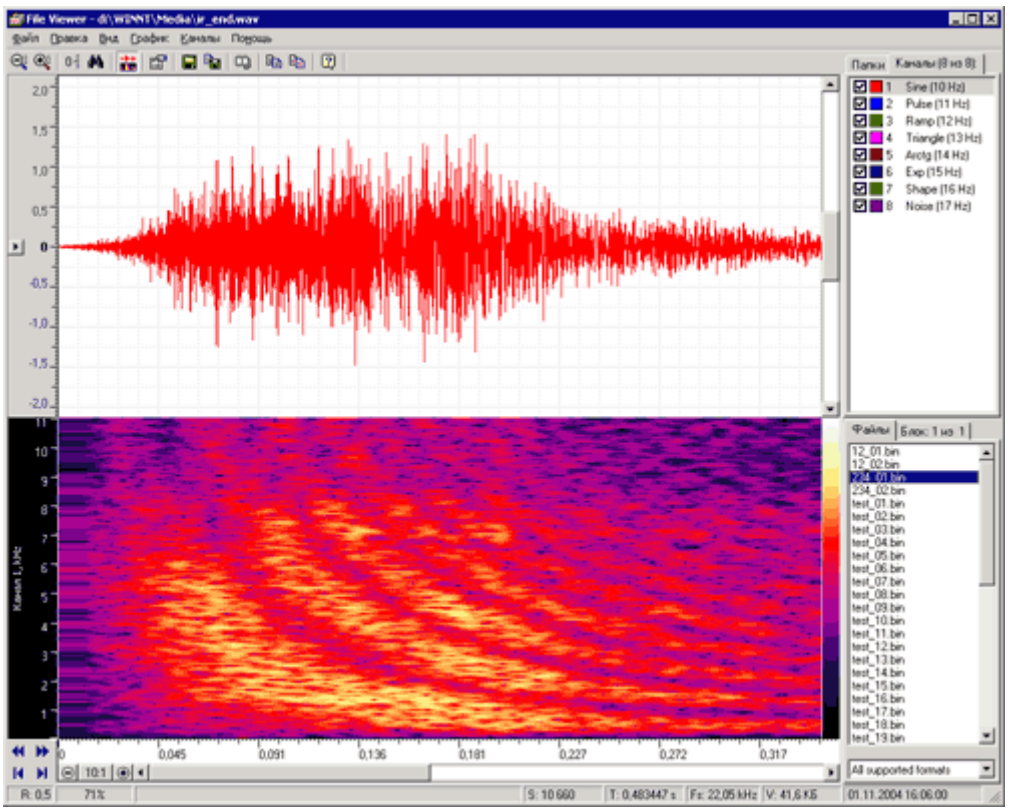


Рисунок 3.1 – Рабочее окно утилиты File Viewer

4. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Спектральный анализ высокочастотных спектров различных процессов позволяет выявить их внутренние закономерности, характеризующиеся особенностями конфигурации спектров колебаний. Математической основой, связывающей временной сигнал с его представлением в частотной области, является преобразование Фурье.

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) обычно основана на преобразовании Фурье, теория которого подробно рассмотрена в математической литературе. Рассмотрим подробнее прикладные возможности программного пакета «PowerGraph 3.3» в проведении следующих вариантов спектрального анализа:

-построение различных типов спектров;

- выбор размера и способа усреднение спектров;

- выбор весовой функции; д

- калибровка спектров;

- статистические расчеты в частотных полосах;

- экспорт результатов спектрального анализа.

Для проведения спектрального анализа сигналов используется дополнительное окно *Спектроанализатор*, которое вызывается соответствующей командой в меню *Анализ*.

Окно спектроанализатора содержит два графических дисплея:

- осциллографический для отображения временного представления сигналов;

- спектральный для отображения частотного представления сигналов.

Осциллографический и спектральный дисплеи могут одновременно отображать графики любого количества каналов одного блока данных. Анализируемые каналы выбираются в списке Каналы с помощью пере-

ключателей, а блок данных указывается в списке Блоки. Все вычисления и графические построения осуществляются автоматически при выборе каналов или блока, а также при изменении любых параметров спектрального анализа.

Осциллографический дисплей позволяет выделять произвольный временной участок сигналов для ограничения размера анализируемых данных. Выделение временного участка осуществляется стандартной операцией перемещения курсора над дисплеем при нажатой левой кнопке мыши. Удерживая клавишу 8H1ET и используя клавиши навигации, область выделения можно перемещать вдоль шкалы времени. Для переключения между анализом данных для всего блока или для области выделения применяются команды меню *Спектр*:

Весь блок - анализ всех данных блока;

Выделенная область - анализ выделенной области данных.

Кроме построения спектров записанных данных, пакет позволяет проводить спектральный анализ сигналов в режиме реального времени.

Кнопка **Старт/Стоп**, расположенная под списком блоков, запускает и останавливает регистрацию сигналов с одновременным построением их спектров. Спектральный анализ входных сигналов может сопровождаться записью данных в новый блок, либо осуществляться в режиме длительного мониторинга без сохранения данных.

В таблице под спектральным дисплеем отображаются характерные расчетные значения анализируемых каналов:

DC - постоянная составляющая,

Max - максимальное значение спектра,

Fmax - частота максимального значения спектра, а также частота и значение спектра в произвольной точке под курсором.

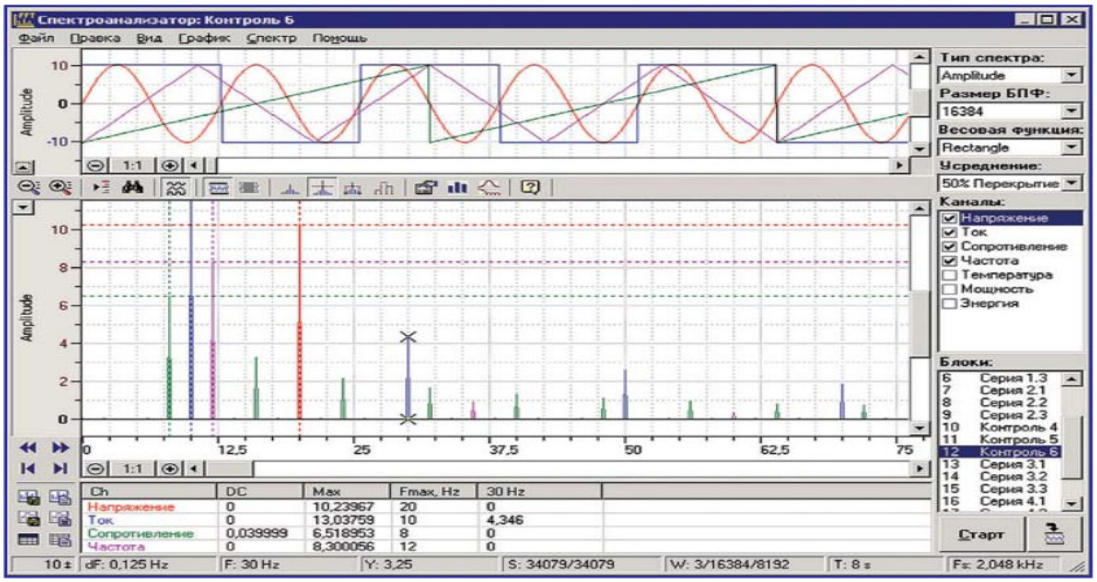


Рисунок 4.1 – Окно спектроанализатора

Содержимое этой таблицы можно скопировать в буфер обмена, либо добавить в таблицу значений блока.

В правой верхней части окна спектроанализатора (рис. 4.1) располагаются 4 раскрывающихся списка, позволяющие выбрать основные параметры спектрального анализа: тип спектра, размер БПФ, весовую функцию и усреднение спектральных окон.

Утилита «Спектрограмма»

Утилита «Спектрограмма» позволяет определить изменения частотных составляющих на различных участках записи сигналов экспериментального процесса.

Программное обеспечение «PowerGraph» содержит встроенный многофункциональный спектроанализатор, позволяющий проводить спектральный анализ записанных данных, а также регистрацию спектров сиг-

налов "on-line" (построение спектров сигналов в процессе их записи с АЦП).

Спекроанализатор позволяет строить следующие типы графиков:

– амплитудно-частотный спектр;
– спектр мощности;
– спектр усиления (в dB);
– спектры комплексных составляющих (реальной и мнимой);
– фазово-частотные спектры.

Спекроанализатор также содержит большое количество дополнительных функций и настроек:

– регистрация спектров в режиме реального времени;
– выбор размера спектра (до 2^{20}) и типа оконной (весовой) функции;
– усреднение спектров по времени с выбором степени перекрытия спектральных окон;
– дополнительные функции обработки спектров (умножение и деление спектров на dF и F);
– калибровка спектров;
– расчеты статистических значений (максимальное, среднее, минимальное, уровни давления) в частотных полосах (различные варианты выбора полос: музыкальные октавы, с равномерным шагом, произвольные);
– сохранение результатов спектрального анализа в качестве отдельного блока данных.

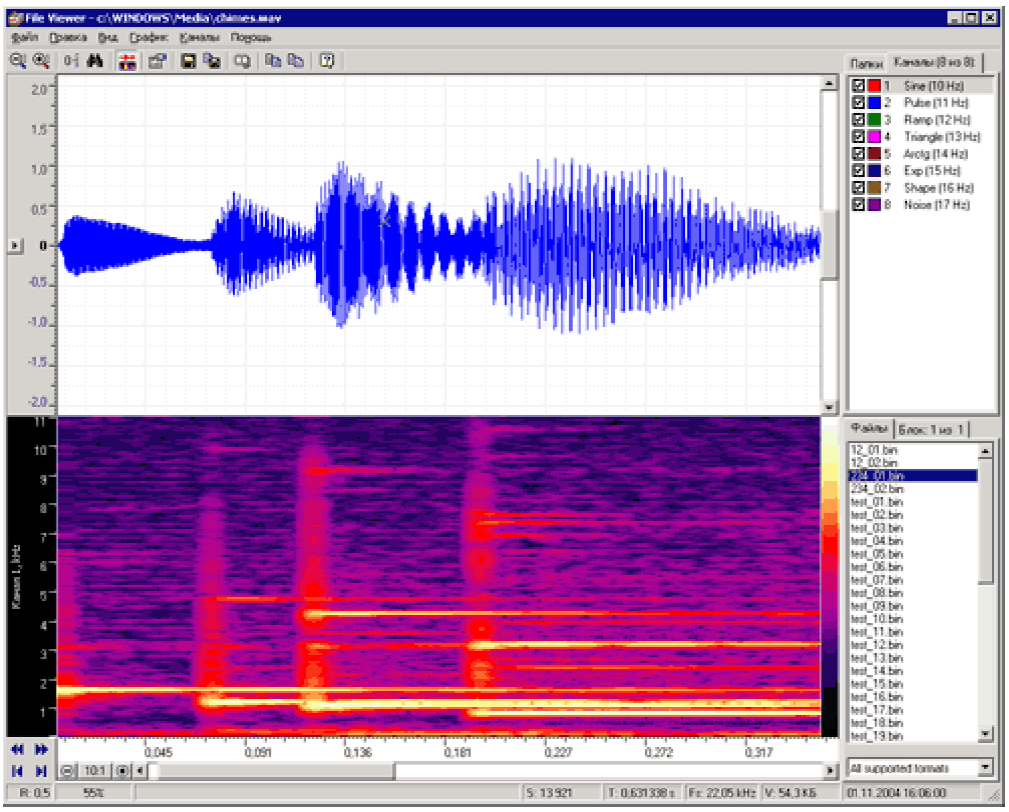


Рисунок 4.2 – Окно утилиты «Спектрограмма» для определения частотных составляющих спектра экспериментального сигнала

Для того, чтобы выделить произвольный временной участок сигналов для ограничения размера анализируемых данных, достаточно переместить курсор над дисплеем при нажатой левой кнопке мыши. Удерживая клавишу SHIFT и используя клавиши навигации, область выделения можно перемещать вдоль шкалы времени. Для переключения между анализом данных для всего блока или для области выделения применяются команды меню *Спектр*: *Весь блок* - анализ всех данных блока, кнопка ; *Выделенная область* - анализ выделенной области данных, кнопка

Для анализа сигналов в режиме реального времени используют кнопку *Старт/Стоп*, расположенную под списком блоков, которая запускает и останавливает регистрацию сигналов с одновременным построением их спектров. Спектральный анализ входных сигналов может сопровождаться записью данных в новый блок, либо осуществляться в режиме длительного мониторинга без сохранения данных.

В таблице под спектральным дисплеем отображаются характерные расчетные значения анализируемых каналов: *DC*- постоянная составляющая, *Max* – максимальное значение спектра, *Fmax*- частота максимального значения спектра, а также частота и значение спектра в произвольной точке под курсором. Содержимое этой таблицы можно скопировать в буфер обмена, либо добавить в таблицу значений блока. В правой верхней части окна спектроанализатора располагаются 4 раскрывающихся списка, позволяющие выбрать основные параметры спектрального анализа: тип спектра, размер БПФ, весовую функцию и усреднение спектральных окон.

Преобразование Фурье, лежащее в основе спектрального анализа, является математическим алгоритмом, результаты которого представлены в виде комплексных составляющих - реальной (Re) и мнимой (Im). Однако практический интерес представляют не сами комплексные составляющие, а их дальнейшая обработка. Преобразование Фурье описывает исходный сигнал набором синусоид с заданными частотами и поэтому позволяет получить две основные группы спектров, соответствующие параметрам синусоидального сигнала - амплитуде и фазе. Вычисление модулей комплексных составляющих дает амплитудночастотные спектры, а вычисление отношений комплексных составляющих - фазово-частотные спектры.

В PowerGraph доступны следующие типы спектров:

Amplitude - спектр амплитуды.

Power - спектр мощности.

Log of Power, dB - логарифм спектра мощности в децибелах.

Attenuation, dB - спектр усиления в децибелах.

Abs Re - абсолютное значение реальной составляющей.

Abs Im - абсолютное значение мнимой составляющей.

Re - реальная составляющая.

Im - мнимая составляющая.

Phase ±1, P_i – фазово-частотный спектр в диапазоне от -□ до + □.

Phase, P_i- фазово-частотный спектр без разрывов.

Последние два типа являются фазово-частотными спектрами, а остальные – амплитудно-частотными.

Используемое в цифровой технике преобразование Фурье является дискретным, т.е. работающим с конечным количеством значений, поэтому для проведения вычислений необходимо указать размер анализируемых данных - число точек *N*. Эта величина непосредственно влияет на производительность вычислений и на характеристики получаемых спектров. Размер спектра равен половине размера обрабатываемых данных, т.е. число точек спектра равно *N/2*, а частотное разрешение спектра *dF* вычисляется по формуле:

$$dF = Fs / N,$$

где *Fs*- частота регистрации данных.

Максимальное значение частоты спектра всегда равно частоте Найквиста, т.е. половине частоты регистрации данных - *Fs*/2, а первое значение спектра всегда соответствует постоянной составляющей - *DC* (0 Гц). Между этими крайними значениями находятся (*N*/2)-1 значений спектра с частотным шагом *dF*. Для повышения производительности спектрального анализа в цифровых системах используется алгоритм *Быстрого Преобразования Фурье* (БПФ), суть которого заключается в существенном уменьшении количества вычислений, если размер обрабатываемых данных *N* ра-

вен в целой степени числа 2, т.е. число обрабатываемых точек равно $2n$, где n - целое число. В PowerGraph используется именно этот производительный алгоритм, поэтому размер спектров выбирается в диапазоне от 128 (n=7) до 1 048 576 (n=20).

Размер БПФ определяет временную длительность T анализируемого участка сигнала:

$$T = N / Fs.$$

При анализе сигналов разной длительности необходимо подбирать соответствующий размер БПФ, но такой подход не всегда применим, особенно при спектральном анализе больших объемов данных. В таких случаях используется оконное преобразование, при котором весь сигнал разбивается на последовательные участки (окна) одинакового размера N.

Для каждого такого участка осуществляется независимое преобразование Фурье, а затем вычисляется результирующий спектр как среднее спектров всех участков. Преимуществом оконного преобразования является возможность получения идентичных спектров для сигналов любой длительности, а также применение спектрального анализа в режиме реального времени, когда полный размер данных неизвестен до момента остановки регистрации.

Усреднение спектров является эффективным способом улучшения качества спектрального анализа, прежде всего за счет устранения случайных ошибок. Качеством спектрального анализа можно управлять, выбирая различную степень перекрытия спектральных окон. При перекрытии два соседних спектральных окна «накладываются» друг на друга и имеют общий участок сигнала. В результате увеличивается общее количество спектральных окон, т.е. увеличивается количество усреднений. В PowerGraph доступны следующие режимы усреднения спектральных окон:

Без усреднения - анализируется только начальный участок сигнала, соответствующий размеру БПФ;

Без перекрытия - усреднение не перекрывающихся спектральных окон;

Перекрытие 25%, 50% и 75% - усреднение с соответствующей степенью перекрытия спектральных окон;

Автоматическое перекрытие - усреднение с автоматическим выбором степени перекрытия спектральных окон.

Следует иметь в виду, что усреднение спектральных окон применимо только к амплитудно-частотным спектрам и неприменимо к фазово-частотным спектрам.

Преобразование Фурье дает спектральные составляющие для фиксированного набора частот с шагом dF, однако реальная частота сигнала может не совпадать ни с одной из этих частот. В этом случае наблюдается эффект расширения (англ. leakage -"растекание") спектра, который заключается в том, что на спектре появляются ложные гармоники реальной частоты сигнала. Для снижения эффекта расширения спектра применяют взвешивание, т.е. умножение значений временного сигнала на весовые коэффициенты. Определенный набор весовых коэффициентов называется весовой или оконной функцией, которая увеличивает вклад значений, находящихся в центре спектрального окна, и снижают вклад значений, находящихся на краях спектрального окна. В PowerGraph доступны более 25 весовых функций с возможностью визуализации и сравнения их графиков.

Команда *Весовая функция* в меню *Спектр* вызывает диалоговое окно, содержащее временные и частотные графики весовых функций (рис.4.3).

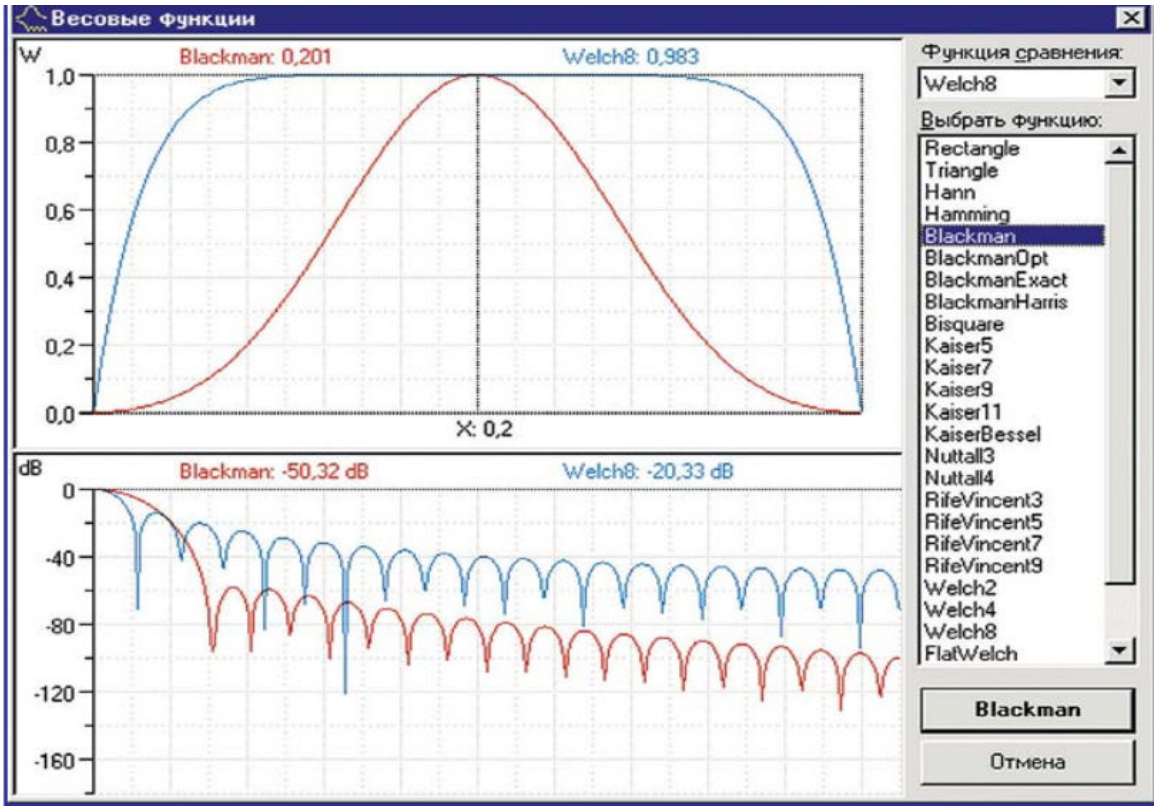


Рисунок 4.3 – Окно команды *Весовая функция*

К дополнительным параметрам относится команда *Параметры спектра...* в меню *Спектр* вызывает диалоговое окно с дополнительными параметрами спектрального анализа, включающими возможность проведения дополнительных вычислений:

- умножение и деление значений спектра на частотный шаг спектра *dF*;
- деление значений спектра на соответствующее значение частоты *F(i)* и квадрата частоты $F(i)^2$;
- умножение значений спектра на произвольный коэффициент - калибровка спектров.

В дополнительных параметрах спектрального анализа указывается контрольный уровень для нормализации спектра *Attenuation*, относительного которого вычисляется усиление в децибелах (рис.4.4). Обычно в качестве контрольного уровня нормализации используется максимальное зна-

чение спектра (Max), но PowerGraph также позволяет указать любое другое значение амплитуды. При многократном усреднении спектров в режиме реального времени результирующий спектр постепенно становится «нечувствительным» к последним изменениям входного сигнала. Для устранения этого эффекта в дополнительных параметрах спектрального анализа можно указать фиксированное количество усредняемых спектров.

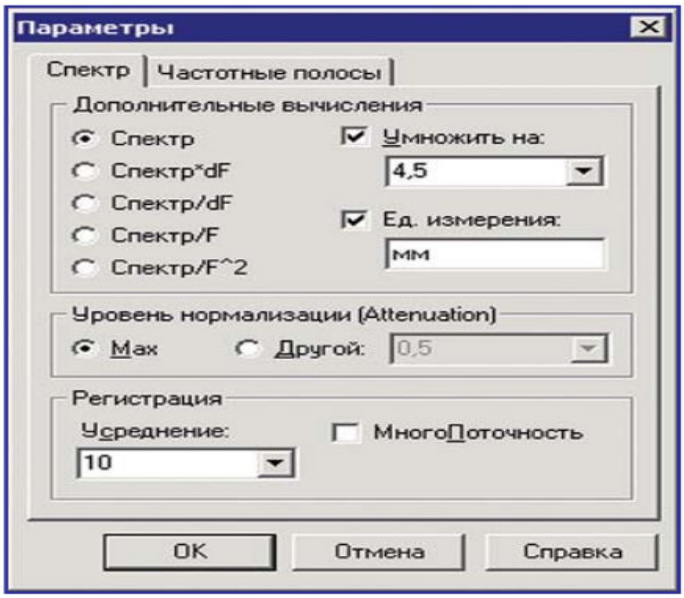


Рисунок 4.4 – Окно дополнительных параметров спектрального анализа

Кроме построения спектров, PowerGraph позволяет проводить статистические расчеты в заданных частотных полосах, вызываемых кнопкой . Для выбора частотных полос и расчетного статистического значения используется диалоговое окно, которое вызывается командой Частотные полосы... в меню Спектр.

Программа предлагает следующие варианты выбора границ частотных полос:

- *Октавы* - границы музыкальных октав;
- *1/3 Октавы* – третьоктавные границы;

- *Шаг* - границы с равномерным шагом по частоте (например, 100, 200, 300, 400, ... Гц);
- *Гармоники*- границы с равномерным шагом и смещением (например, 50, 150, 250, 350, ... Гц);
- *Другие* – произвольные границы частотных полос, указанные пользователем.

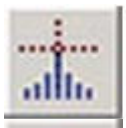
В качестве расчетного значения могут быть использованы следующие статистические величины:

- Maximum - максимальное значение;
- Minimum - минимальное значение;
- Mean - среднее арифметическое значение;
- 10Lg (Mean) - значение среднего уровня звукового давления;
- 10Lg (Sum) - значение суммарного уровня звукового давления.

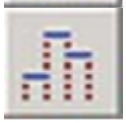
Результаты расчетов в частотных полосах могут быть представлены на спектральном дисплее в виде индивидуальных графических уровней. Спектральный дисплей имеет несколько режимов визуализации спектров и частотных полос, которые переключаются командами меню ***Спектр***:

Спектр - отображаются только спектры;

Спектр и Максимум- отображаются только спектры и маркеры максимальных значений;



Спектр и Полосы- отображаются спектры и расчетные уровни частотных полос;



Полосы- отображаются только расчетные уровни частотных полос.

Результаты спектрального анализа можно экспортироваться в текстовом формате для составления отчетов или использования в других программах. PowerGraph позволяет сохранять в файл и копировать в буфер

обмена как сами спектры, так и результаты расчетов в частотных полосах. Для экспорта спектров используются следующие команды:

Сохранить спектр. . в меню Файл – сохранить спектры в текстовый файл;

Копировать спектр в меню Правка - копировать спектры в буфер обмена.

Спектры экспортируются в виде таблицы, состоящей из столбцов значений, разделенных символом табуляции. Первый столбец содержит значения частоты в Герцах (Hz), а последующие столбцы содержат значения спектров всех анализируемых каналов. Для экспорта статистических значений частотных полос используются следующие команды:

Сохранить полосы.. . в меню Файл - сохранить значения частотных полос в текстовый файл;

Копировать полосы в меню *Правка* - копировать значения частотных полос в буфер обмена.

Результаты расчетов в частотных полосах также экспортируются в виде текстовой таблицы значений. В трех первых столбцах содержатся значения начальной, конечной и центральной частот каждой полосы, а последующие столбцы содержат значения анализируемых каналов.

Команда *Конвертировать спектрвБлок* в меню **Файл** конвертирует результаты спектрального анализа в отдельный блок данных, в котором шкала X содержит значения частоты.

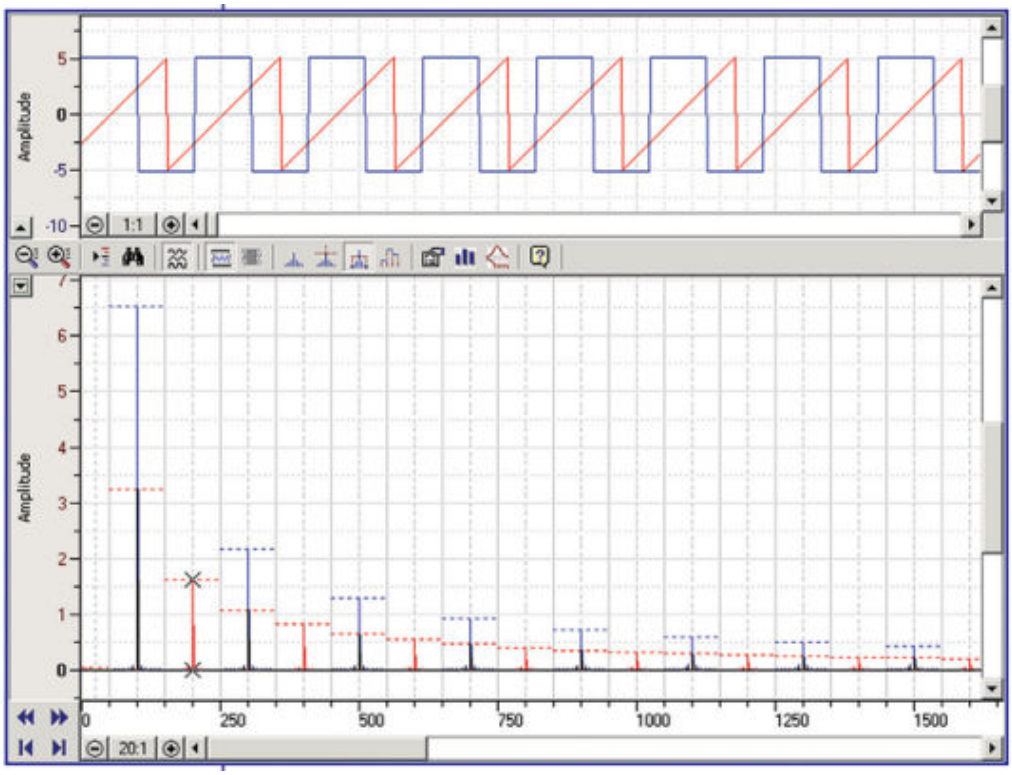


Рисунок 4.5 – Различные графики спектрального анализа

Таким образом, файлы PowerGraph могут одновременно содержать как амплитудно-временное, так и амплитудно-частотное представление сигналов. Конвертирование спектров в блоки данных позволяет проводить дальнейшую математическую обработку результатов спектрального анализа с помощью многочисленных функций обработки сигналов, например, осуществлять арифметические действия над спектрами сигналов. При конвертировании спектров в блоки данных также становятся доступными расширенные возможности экспорта результатов спектрального анализа, включающие выбор каналов, прореживание данных, экспорт выделенного участка и использование других файловых форматов.

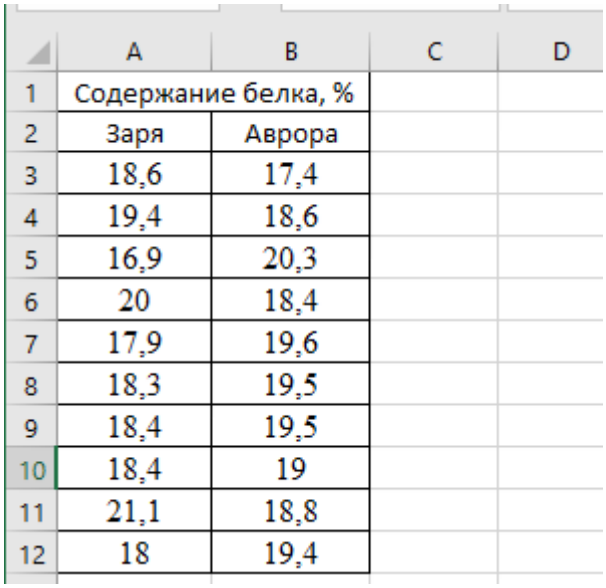
5. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАДСТРОЙКИ «АНАЛИЗ ДАННЫХ» MSEXCEL

5.1. Оценка изменчивости количественных признаков для независимых выборок

Пример 1. Сравнить по качеству содержания белка два сорта озимой пшеницы. Содержание белка (%) для сорта «Заря» и «Аврора» даны в таблице.

«Заря»	18,6	19,4	16,9	20	17,9	18,3	18,4	18,4	21,1	18
«Аврора»	17,4	18,6	20,3	18,4	19,6	19,5	19,5	19	18,8	19,4

Проведем анализ в программе Excel с помощью Двухвыборочного t-теста с одинаковыми дисперсиями



	A	B	C	D
1	Содержание белка, %			
2	Заря	Аврора		
3	18,6	17,4		
4	19,4	18,6		
5	16,9	20,3		
6	20	18,4		
7	17,9	19,6		
8	18,3	19,5		
9	18,4	19,5		
10	18,4	19		
11	21,1	18,8		
12	18	19,4		

Рисунок 5.1 – Лист с исходными данными

Введем исходные данные как показано на рис. 5.1. В меню **Данные,** подменю **Анализ данных** выбрать инструмент анализа **Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями** (рис.5.2)

В окне **Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями** в поле **Интервал переменной 1:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **A2:A12** и нажать **Ввод**, в поле

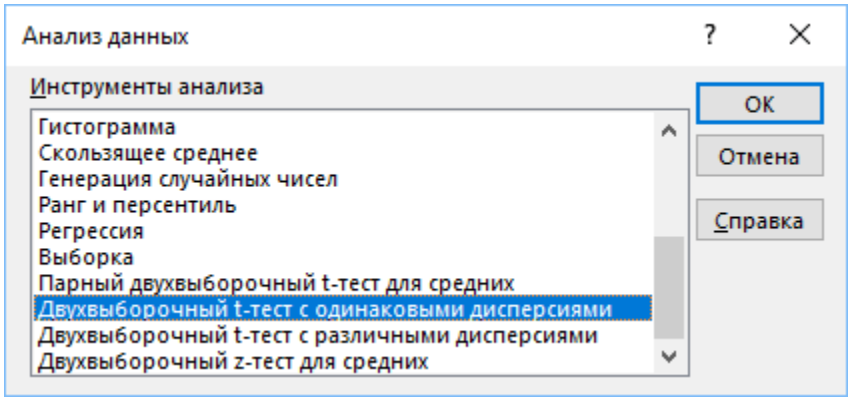


Рисунок 5.2 - Подменю Анализ данных

Интервал переменной 2: ввести с помощью мышки диапазон ячеек **B2:B12** и нажать **Ввод.** В поле **Гипотетическая разность** указать **0,** поставить галочку в поле **Метки.** В поле **Альфа** указать **0.05,** выбрать место размещения в выходном интервале. После заполнения всех полей нажимаем **ОК**.

C17

	A	B	C	D	E	F
1	Содержание белка, %		Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями			
2	Заря	Аврора				
3	18,6	17,4		*Заря*	*Аврора*	
4	19,4	18,6	Среднее	18,7	19,05	
5	16,9	20,3	Дисперсия	1,406667	0,645	
6	20	18,4	Наблюдения	10	10	
7	17,9	19,6	Объединенная дисперсия	1,025833		
8	18,3	19,5	Гипотетическая разность средних	0		
9	18,4	19,5	df	18		
10	18,4	19	t-статистика	-0,77271		
11	21,1	18,8	P(T<=t) одностороннее	0,224862		
12	18	19,4	t критическое одностороннее	1,734064		
13			P(T<=t) двухстороннее	0,449724		
14			t критическое двухстороннее	2,100922		
15						

Рисунок 5.3 - Итоговая таблица двухвыборочного t-теста

После нажатия на клавишу **ОК** получаем итоговую таблицу (рис. 5.3), в которой самыми важными показателями являются фактическое (t-статистика) и табличное (критическое) значения критерия Стьюдента. Так как фактическое значение критерия Стьюдента (t-статистика = 3,48) в нашем примере больше табличного (t-критическое двухстороннее = 2,10 при

числе степеней свободы df=10+10-2=18, H_0 отвергается. С 95% вероятностью между сортами по содержанию белка имеются существенные различия.

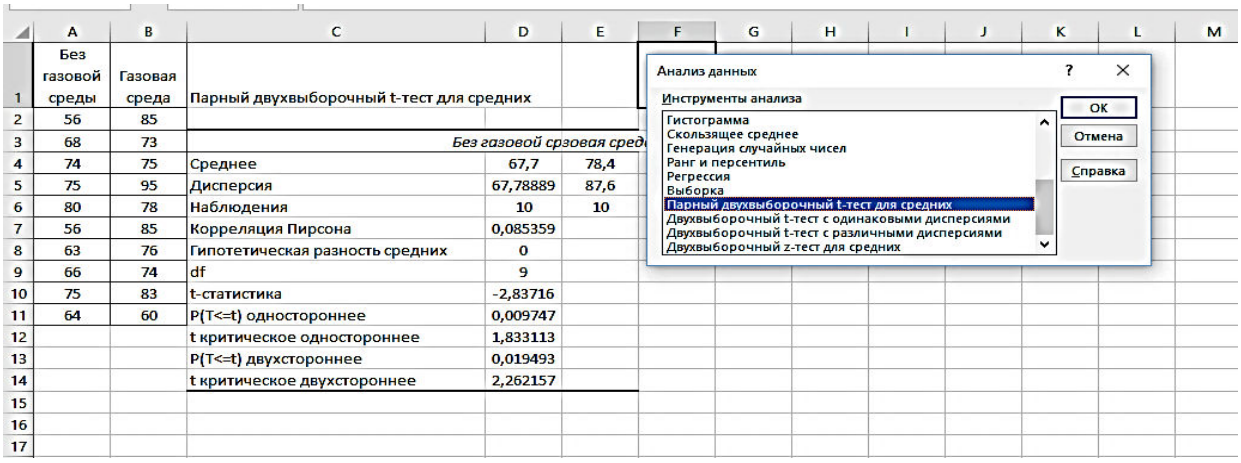
5.2. Оценка средней разности при количественной изменчивости признаков для зависимых выборок. Парный двухвыборочный t-тест для средних

Пример 2. При изучении 2-х способов хранения яблок в полиэтиленовых пакетах в одних и тех же холодильных камерах процент сохранившихся плодов составил (%, n = 10)

Без газовой среды	56	68	74	75	80	56	63	66	75	64
Газовая среда	85	73	75	95	78	85	76	74	83	60

Проверим гипотезу H_0 : не существенное влияние газа на сохранность яблок.

В меню **Данные,** подменю **Анализ данных** выбрать инструмент анализа **Парный двухвыборочный t- тест для средних.**



	A	B	C	D	E
1	Без газовой среды	Газовая среда	Парный двухвыборочный t-тест для средних		
2	56	85			
3	68	73		Без газовой	срзовая сред
4	74	75	Среднее	67,7	78,4
5	75	95	Дисперсия	67,78889	87,6
6	80	78	Наблюдения	10	10
7	56	85	Корреляция Пирсона	0,085359	
8	63	76	Гипотетическая разность средних	0	
9	66	74	df	9	
10	75	83	t-статистика	-2,83716	
11	64	60	P(T<=t) одностороннее	0,009747	
12			t критическое одностороннее	1,833113	
13			P(T<=t) двухстороннее	0,019493	
14			t критическое двухстороннее	2,262157	

Рисунок 5.4 - Исходные данные, подменю Анализ данных и итоговая таблица

В появившемся окне **Парный двухвыборочный t-тест для средних** в поле **Интервал переменной 1:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **A1:A11** и нажать **Ввод**, в поле **Интервал переменной 2:** ввести с помощью мышки диапазон ячеек **B1:B11** и нажать **Ввод.** В поле **Гипотетическая разность** указать **0,** поставить галочку в поле **Метки.** В поле **Альфа** указать **0.05,** выбрать место размещения в выходном интервале. После заполнения всех полей нажимаем **ОК.** Получаем итоговую таблицу (рис. 5.4). Так как фактическое значение критерия Стьюдента по модулю (t-статистика = 2,84) в нашем примере больше табличного (t-критическое двухстороннее = 2,26 при числе степеней свободы df=10-1=9), гипотеза H_0 отвергается.

Принимаем гипотезу H_1 с 95% вероятностью можно утверждать, что сохранность плодов в пакетах с газовой средой существенна выше.

5.3. Дисперсионный анализ данных однофакторного вегетационного и полевого опытов с полной рандомизацией вариантов

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОЗВОЛЯЕТ:

1. Выявить степень влияния случайных ошибок.

2. Определить точность опыта (чем больше повторностей, тем точнее опыт).

3. Определить наименьшую существенную разность между средними значениями, которая в опыте признается существенной по сравнению с 5% уровнем значимости, когда риск сделать ошибку составляет 5 % (НСР 5%).

4. Определить критерий Фишера (F фактический).

5. Оценить влияние факторов и их взаимодействие.

Пример 3. Определить влияние азотных удобрений на урожайность овса, г/сосуд.

№	Варианты опытов	Повторность			
		1	2	3	4
1	Без удобрения (st)	15,8	15,5	16,1	15,0
2	Аммиачная селитра	29,3	30,4	28,1	31,6
3	Сульфат аммония	25,8	26,8	25,9	24,7
4	Мочевина	25,7	24,0	23,8	25,7

Из меню **Пакет анализа** выберем подменю **Однофакторный дисперсионный анализ** (Рис.5.5).

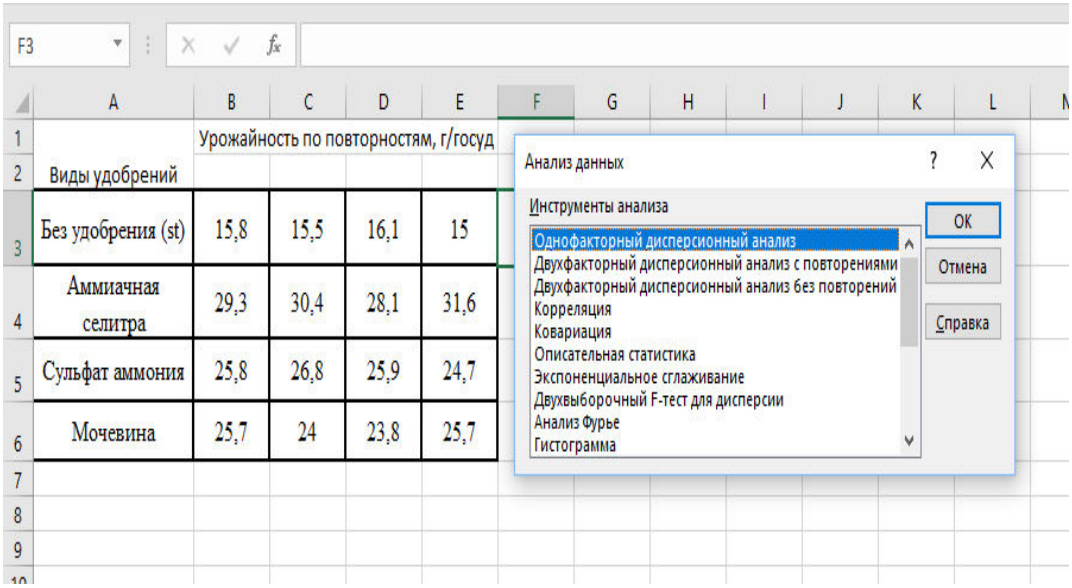
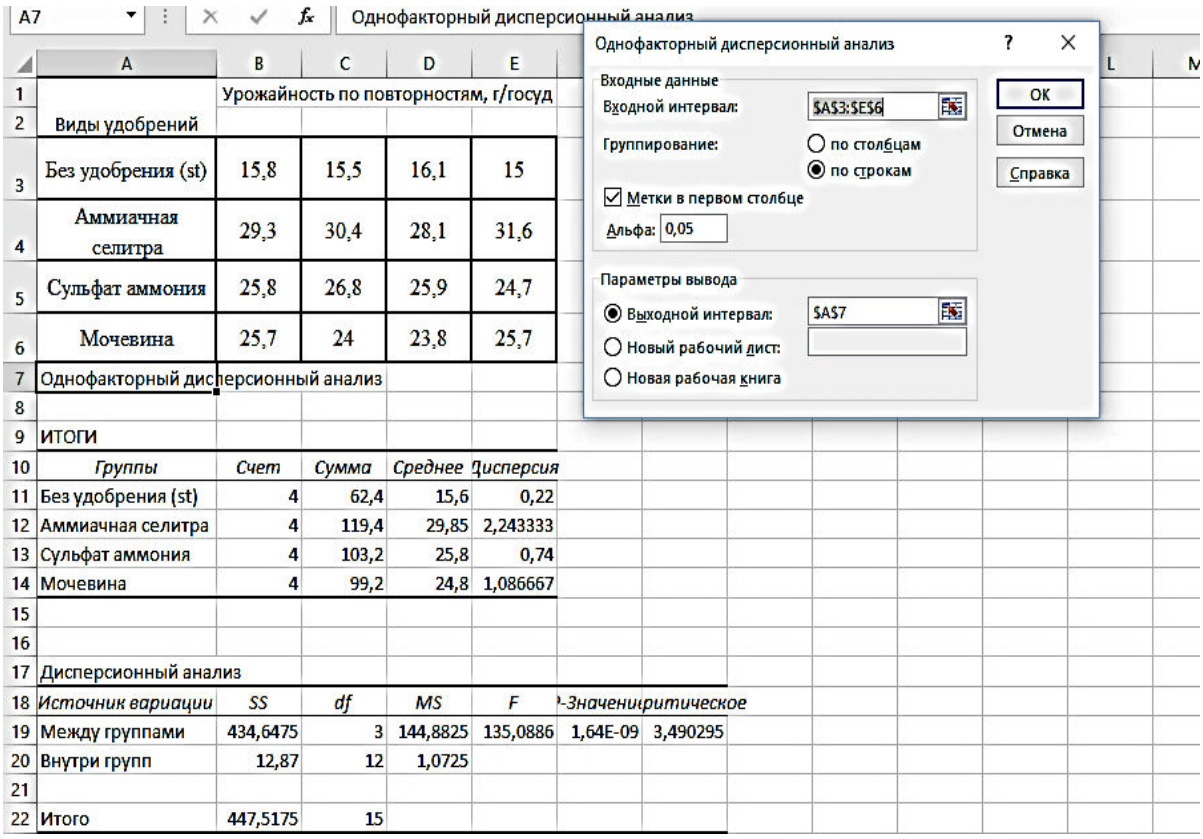


Рисунок 5.5 - Диалоговое окно Однофакторный дисперсионный анализ

В появившемся окне укажем входной интервал A3:E6. Входной интервал должен включать только диапазон, состоящий из перечня вариантов и цифровых данных по этим вариантам (рис.5.6). Группирование по строкам. Укажем метки в первом столбце. Это необходимо для того, чтобы в выходных таблицах автоматически печатались наименования вариантов. Альфа – выбор уровня значимости 0,05 или 0,01. Выбираем выходной интервал для размещения результатов дисперсионного анализа: на данном листе или новом листе и нажимаем ОК (рис. 5.6)



	A	B	C	D	E
1		Урожайность по повторностям, г/госуд			
2	Виды удобрений				
3	Без удобрения (st)	15,8	15,5	16,1	15
4	Аммиачная селитра	29,3	30,4	28,1	31,6
5	Сульфат аммония	25,8	26,8	25,9	24,7
6	Мочевина	25,7	24	23,8	25,7
7	Однофакторный дисперсионный анализ				
8					
9	ИТОГИ				
10	*Группы*	*Счет*	*Сумма*	*Среднее*	*Дисперсия*
11	Без удобрения (st)	4	62,4	15,6	0,22
12	Аммиачная селитра	4	119,4	29,85	2,243333
13	Сульфат аммония	4	103,2	25,8	0,74
14	Мочевина	4	99,2	24,8	1,086667
15					
16					
17	Дисперсионный анализ				
18	*Источник вариации*	*SS*	*df*	*MS*	*F*
19	Между группами	434,6475	3	144,8825	135,0886
20	Внутри групп	12,87	12	1,0725	
21					
22	Итого	447,5175	15		

Рисунок 5.6 - Таблица дисперсионного анализа

Получаем таблицу дисперсионного анализа «Однофакторный дисперсионный анализ». В первой итоговой таблице Excel под Группами подразумевается «Варианты», Счет – это повторность каждого варианта (n =4). Во второй таблице термины и формулы подразумевают: Между группами – «Варианты», Внутри групп – «Остаток», *SS*– сумма квадратов отклонений (*СКО* или *Cy), df* – степени свободы, *MS*– средний квадрат отклонений или дисперсия –S_2. $F_ф = 135,08; F_{05} = 3,49$. Табличное значение можно найти с помощью функции F.ОБР.ПХ. В окно аргумента функции (Рис.5.7) вводим вероятность 0,05, степень свободы 1 равна 3 (количество факторов), степень свободы 2 равна 12 (объем выборки).

Так как $F_ф > F_{05}$, H0≠0, нулевая гипотеза отвергается – в опыте в целом есть существенные различия, поэтому необходимо рассчитать НСР.

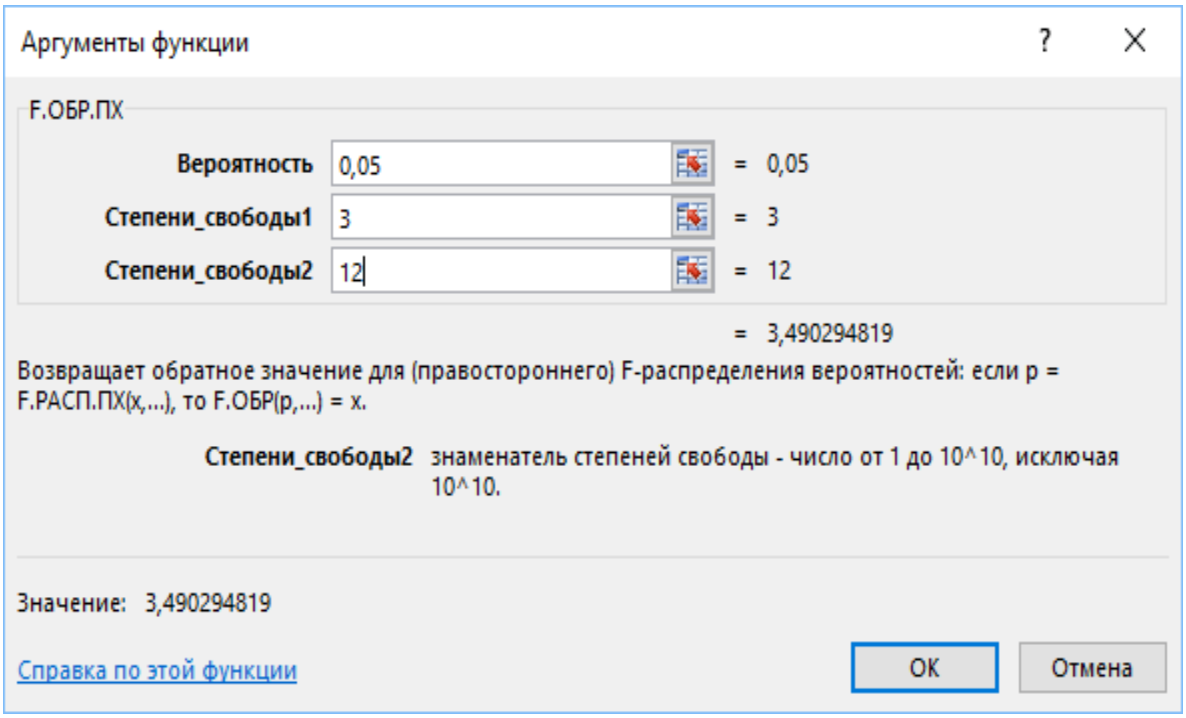


Рисунок 5.7 -. Окно функции F.ОБР.ПХ

В Пакете анализа программы Excel, а также в большинстве других статистических пакетов не предусмотрена оценка существенности средних по НСР – четвертый этап дисперсионного анализа, поэтому ошибку разности (***Sd***) можно рассчитать для нашего примера следующим образом:

$S_d = \sqrt{\frac{2S_2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.0725}{2}} = 0.73$, $t_{0.5} = 2.18$ при *df = 12 степень свободы.*

$НСР_{0.5} = t_{0.5} \cdot S_d = 2.1788 * 0.7323 = 1.5955 \approx 1.6$ г/сосуд.

5.4 Дисперсионный анализ данных двухфакторного вегетационного и полевого опытов с полной рандомизацией вариантов

Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями.

Пример 4. В полевом опыте, проведенном методом полной рандомизации (независимые выборки) изучается два фактора: фактор А – полив в 2-х вариантах (А0– без полива, А2 – полив), фактор В – дозы минераль-

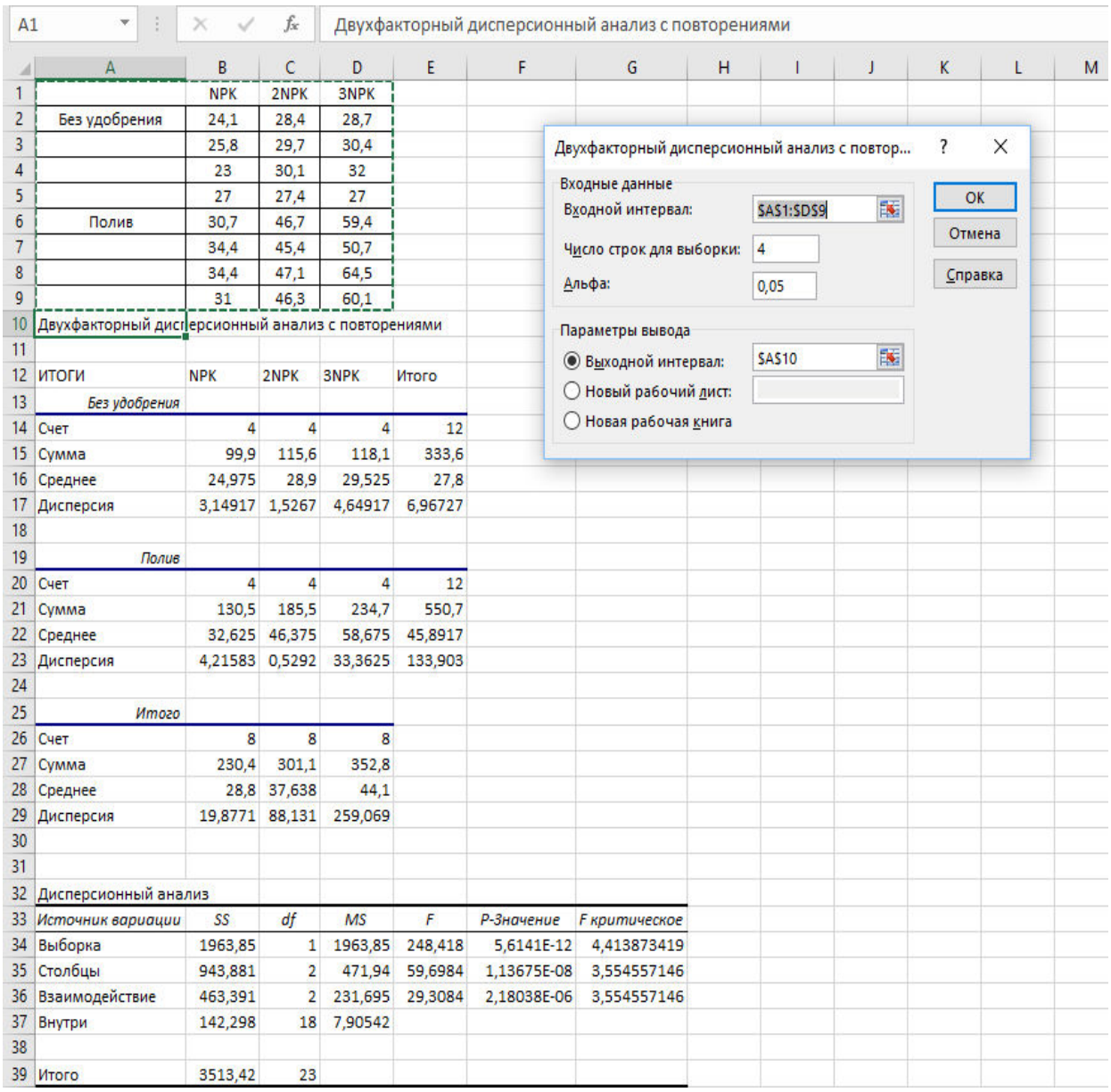
ных удобрений (B1 – NPK; B2 – 2NPK; B3 – 3NPK). Опыт проведен в 4- х кратной повторности (n=4). Данные урожая по варианта представлены в таблице.

Таблица 5.1 - Урожай зерна ячменя в двухфакторном опыте 2х3, ц/га

Орошение А	Удобрения, В		
	NPK	2NPK	3NPK
Без удобрения	24,1	28,4	28,7
	25,8	29,7	30,4
	23,0	30,1	32,0
	27,0	27,4	27,0
Полив	30,7	46,7	59,4
	34,4	45,4	50,7
	34,4	47,1	64,5
	31,0	46,3	60,1

В активный лист программы Excel введем исходные данные. Из Пакета анализа выберем инструмент **Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями.** В появившемся окне укажем входной интервал A1:D9. Входной интервал должен включать только диапазон, состоящий из перечня вариантов и цифровых данных по этим вариантам (рис.5.8). В окне Число строк для выборки – введем 4 (это повторность опыта). Альфа – выбор уровня значимости 0,05 или 0,01. Выбираем выходной интервал для размещения результатов дисперсионного анализа: выбираем на новом листе и нажимаем ОК. Получаем таблицу дисперсионного анализа «Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями» (рис. 5.8.).

В первой итоговой таблице Excel представлены суммы и средние значения по факторам А и В, которые удобнее представить в виде обобщенной таблицы средних по изучаемым вариантам. Счет – это повторность каждого варианта (n =4).



A1 | Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями

	A	B	C	D	E	F	G
1		NPK	2NPK	3NPK			
2	Без удобрения	24,1	28,4	28,7			
3		25,8	29,7	30,4			
4		23	30,1	32			
5		27	27,4	27			
6	Полив	30,7	46,7	59,4			
7		34,4	45,4	50,7			
8		34,4	47,1	64,5			
9		31	46,3	60,1			
10	Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями						
11							
12	ИТОГИ	NPK	2NPK	3NPK	Итого		
13	*Без удобрения*						
14	Счет	4	4	4	12		
15	Сумма	99,9	115,6	118,1	333,6		
16	Среднее	24,975	28,9	29,525	27,8		
17	Дисперсия	3,14917	1,5267	4,64917	6,96727		
18							
19	*Полив*						
20	Счет	4	4	4	12		
21	Сумма	130,5	185,5	234,7	550,7		
22	Среднее	32,625	46,375	58,675	45,8917		
23	Дисперсия	4,21583	0,5292	33,3625	133,903		
24							
25	*Итого*						
26	Счет	8	8	8			
27	Сумма	230,4	301,1	352,8			
28	Среднее	28,8	37,638	44,1			
29	Дисперсия	19,8771	88,131	259,069			
30							
31							
32	Дисперсионный анализ						
33	*Источник вариации*	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-Значение*	*F критическое*
34	Выборка	1963,85	1	1963,85	248,418	5,6141E-12	4,413873419
35	Столбцы	943,881	2	471,94	59,6984	1,13675E-08	3,554557146
36	Взаимодействие	463,391	2	231,695	29,3084	2,18038E-06	3,554557146
37	Внутри	142,298	18	7,90542			
38							
39	Итого	3513,42	23				

Рисунок 5.8 – Исходные данные, окно и итоговая таблица дисперсионного анализа «Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями»

Во второй таблице термины и формулы подразумевают: Выборка – «Фактор А», Столбцы – «Фактор В», Взаимодействие – «Взаимодействие АВ», Внутри – «Остаток». SS – сумма квадратов отклонений (СКО или Сy), df – степени свободы, MS – средний квадрат отклонений или дисперсия S_2. С помощью двухфакторного дисперсионного анализа по критерию Фишера оценивается отдельно существенность изучаемых факторов и их взаимодействия. В нашем примере для фактора А $F_ф$ = 249,78 (столбец F);

F_{05} = 4,41 (столбец F*критическое*), для фактора В $F_ф$ = 60,66 (столбец F вторая строка); F_{05} = 3,55 (столбец F*критическое*), для взаимодействия АВ $F_ф$ = 29,85 (столбец F третья строка); F_{05} = 3,55 (столбец F*критическое*). Так как Fф > F_{05}, $H_0 \neq 0$, нулевая гипотеза отвергается – действие и взаимодействие полива и удобрений значимо на 5% ном уровне значимости. Для оценки существенности разности средних необходимо рассчитать НСР.

$S_d = \sqrt{\frac{2S_2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.91}{4}} = 1.99$, $t_{0.5} = 2.10$ при *df = 18 степень свободы.*

$НСР_{0.5} = t_{0.5} \cdot S_d = 2.10 * 1.99 = 4.17693 \approx 4.18$ г/сосуд.

$S_d^A = \sqrt{\frac{2S_2}{n \cdot b}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.8332}{4 \cdot 3}} = 1.15$, $t_{0.5} = 2.10$ при *df = 18 степень свободы.*

$НСР_{0.5} = t_{0.5} \cdot S_d = 2.10 * 1.15 = 2.4116 \approx 2.41$ г/сосуд.

$S_d^B = \sqrt{\frac{2S_2}{n \cdot b}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.8332}{4 \cdot 2}} = 1.41$, $t_{0.5} = 2.10$ при *df = 18 степень свободы.*

$НСР_{0.5} = t_{0.5} \cdot S_d = 2.10 * 1.41 = 2.9535 \approx 2.95$ г/сосуд.

По значениям НСР можно определить наибольшее влияние на урожай различных факторов. Наибольшее значение 4.18 показывает влияние на урожайность обеих факторов - удобрение и полива совместно. Значение 2,95 больше 2,41, следовательно, фактор В оказывает большее влияние на урожайность ячменя, чем фактор А.

6. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ

6.1. Основные понятия

Временной ряд (ВР) – это совокупность значений какого-либо показателя за несколько последовательных моментов или периодов времени.

Данные, представленные в виде временных рядов, могут содержать два вида компонент - систематическую и случайную составляющие. Систематическая составляющая является результатом влияния постоянно действующих факторов. Выделяют три основных систематических компоненты временного ряда:

1) Тренд - это систематическая линейная или нелинейная компонента, плавно изменяющая во времени (T). Он описывает чистое влияние долговременных факторов.

2) Циклическая (сезонная) компонента (S). Сезонность — это периодические колебания уровней временного ряда в течение не очень длительного периода (недели, месяца, максимум — года).

Цикличность отражает повторяемость экономических процессов в течение длительных периодов.

Систематические составляющие могут одновременно присутствовать во временном ряду.

Случайной составляющей называется случайный шум, или ошибка, воздействующая на временной ряд нерегулярно (E). Основными причинами случайного шума могут быть факторы резкого и внезапного воздействия, а также воздействие текущих факторов, которое может быть связано, например, с ошибками наблюдений.

Модель, в которой временной ряд представлен как сумма перечисленных компонент, называется *аддитивной* моделью временного ряда (Y=T+S+E). Модель, в которой временной ряд представлен как произведе-

ние перечисленных компонент, называется *мультипликативной* моделью временного ряда (Y=T·S·E).

Выбор одной из двух моделей проводится на основе анализа структуры сезонных колебаний. Если амплитуда колебаний приблизительно постоянна, строят аддитивную модель временного ряда, в которой значения сезонной компоненты предполагаются постоянными для различных циклов. Если амплитуда сезонных колебаний возрастает или уменьшается, строят мультипликативную модель временного ряда, которая ставит уровни ряда в зависимость от значений сезонной компоненты.

При наличии тенденции и циклических колебаний значения каждого последующего уровня ряда зависят от предыдущих значений. Корреляционную зависимость между последовательными уровнями временного ряда называют *автокорреляцией уровней ряда*.

Количественно ее можно измерить с помощью линейного коэффициента корреляции между уровнями исходного временного ряда y_t и уровнями этого ряда, сдвинутыми на несколько шагов во времени$y_{t-\tau}$.

Число периодов, по которым рассчитывается коэффициент автокорреляции, называют *лагом*. С увеличением лага число пар значений, по которым рассчитывается коэффициент автокорреляции, уменьшается. Максимальный лаг должен быть не больше ($n/4$).

Коэффициент автокорреляции уровней ряда первого порядка, измеряющий зависимость между соседними уровнями ряда y_t иy_{t-1}, т.е. при лаге 1, рассчитывается по формуле:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=2}^{n}\left(y_t - \bar{y}_1\right)\cdot\left(y_{t-1} - \bar{y}_2\right)}{\sqrt{\sum_{t=2}^{n}\left(y_t - \bar{y}_1\right)^2 \cdot \sum_{t=2}^{n}\left(y_{t-1} - \bar{y}_2\right)^2}},$$

где $\bar{y}_1 = \dfrac{\sum_{t=2}^{n} y_t}{n-1}$; $\bar{y}_2 = \dfrac{\sum_{t=2}^{n} y_{t-1}}{n-1}$.

Аналогично определяются коэффициенты автокорреляции второго и более высоких порядков. Так, коэффициент автокорреляции второго порядка характеризует тесноту связи между уровнями y_t и y_{t-2} и определяется по формуле:

$$r_2 = \frac{\sum_{t=3}^{n} (y_t - \bar{y}_3) \cdot (y_{t-2} - \bar{y}_4)}{\sqrt{\sum_{t=3}^{n} (y_t - \bar{y}_3)^2 \cdot \sum_{t=3}^{n} (y_{t-2} - \bar{y}_4)^2}},$$

где $\bar{y}_3 = \dfrac{\sum_{t=3}^{n} y_t}{n-2}$; $\bar{y}_4 = \dfrac{\sum_{t=3}^{n} y_{t-2}}{n-2}$.

Коэффициент автокорреляции характеризует тесноту только линейной связи текущего и анализируемого уровней ряда. Поэтому по коэффициенту автокорреляции можно судить о наличии линейной (или близкой к линейной) тенденции. Для некоторых временных рядов, имеющих сильную нелинейную тенденцию (например, параболу или экспоненту), коэффициент автокорреляции уровней исходного ряда может приближаться к нулю.

Последовательность коэффициентов автокорреляции уровней первого, второго и т. д. порядков называют *автокорреляционнойфункцией* временного ряда. График зависимости ее значений от величины лага называется *коррелограммой*.

При помощи анализа автокорреляционной функции и коррелограммы можно выявить структуру ряда.

Анализ структуры можно проводить следующим образом:

- если наиболее высоким оказался коэффициент автокорреляции

первого порядка, исследуемый ряд содержит только тенденцию;

- если наиболее высоким оказался коэффициент автокорреляции порядка τ, ряд содержит циклические колебания с периодичностью в τ моментов времени;
- если ни один из коэффициентов автокорреляции не является значимым, можно сделать одно из предположений относительно структуры ряда:
- ряд не содержит тенденции и циклических колебаний, а включает только случайную компоненту,
- ряд содержит сильную нелинейную тенденцию.

6.2. Моделирование временных рядов

Построение аналитической функции для моделирования тенденции (тренда) временного ряда называют *аналитическим выравниванием временного ряда.* Для этого чаще всего применяются следующие функции:

- линейная $\widehat{y}_t = b_0 + b_1 \cdot t;$
- гипербола $\widehat{y}_t = b_0 + b_1 / t;$
- экспонента $\widehat{y}_t = e^{b_0 + b_1 \cdot t};$
- степенная функция $\widehat{y}_t = b_0 \cdot t^{b_1};$
- парабола второго и более высоких порядков $\widehat{y}_t = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + \ldots + b_k \cdot t^k.$

Параметры трендов определяются обычным МНК, в качестве независимой переменной выступает время *t=1, 2,..., n*, а в качестве зависимой переменной – фактические уровни временного ряда y_t.

Построение аддитивной и мультипликативной моделей сводится к

расчету значений T, S и E для каждого уровня ряда. Процесс построения модели включает в себя следующие шаги:

1) выравнивание исходного ряда методом скользящей средней;

2) расчет значений сезонной компоненты S;

3) устранение сезонной компоненты из исходных уровней ряда и получение выравненных данных (T+E) в аддитивной или (T·E) в мультипликативной модели;

4) аналитическое выравнивание уровней (T+E) или (T·E) и расчет значений T с использованием полученного уравнения тренда;

5) расчет полученных по модели значений (T+S) или (T·S);

6) расчет абсолютных и/или относительных ошибок.

Автокорреляция в остатках – корреляционная зависимость между значениями остатков ε_t за текущий и предыдущие моменты времени.

Для определения автокорреляции остатков используют критерий Дарбина-Уотсона и расчет величины:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}\left(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}\right)^2}{\sum_{t=1}^{n}\varepsilon_t^2}, \qquad 0 \le d \le 4.$$

Выдвигается гипотеза H_0 об отсутствии автокорреляции остатков. Альтернативные гипотезы H_1 и H_1^* состоят, соответственно, в наличии положительной или отрицательной автокорреляции в остатках.

Далее по специальным таблицам определяются критические значения критерия Дарбина-Уотсона d_L и d_Uдля заданного числа наблюдений n, числа независимых переменных модели k и уровня значимости α. По этим значениям числовой промежуток [0;4] разбивают на пять отрезков.

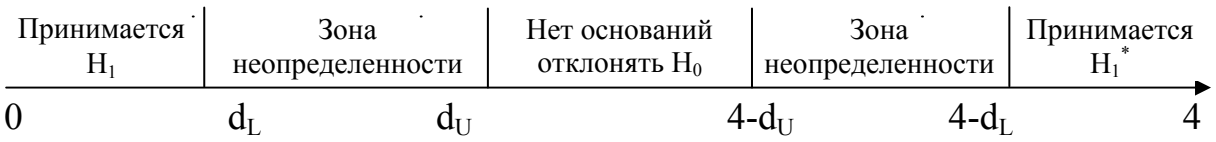


Рисунок 6.1 – Схема проверки гипотезы о наличии автокорреляции остатков

Принятие или отклонение каждой из гипотез с вероятностью (1-α) рассматривается на рис. 6.1.

6.3. Решение типовых задач

Пример 1. Динамика выпуска продукции Финляндии характеризуется данными (млн. долл), представленными в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Год	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Кол-во	14150	14004	13088	12518	13471	13617	16356	20037	21748	23298	16570	23080	23981	23446	29658	38435

Требуется:

1. Провести расчет параметров параболического тренда. Построить графики ряда динамики и тренда.

2. Рассчитать критерий Дарбина-Уотсона. Оценить полученный результат при 5%-ном уровне значимости.

Решение:

1. Параболический тренд имеет вид: $\hat{y}_t = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2$.

Определение параметров тренда и построение графиков осуществим с помощью функции «График» находящейся на панели инструментов в разделе Вставка:

1) введите исходные данные в ячейки листа MSExcel;

2)на панели инструментов Стандартная щелкните по кнопке Мастер диаграмм;

3) в окне «Тип диаграммы» из списка типов выберете График; вид графика – первый из списка.

4) в разделе Данные выбрать закладку Диапазон данных заполните поле *Диапазон* (в нашем примере – *Лист1!$A$1:$B$17*); закладка Ряд заполните поле *Подписи оси X* (в нашем примере – *Лист1!$A$2:$A$17*);

6) в окне «Размещение диаграммы» укажите место размещения диа-

граммы *на отдельном листе*;

7) после построения графика ряда динамики щелкните ПКМ на линии графика и в контекстном меню выберите «Добавить линию тренда»;

8) в диалоговом окне «Линия тренда» выберете вид линии тренда и задайте соответствующие параметры (рис. 6.2.);

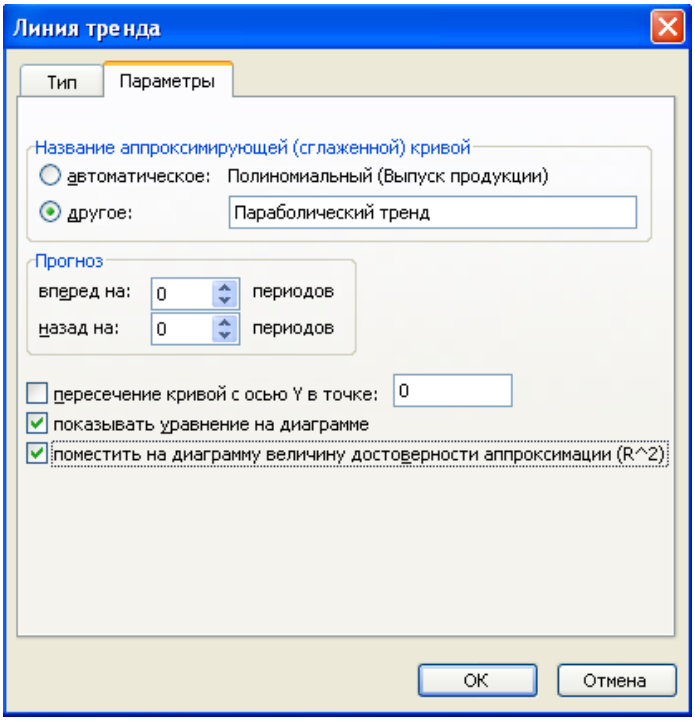


Рисунок 6.2 - Диалоговое окно параметров линии тренда

9) на рис. 6.2. представлены результаты построения графиков ряда динамики и параболического тренда.

Получили уравнение параболического тренда:

$$\hat{y}_t = 14411 - 587{,}85 \cdot t + 111{,}52 \cdot t^2.$$

2. Выровненные значения ряда динамики $\hat{y}_t$ определим путем подстановки фактических значений *t*(порядковый номер года) в уравнение тренда:

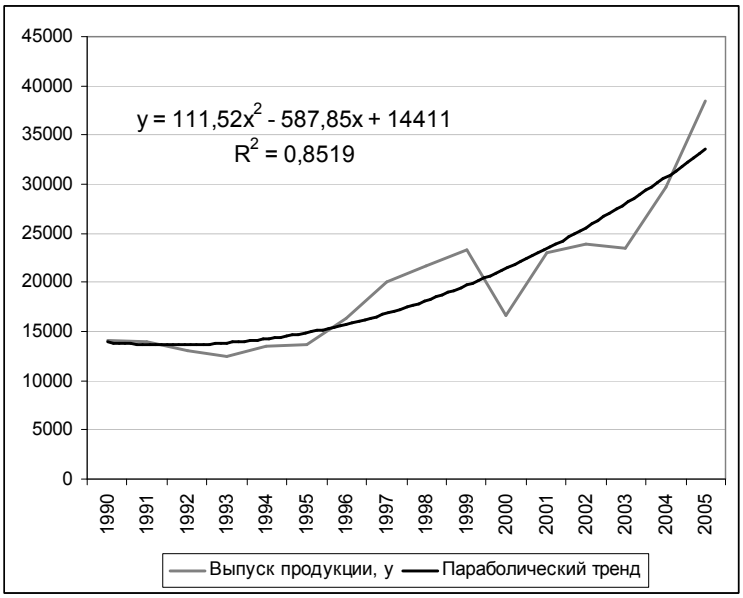


Рисунок 6.3 - Графики ряда динамики и параболического тренда

$\hat{y}_1 = 14411 - 587{,}85 \cdot 1 + 111{,}52 \cdot 1^2 = 13934{,}7;$

$\hat{y}_2 = 14411 - 587{,}85 \cdot 2 + 111{,}52 \cdot 2^2 = 13681{,}4$ *и т.д.*

Остатки ε_t рассчитываются по формуле $\varepsilon_t = y_t - \hat{y}_t$.

ε_{t-1} – те же значения, что и ε_t, но со сдвигом на один год.

Результаты вычислений оформим в табл.6.2.

Таблица 6.2 – Расчет критерия Дарбина-Уотсона

№	$\hat{y}_t$	ε_t	ε_{t-1}	$(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})$	$(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2$	ε_t^2
1	13934,7	215,3	-	-	-	46367
2	13681,4	322,6	215,3	107,3	11511	104084
3	13651,1	-563,1	322,6	-885,8	784553	317115
4	13843,9	-1325,9	-563,1	-762,8	581849	1758064
5	14259,8	-788,8	-1325,9	537,2	288552	622127
6	14898,6	-1281,6	-788,8	-492,9	242921	1642550
7	15760,5	595,5	-1281,6	1877,1	3523467	354585
8	16845,5	3191,5	595,5	2596,1	6739476	10185800
9	18153,5	3594,5	3191,5	403,0	162417	12920646
10	19684,5	3613,5	3594,5	19,0	360	13057382
11	21438,6	-4868,6	3613,5	-8482,1	71945511	23702974
12	23415,7	-335,7	-4868,6	4532,9	20547092	112681
13	25615,8	-1634,8	-335,7	-1299,2	1687791	2672669
14	28039,0	-4593,0	-1634,8	-2958,2	8750888	21095833
15	30685,3	-1027,3	-4593,0	3565,8	12714716	1055243
16	33554,5	4880,5	-1027,3	5907,7	34901274	23819085
Итого	317462,3	-5,3	-4885,8	4665,2	162882376	113467203

Критерий Дарбина-Уотсона рассчитаем по формуле:

$$d = \frac{\sum_{e=2}^{m} (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{\sum \varepsilon_t^2} = \frac{162882376}{113467203} = 1{,}44.$$

Фактическое значение d сравниваем с табличными значениями при 5%-ном уровне значимости. При n=16 лет и k=1 (число факторов) нижнее значение d_L равно 1,1, а верхнееd_U – 1,37. С вероятностью 0,95 принимается гипотеза H_0 и можно считать, что автокорреляция в остатках отсутствует. Следовательно, уравнение регрессии может быть использовано для прогноза.

Пример 2. Динамика урожайности зерновых культур по годам характеризуется данными (ц/га), представленными в табл. 6.3.

Таблица 6.3 - Урожайность зерновых культур за года.

Год	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Урожайность, ц/га	15,4	20,1	12	5,9	8,8	14,8	4,7	7	12,2	17	16,1	15,2	19,2	18,4	17,3

Требуется:

1. Построить автокорреляционную функцию временного ряда.

2. Охарактеризовать структуру этого ряда.

Решение:

1. Расчет коэффициента автокорреляции первого порядка для временного ряда урожайности зерновых культур произведем в табл.6.4.

Средние $\bar{y}_1, \bar{y}_2$ составят:

$$\bar{y}_1 = \frac{20{,}1 + 12 + 5{,}9 + ... + 18{,}4 + 17{,}3}{14} = \frac{188{,}7}{14} \approx 13{,}48;$$

$$\bar{y}_2 = \frac{15{,}4 + 20{,}1 + 12 + ... + 19{,}2 + 18{,}4}{14} = \frac{186{,}8}{14} \approx 13{,}34.$$

Коэффициент автокорреляции первого порядка:

$$r_1 = \frac{163{,}023}{\sqrt{341{,}56 \cdot 330{,}39}} = 0{,}485.$$

Полученное значение свидетельствует об отсутствии зависимости между урожайностью зерновых культур текущего и непосредственно предшествующего годов.

Таблица 6.4 - Расчет коэффициента автокорреляции первого порядка

t	y_t	y_{t-1}	$y_t - \bar{y}_1$	$y_{t-1} - \bar{y}_2$	$(y_t - \bar{y}_1)\cdot(y_{t-1} - \bar{y}_2)$	$(y_t - \bar{y}_1)^2$	$(y_{t-1} - \bar{y}_2)$
1	15,4	-	-	-	-	-	-
2	20,1	15,4	6,62	2,06	13,621	43,8433	4,2318
3	12	20,1	-1,48	6,76	-9,991	2,1862	45,659
4	5,9	12	-7,58	-1,34	10,177	57,4347	1,8033

5	8,8	5,9	-4,68	-7,44	34,822	21,8890	55,3961
6	14,8	8,8	1,32	-4,54	-6,003	1,7462	20,637
7	4,7	14,8	-8,78	1,46	-12,792	77,0633	2,1233
8	7	4,7	-6,48	-8,64	55,993	41,9719	74,699
9	12,2	7	-1,28	-6,34	8,110	1,6347	40,231
10	17	12,2	3,52	-1,14	-4,024	12,4005	1,3061
11	16,1	17	2,62	3,66	9,587	6,8719	13,374
12	15,2	16,1	1,72	2,76	4,746	2,9633	7,6018
13	19,2	15,2	5,72	1,86	10,626	32,7347	3,4490
14	18,4	19,2	4,92	5,86	28,826	24,2205	34,306
15	17,3	18,4	3,82	5,06	19,326	14,6033	25,574
Итого	188,7*	186,8	0,00	0,00	163,023	341,5636	330,39

**) Сумма приведена без значения 15,4 (затемненная ячейка).*

Расчет коэффициента автокорреляции второго порядка для временного ряда урожайности зерновых культур произведем в таблице 6.5.

Средние $\bar{y}_3, \bar{y}_4$ составят:

$$\bar{y}_3 = \frac{12 + 5{,}9 + 8{,}8 + ... + 18{,}4 + 17{,}3}{13} = \frac{168{,}6}{13} \approx 12{,}97;$$

$$\bar{y}_4 = \frac{15{,}4 + 20{,}1 + 12 + ... + 15{,}2 + 19{,}2}{13} = \frac{168{,}4}{13} \approx 12{,}95.$$

Таблица 6.5 - Расчет коэффициента автокорреляции второго порядка

t	y_t	y_{t-2}	$y_t - \bar{y}_3$	$y_{t-2} - \bar{y}_4$	$(y_t - \bar{y}_3)\cdot(y_{t-2} - \bar{y}_4)$	$(y_t - \bar{y}_3)^2$	$(y_{t-2} - \bar{y}_4)^2$
1	15,4	-	-	-	-	-	-
2	20,1	-	-	-	-	-	-
3	12	15,4	-0,97	2,45	-2,371	0,9394	5,9837
4	5,9	20,1	-7,07	7,15	-50,518	49,9740	51,0675
5	8,8	12	-4,17	-0,95	3,977	17,3825	0,9098
6	14,8	5,9	1,83	-7,05	-12,914	3,3517	49,7567
7	4,7	8,8	-8,27	-4,15	34,349	68,3802	17,2544

8	7	14,8	-5,97	1,85	-11,020	35,6317	3,4083
9	12,2	4,7	-0,77	-8,25	6,349	0,5917	68,1260
10	17	7	4,03	-5,95	-23,999	16,2471	35,4483
11	16,1	12,2	3,13	-0,75	-2,360	9,8017	0,5683
12	15,2	17	2,23	4,05	9,026	4,9763	16,3714
13	19,2	16,1	6,23	3,15	19,603	38,8225	9,8983
14	18,4	15,2	5,43	2,25	12,198	29,4933	5,0452
15	17,3	19,2	4,33	6,25	27,051	18,7556	39,0144
Итого	168,6 *	168,4	0,00	0,00	9,372	294,3477	302,8523

**) Сумма приведена без значений 15,4 и 20,1 (затемненные ячейки).*

Коэффициент автокорреляции второго порядка:

$$r_2 = \frac{9{,}372}{\sqrt{294{,}35 \cdot 302{,}85}} = 0{,}031.$$

Коэффициенты автокорреляции третьего и четвертого порядков рассчитаем в среде Excel с помощью функции КОРРЕЛ при соответствующем выборе диапазона значений.

Получаем r_3=0,115 и r_4=0,251.

Построим диаграмму автокорреляционной функций (коррелограмму) исследуемого ВР (рис. 6.4).

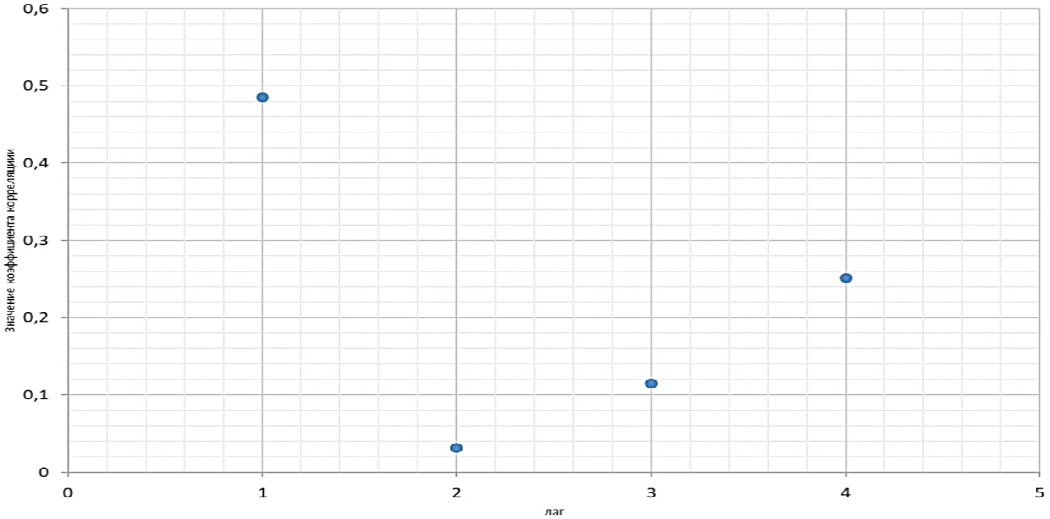


Рисунок 6.4 –Автокорреляционная функция и коррелограмма временного ряда

При анализе временного ряда урожайности зерновых культур наиболее высоким оказался коэффициент автокорреляции уровней первого порядка. Следовательно, исследуемый ряд содержит только тенденцию.

Пример 3. Построить аддитивную модель временного ряда потребления электроэнергии жителями города за 18 кварталов, y_t (табл. 6.6).

Таблица 6.6 – Потребление электроэнергии, млн. кВт·ч6

Номер квартала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
y_t	30	22	25	45	36	24	30	50	48	28	32	55	45	33	35	54	42	30

Решение:

Анализ значений автокорреляционной функции (АКФ) и коррелограммы (рис. 6.5) позволяет сделать вывод о наличии в изучаемом временном ряде линейной тенденции и сезонных колебаний периодичностью в четыре квартала.

Объемы потребления электроэнергии в осенне-зимний период времени (I и IV кварталы) выше, чем весной и летом (II и III кварталы).

Объемы потребления электроэнергии в осенне-зимний период времени (I и IV кварталы) выше, чем весной и летом (II и III кварталы).

По коррелограмме этого ВР (рис. 6.5) можно установить наличие приблизительно равной амплитуды колебаний. Это свидетельствует о возможном существовании аддитивной модели временного ряда. Рассчитаем ее компоненты.

Рисунок 6.5 – Коррелограмма временного ряда потребления электроэнергии

Шаг 1. Проведем выравнивание исходных уровней ряда методом скользящей средней. Для этого:

1) просуммируем уровни ряда последовательно за каждые четыре квартала со сдвигом на один момент времени и определим условные годовые объемы потребления электроэнергии (гр.3 табл. 6.7);

2) разделив полученные суммы на 4, найдем скользящие средние (гр.4 табл. 6.7). Полученные таким образом выравненные значения уже не содержат сезонной компоненты;

3) приведем эти значения в соответствие с фактическими моментами времени.

Для этого найдем средние значения из двух последовательных скользящих средних, т.е. центрированные скользящие средние (гр.5 табл. 6.7).

Таблица 6.7 – Расчет оценок сезонной компоненты в аддитивной модели

№ квартала, t	Потребление электроэнергии, yt	Итого по 4 кварталам	Скользящая средняя по кварталам	Центрированная скользящая средняя	Оценка сезонной компоненты
1	2	3	4	5	6
1	30				
2	22	122	30,50		
3	25	128	32,00	31,250	-6,250

4	45	130	32,50	32,250	12,750
5	36	135	33,75	33,125	2,875
6	24	140	35,00	34,375	-10,375
7	30	152	38,00	36,500	-6,500
8	50	156	39,00	38,500	11,500
9	48	158	39,50	39,250	8,750
10	28	163	40,75	40,125	-12,125
11	32	160	40,00	40,375	-8,375
12	55	165	41,25	40,625	14,375
13	45	168	42,00	41,625	3,375
14	33	167	41,75	41,875	-8,875
15	35	164	41,00	41,375	-6,375
16	54	161	40,25	40,625	13,375
17	42				
18	30				

Шаг 2. Найдем оценки сезонной компоненты как разность между фактическими уровнями ряда и центрированными скользящими средними (гр.6 табл. 6.7).

Найдем (табл. 6.8) средние за каждый квартал (по всем годам) оценки сезонной компоненты S_i.

В моделях с сезонной компонентой обычно предполагается, что сезонные воздействия за период взаимно погашаются. В аддитивной модели это выражается в том, что сумма значений сезонной компоненты по всем кварталам должна быть равна нулю.

Для данной модели имеем: $5{,}0 - 10{,}458 - 6{,}875 + 13{,}0 = 0{,}668$.

Таблица 6.8 – Расчет сезонной компоненты ВР аддитивной модели

Показатели	№ квартала, i			
	1	2	3	4
Сезонная компонента 1-го года	-	-	-6,250	12,750
Сезонная компонента 2-го года	2,875	-10,375	-6,500	11,500
Сезонная компонента 3-го года	8,750	-12,125	-8,375	14,375
Сезонная компонента 4-го года	3,375	-8,875	-6,375	13,375

Итого за i-й квартал (за все годы)	15,000	-31,375	-27,500	52,000
Средняя оценка сезонной компоненты для i-го квартала, $\bar{S}_i$	5,000	-10,458	-6,875	13,000
Скорректированная сезонная компонента, Si	4,833	-10,625	-7,041	12,833

Определим корректирующий коэффициент:

$$k = \sum_{i=1}^{L} \bar{S}_i / L = 0{,}668/4 = 0{,}167 .$$

Рассчитаем скорректированные значения сезонной компоненты как разность между ее средней оценкой и корректирующим коэффициентом

k ($S_i = \bar{S}_i - k$).

Проверим условие равенства нулю суммы значений сезонной компоненты: $4{,}833 - 10{,}625 - 7{,}041 + 12{,}833 = 0$.

Таким образом, получены следующие значения сезонной компоненты по кварталам года:

S_1 = 4,833; S_2 = -10,625; S_3 = -7,041; S_4 = 12,833.

Занесем полученные значения в табл. 6.9 для соответствующих кварталов каждого года (гр. 3).

Шаг 3. Элиминируем влияние сезонной компоненты, вычитая ее значение из каждого уровня исходного ряда.

Получим величины T+E=Y– S, (гр. 4 табл. 6.9).

Эти значения рассчитываются за каждый момент времени и содержат только тенденцию и случайную компоненту.

Шаг 4. Определим компоненту T данной модели.

Для этого проведем аналитическое выравнивание ряда (T+E) с помощью линейного тренда.

Результаты аналитического выравнивания следующие:

$$\hat{y}_t = 29{,}995 + 0{,}7591 \cdot t$$

Таблица 6.9 – Расчет выравненных значений тренда и ошибок в аддитивной модели

t	yt	Si	T+E=yt– Si	T	T+S	E= yt – (T+S)	E2
1	2	3	4	5	6	7	8
1	30	4,833	25,167	30,756	35,589	-5,589	31,237
2	22	10,625	32,625	31,515	20,890	1,110	1,232
3	25	-7,041	32,041	32,274	25,233	-0,233	0,054
4	45	12,833	32,167	33,033	45,866	-0,866	0,750
5	36	4,833	31,167	33,792	38,625	-2,625	6,891
6	24	-10,625	34,625	34,551	23,926	0,074	0,005
7	30	-7,041	37,041	35,310	28,269	1,731	2,996
8	50	12,833	37,167	36,069	48,902	1,098	1,206
9	48	4,833,	43,167	36,828	41,661	6,339	40,183
10	28	-10,625	38,625	37,587	26,962	1,038	1,077
11	32	-7,041	39,041	38,346	31,305	0,695	0,483
12	55	12,833	42,167	39,105	51,938	3,062	9,376
13	45	4,833	40,167	39,864	44,697	0,303	0,092
14	33	-10,625	43,625	40,623	29,998	3,002	9,012
15	35	-7,041	42,041	41,382	34,341	0,659	0,434
16	54	12,833	41,167	42,141	54,974	-0,974	0,949
17	42	4,833	37,167	42,900	47,733	-5,733	32,867
18	30	-10,625	40,625	43,659	33,034	-3,034	9,205

Подставляя в это уравнение значения t = 1, ..., 18, найдем уровни $\hat{y}_t$ для каждого момента времени (гр. 5 табл. 6.9). График уравнения тренда приведен на рис. 3.6.

Шаг 5. Найдем значения уровней ряда, полученные по аддитивной модели. Для этого прибавим к уровням тренда значения сезонной компоненты для соответствующих кварталов. Графически значения (T+S) представлены на рис. 3.6.

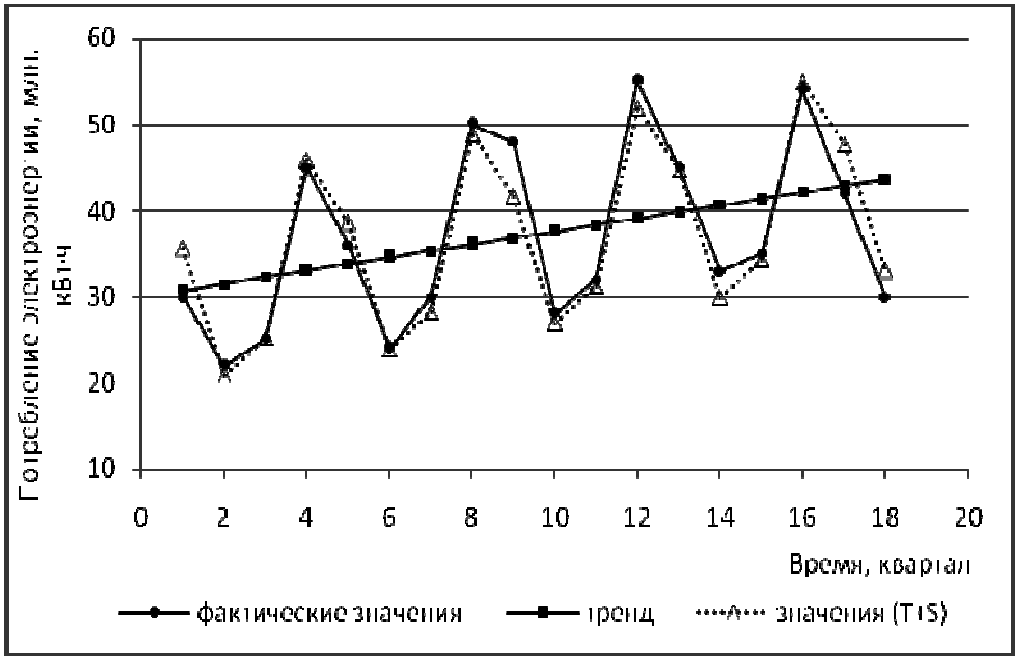


Рисунок 6.6 – Расчетные и фактические значения потребления электроэнергии

Шаг 6. В соответствии с методикой построения аддитивной модели расчет ошибки производится по формуле $E = Y - (T + S)$. Численные значения абсолютных ошибок приведены в гр. 7, а сумма квадратов абсолютных ошибок, равная 148,05 в гр. 8 (табл. 6.9). Общая сумма квадратов отклонений уровней ряда от его среднего уровня составляет 1867,778, коэффициент детерминации R^2равен 0,9207, следовательно, аддитивная модель объясняет 92% общей вариации уровней ряда потребления электроэнергии за последние 18 кварталов.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение пакета.
2. Основные функциональные возможности пакета.
3. Как зарегистрировать экспериментальные данные?
4. Какие существуют системы записи данных?
5. Способы визуализации данных.
6. Какие категории входят в библиотеку программы PowerGraph?
7. Как проводить вычисления в программе PowerGraph?
8. С помощью каких специализированных графических инструментов PowerGraph возможно представить результаты вычислений?
9. Основные возможности спектроанализатора программы PowerGraph.
10. Какие специализированные функции дополнительных утилит программы
11. Основные функциональные возможности утилиты File Recorder.
12. Предназначение утилиты File Viewer.
13. Прикладные возможности проведении спектрального анализа ППП PowerGraph.
14. Что позволяет определить утилита «Спектрограмма»?
15. Какие дополнительные функции и настройки Спектроанализатора?
16. Основные типы спектров программы PowerGraph.
17. Какой математический алгоритм лежит в основе спектрального анализа. Его основные настройки.
18. Для чего предназначена весовая функция?
19. Режимы усреднения спектральных окон.
20. Каковы дополнительные параметры спектрального анализа?
21. Какие виды частотных полос содержит программа и как их настраивать?
22. Что такое дисперсионный анализ?
23. Что такое корреляционный анализ?

24. Что такое регрессионный анализ?

25. Можно ли с помощью дисперсионного анализа построить математическую модель объекта?

26. Какие гипотезы проверяются в дисперсионном анализе?

27. Что такое статистика Фишера и критерий Фишера?

28. Основные предпосылки при решении задач с помощью дисперсионного анализа.

29. Основная идея однофакторного дисперсионного анализа.

30. Как проверяется гипотеза о равенстве нескольких дисперсий?

31. Основная идея двухфакторного дисперсионного анализа.

32. Как применяется планирование эксперимента в дисперсионном анализе?

33. Какие дисперсионные характеристики статических моделей стохастических объектов Вам известны?

34. Что такое регрессия?

35. Как построить оценку регрессии?

36. Что такое дисперсионное отношение?

37. Приведите дисперсионные характеристики параметрических статических моделей стохастических объектов.

38. Зачем необходимо строить непараметрическую оценку регрессии?

39. Как построить оценки дисперсионных характеристик?

40. Почему некоторые модели называют субоптимальными?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин, А.Г Методические подходы к компьютерному моделированию сложных систем с использованием нечеткой логики / А.Г. Гагарин, А.В. Костикова // В сборнике: Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования : Материалы Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 442–447.

2. Гагарин, А.Г. Практикум по разработке WEB-приложений с использованием PHP и MYSQL : Учебное пособие / А.Г. Гагарин, А.Ф. Рогачев. – Волгоград, 2017. – 120 с.

3. Елисеева, И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики : Учебник / под ред. И.И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 656 с.

4. Заусаев, А.А. Разработка веб-сервиса, предназначенного для математической обработки экспериментальных данных / А.А. Заусаев, А.А. Шурупов // В сборнике: Математическое моделирование и краевые задачи Труды 10-й Всероссийской научной конференции с международным участием : в 3-х томах. – 2016. – С. 177–178.

5. Измайлов, Д.Ю. Power Graph. Ч. 6. Спектральный анализ // Программное обеспечение. – 2009. – № 4. – С. 31–35.

6. Измайлов, Д.Ю. PowerGraph. Ч. 4. Обработка сигналов [Электронный ресурс] : Режим доступа : http://www.picad.com.ua/0408/pdf/powergraph_4.pdf

7. Инструментальное моделирование и программная реализация модуля автоматизированной информационной системы учета / Руденко А.Ю., Плещенко Т.В., Токарев К.Е., Кузьмин В.А. // Современные научные исследования и инновации. – 2019. – № 2 (94). – С. 5.

8. Мелихова, Е.В. Инфокоммуникационные технологии обработки экспериментальных данных в агробиологических исследованиях / Е.В. Мелихова, А.Ф. Рогачев ; ВолГАУ. – Волгоград, 2018.

9. Мелихова, Е.В. Обработка экспериментальных данных и использованием специализированных комплексов программ / Е.В. Мелихова, А.Ф. Рогачев ; ВолГАУ. – Волгоград, 2014. – 96 с.

10. Мелихова, Е.В. Теория вероятности и математическая статистика : Учебное пособие. Ч.1 и II / Е.В. Мелихова; под ред. проф. А.Ф. Рогачева. – Волгоград : Волгоградская ГСХА, 2011. – 100 с.

11. Назарова, Л.Х. О программном комплексе по обработке экспериментальных данных процесса смачивания / Л.Х. Назарова, В.Н. Лесев // В сборнике: Перспективные

инновационные проекты студентов, аспирантов и молодых ученых : Материалы –VI Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2016. – С. 269–270.

12. Орлова, Ю.А. Аннотирование и визуальное представление текстовой информации в графическом виде / Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев, А.В. Заболеева-Зотова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 13 (177) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»). – С. 74–85.

13. Орлова, Ю.А. Модели и методы информационной поддержки коммуникаций: моногр. / Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – 312 с.

14. Парахуда, Р.Н. Автоматизация измерений и контроля : Курс лекций / Р. Н. Парахуда, В. И.Шевцов. – СПб.: СЗТУ, 2002. – 76 с.

15. Построение прогнозных моделей на основе искусственных нейронных сетей / Токарев К.Е., Руденко А.Ю., Плещенко Т.В., Кузьмин В.А. // В сборнике: Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий : Материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию образования Волгоградского государственного аграрного университета. – Волгоград, 2019. – С. 278–285.

16. Программирование системы контроля и управления доступом на платформе ARDUINO / Кузьмин В.А., Токарев К.Е., Руденко А.Ю. // В сборнике: Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий : Материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию образования Волгоградского государственного аграрного университета. – Волгоград, 2019. – С. 311–316.

17. Путилин, А.Б. Вычислительная техника и программирование в измерительных информационных системах : Учебное пособие для вузов / А. Б. Путилин. – М.: Дрофа, 2006. – 447 с.

18. Руденко, А.Ю. Дискретно-континуальная модель пространственных металлоконструкций для сельскохозяйственных зданий / Руденко А.Ю. // В сборнике: Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий Материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, по-

священного 75-летию образования Волгоградского государственного аграрного университета. – Волгоград, 2019. – С. 316–321.

19. Тусупбеков, Б. Разработка математической модели объекта управления на основе обработки массивов экспериментальных данных / Б. Тусупбеков, М. Битимхан // Научная дискуссия: вопросы технических наук. – 2016. – № 9-10 (38). – С. 28–36.

20. Щапов, В.А. Облачный сервис SCIMQ по обработке потоков экспериментальных данных на суперкомпьютере / В.А. Щапов, Г.Ф. Масич // В сборнике: Суперкомпьютерные дни в России : Труды международной конференции. – 2016. – С. 325–332.

21. PowerGraph. Руководство пользователя. URL: http://www.powergraph.ru

22. Results of using neural networks to automatically creation musical compositions based on color image /Rozaliev V., Nikitin N., Orlova Y., Zaboleeva-Zotova A. // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Т. 875. С. 148–157.

23. Program for controlling the correctness of physical exercises / Vybornyi A.I., Rozaliev V.L., Orlova Yu.A., Alekseev A.V. // В сборнике: Информационные технологии и нанотехнологии : Сборник трудов ИТНТ-2018 / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. – 2018. – С. 1115–1120.

24. Sound generation based on image color spectrum with using the recurrent neural network / Nikitin N.A., Rozaliev V.L., Orlova Yu.A., Alekseev A.V. // В сборнике: Информационные технологии и нанотехнологии : Сборник трудов ИТНТ-2018 / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. – 2018. – С. 2747-2755.

Приложение

Основные функции программного пакета по категориям.

Используемые обозначения:

X - значение сигнала в канале источнике,

Y - значение сигнала в канале приемнике,

A - амплитуда,

F - частота,

N - количество точек,

K - произвольное численное значение

Категория DATA содержит функции копирования, калибровки и нормализации данных.

Таблица П1 – Функции PowerGraph категории DATA

Обозначение функции	Математическое выражение	Выполняемая процедура
Copy	Y = X	копирование данных канала источника в канал приемник
RawData	Y = X	копирование основных данных канала источника в расчетные данные канала приемника
Invert	Y = -X	инвертирование данных(умножениена -1)
Calibrate	Y = X * K + A	линейная калибровка данных, включающая умножение на масштабный коэффициент K и прибавление смещения A
Scale	Y = X * K	масштабирование данных (умножение на K)
Offset	Y = X + A	смещение данных (прибавление A)
OffsetMax	Y = X - Max	вычитание максимального значения (Max). Максимальное значение обработанных данных равно 0.

OffsetMin	Y = X - Min	вычитание максимального значения (Max). Максимальное значение обработанных данных равно 0.
OffsetMean	Y = X - Mean	вычитание среднего арифметического значения (Mean). Среднее арифметическое значение обработанных данных равно 0.
OffsetMedian	Y = X - Median	вычитание медианы (Median). Медиана (значение, которое разбивает выборку на две равные части) обработанных данных равна 0.
OffsetMiddle	Y = X - (Min + Max) / 2	вычитание центрального значения всего диапазона значений. Минимальное и максимальное значения обработанных данных равны по модулю.
OffsetMode	Y = X - Mode	вычитание моды (Mode). Мода (значение, наиболее часто встречающееся в выборке) обработанных данных равна 0
Normalize	Y = (X - Mean)/StdDev	нормализация данных, включающая вычитание среднего арифметического значения (Mean) и деление на стандартное отклонение (StdDev). Среднее арифметическое значение обработанных данных равно 0, а стандартное отклонение равно 1.
NormalizeByMax	Y = X / |Max|, если |Max| > |Min| Y = X / |Min|. если |Min| > |Max|	нормализация данных относительно наибольшего по модулю значения. Значения обработанных данных находятся в диапазоне от - 1 до 1.
NormalizeByRate	Y = X / Fs или Y = X * dT	нормализация данных относительно частоты регистрации, т.е. деление на значение частоты регистрации (Fs) или умножение на значение периода дискретизации (dT = 1 / Fs).
NormalizeByTime	Y = X * Fs или Y = X / dT	нормализация данных относительно периода дискретизации, т.е. умножение на значение частоты регистрации (Fs) или деление на значение периода дискретизации (dT = 1 / Fs).

NormalizeByRange	Y = 2 * (X - Min) / (Max - Min) - 1	нормализация данных относительно всего диапазона значений. Минимальное значение обработанных данных равно - 1, а максимальное значение равно 1.
NormalizeByTime	Y = X * Fs	нормализация данных относительно периода дискретизации, т.е. умножение на значение частоты регистрации (Fs).
Nothing		удаление расчетных данных канала-приемника. Функция может применяться при составлении алгоритмов для удаления промежуточных вычислений

Категория **Math** содержит математические, тригонометрические и логарифмические функции.

Таблица П2 – Функции PowerGraph категории Math

Обозначение функции	Математическое выражение	Выполняемая процедура
Abs	**Y = X если X ≥ 0** **Y = X если X < 0**	модуль числа (абсолютное значение)
Sign	**Y = 1 если X > 0** **Y = 0 если X = 0** **Y = 1 если X < 0**	знак числа
Reciprocal	**Y = 1 / X**	обратная величина числа
Power2	**Y = X ^ 2**	квадрат числа
Power	**Y = X ^ K**	произвольная степень числа
Sqrt	**Y = X ^ 0.5**	квадратный корень числа
SqrtPl	**Y = (X * π) ^ 0.5**	квадратный корень числа умноженного на
Round		округление числа до ближайшего целого
Fix		целая часть числа
Int		округление числа до ближайшего меньшего целого (например Int(8.3) = -9)

Sin, SinPI	**Y = sin(X)**	синус угла, выраженного в радианах и единицах π
Cos, CosPI	**Y = cos(X)**	косинус угла, выраженного в радианах и единицах π
Tan, TanPI	**Y = tg(X)**	тангенс угла, выраженного в радианах и единицах π
ATan, ATanPI		арктангенс числа, результат в радианах и единицах π
ShiftRight	**Y(i) = X(i N)**	смещение сигнала вправо (к концу) на заданное количество точек **N**
ShiftToMax	**Y(i) = X(i + Nmax)**	смещение сигнала влево на Nmax то чек, где Nmax индекс точки с максимальным значением (точка с максимальным значением становится первой)
ShiftToMin	**Y(i) = X(i + Nmin)**	смещение сигнала влево на Nmin точек, где Nmin индекс точки с минимальным значением (точка с минимальным значением становится первой)
ShiftToAbove	**Y(i) = X(i + Namp), где X(Namp) >_ A, а X(Namp1) < A**	смещение сигнала влево на Namp точек, где Namp индекс точки, в которой положительный фронт сигнала достигает или переходит заданный уровень амплитуды A (эта точка становится первой)
ShiftToBelow	**Y(i) = X(i + Namp), где X(Namp) <_ A, а X(Namp1) > A**	смещение сигнала влево на Namp точек, где Namp индекс точки, в которой отрицательный фронт сигнала достигает или переходит заданный уровень амплитуды A (эта точка становится первой)
SortAsc		сортировка значений сигнала в порядке возрастания
SortDesc		сортировка значений сигнала в порядке убывания

Категория **Filters** содержит функции амплитудной фильтрации сигналов.

Таблица П3 – Функции PowerGraph категории **Filters**

Обозначение функции	Математическое выражение	Выполняемая процедура
Positive	Y = X если X > 0 Y = 0 если X ≤ 0	копирование только положительных значений
Negative	Y = X если X < 0 Y = 0 если X >_ 0	копирование только отрицательных значений
Above	Y = X если X > A Y = A если X ≤ A	копирование значений, расположенных выше заданного уровня амплитуды A
Below	Y = X если X < A Y = A если X ≥ A	копирование значений, расположенных ниже заданного уровня амплитуды A
RangeFilter	Y = X если A1 < X < A2 Y = A1 если X ≤ A1 Y = A2 если X ≥ A2	копирование значений, расположенных в заданном диапазоне амплитуды от A1 до A2
MedianFilter		медианный фильтр. Единственным численным аргументом функции является количество точек исходного сигнала N, используемое для расчета скользящей медианы
NoiseFilter		удаление из сигнала высокочастотных шумов и случайных выбросов. В функции применяется избирательный алгоритм обработки соседних значений сигнала
Trend		выделение линейного тренда из сигнала. Функция возвращает значения, соответствующие линейной аппроксимации исходного сигнала.
NoTrend		удаление линейного тренда из сигнала. Функция вычитает из исходного сигнала значения, соответствующие его линейной аппроксимации.
AC		выделение из сигнала синусоидальной составляющей с заданной частотой. Единственным аргументом функции является частота аппроксимирующей синусоиды F (Гц).

ACFilter		удаление из сигнала синусоидальной составляющей с заданной частотой. Единственным аргументом функции является частота аппроксимирующей синусоиды F (Гц).
ACSelectMax		выделение из сигнала синусоидальной составляющей с максимальной амплитудой в заданном диапазоне частот. Численными аргументами функции являются крайние значения диапазона частот F1 и F2 (Гц), а также целочисленный коэффициент K. Функция аппроксимирует исходный сигнал набором синусоид частотой от F1 до F2 с шагом ΔF = (F2 - F1) / K и возвращает значения, соответствующие синусоиде с максимальной амплитудой
>	Y = 1 если X1 ≤ X2, Y = 0, если X1 > X2,	(больше); X1 больше X2:
>=	Y = 1, если X1 ≥ X2; Y = 0, если X1 < X2	(больше или равно) - X1 больше или равно X2
=	Y = 1, если X1 = X2; Y = 0 во всех остальных случаях	(равно) - X1 равно X2
<>	Y = 0, если X1 = X2, Y = 1 во всех остальных случаях	(не равно) - X1 не равно X2
RangeIn	Y = 1, если A1 ≤ X ≤ A2 Y = 0, если X < A1 или X > A2	значение сигнала принадлежит диапазону амплитуды от A1 до A2
RangeOut	Y = 0, если A1 ≤ X ≤ A2, Y = 1, если X < A1 или X > A2	значение сигнала не принадлежит диапазону амплитуды от A1 до A2
SelectMax	Y = X1, если X1 ≥ X2, Y = X2, если X1 < X2	выбор большего значения
SelectMin	Y = X1 если X1 ≤ X2, Y = X2, если X1 > X2	выбор меньшего значения

Категория **Generators** содержит функции генерации сигналов.

Таблица П4 – Функции PowerGraph категории Generators

Обозначение функции	Математическое выражение	Выполняемая процедура
GenSine	**ASin(Fx+K)**	генерация синусоидального сигнала. Численные аргументы функции: амплитуда A, частота F (Гц) и начальная фаза K (от 0 до 1).
GenTriangle		генерация треугольного сигнала. Численные аргументы функции: амплитуда A, частота F (Гц) и начальная фаза K (от 0 до 1)
GenRamp		генерация пилообразного сигнала. Численные аргументы функции: амплитуда A, частота F (Гц) и начальная фаза K (от 0 до 1)
GenRandom		генерация случайных значений с равномерным распределением. Единственным численным аргументом функции является амплитуда сигнала A, соответствующая максимальному по модулю значению ($-A \leq Y \leq A$)
GenRandomGaus		генерация случайных значений с гауссовским (нормальным) распределением. Единственным численным аргументом функции является амплитуда сигнала A, соответствующая стандартному отклонению нормального распределения

Учебное издание

Алексей Фруминович **Рогачев**
Елена Валентиновна **Мелихова**
Владимир Леонидович **Розалиев**

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Учебное пособие

Редактор *Л. Н. Рыжих*

Темплан 2020 г. (учебники и учебные пособия). Поз. № 135.
Подписано в печать 02.06.2020. Формат 60x84 1/16. Бумага газетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 3,48.
Тираж 100 экз. Заказ 301.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ.
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.