



**Программный комплекс
автоматизации экспериментальных
и технологических установок "ACTest[©]"**

Математическая библиотека

Описание
Версия 1.14

Содержание

Глава I. Функции для создания расчетных каналов в реальном времени	8
1.1. Прореживание и усреднение	8
1.1.1. Прореживание	8
1.1.2. Усреднение	8
1.1.3. Коррекция нуля	8
1.1.4. Константа в виде канала	8
1.2. Вспомогательные функции	8
1.2.1. Повторение	9
1.2.2. Элемент массива	9
1.2.3. Частота сбора данных	9
1.2.4. Количество точек за макрокадр	9
1.2.5. Значение по условию	9
1.3. Функция передискретизации	9
1.3.1. Передискретизация по частоте	9
1.3.2. Передискретизация по точкам	9
1.4. Функции математической статистики	9
1.4.1. Минимальное значение за макрокадр	10
1.4.2. Максимальное значение за макрокадр	10
1.4.3. Среднее значение за макрокадр	10
1.4.4. Дисперсия за макрокадр	10
1.4.5. Среднеквадратическое отклонение за макрокадр	10
1.4.6. Амплитуда за макрокадр	10
1.4.7. Размах за макрокадр	10
1.4.8. Амплитудное значение мгновенной мощности за макрокадр	11
1.4.9. Минимальное значение за весь эксперимент	11
1.4.10. Максимальное значение за весь эксперимент	11
1.4.11. Среднее значение за весь эксперимент	11
1.4.12. Счетчик макрокадров с начала эксперимента	11
1.4.13. Счетчик импульсов с начала эксперимента	11
1.5. Математические функции одного аргумента	11
1.5.1. Квадрат сигнала	11
1.5.2. Корень квадратный	11
1.5.3. Модуль сигнала	11
1.5.4. Удаление постоянной составляющей	12
1.5.5. Полином 1-й степени	12
1.5.6. Линейная функция по 2 диапазонам	12
1.5.7. Полином 2-й степени	12
1.5.8. Полином 3-й степени	12
1.5.9. Функция десятичного логарифма	12
1.5.10. Степенная функция	12
1.5.11. Пересчет в ДБ	13
1.5.12. Функция пересчета напряжения термопар в температуру	13
1.5.13. Функция пересчета сопротивлений термометров в температуру	14
1.6. Математические функции двух аргументов	15
1.6.1. Произведение	15
1.6.2. Сложение	15
1.6.3. Среднее трех величин	15
1.6.4. Деление	15
1.6.5. Векторное сложение	15

1.6.6. Логарифм	16
1.6.7. Арифметические действия над каналом – массивом и каналом – числом	16
1.6.8. Время запаздывания второго канала относительно первого	16
1.6.9. Скорость по запаздыванию	16
1.7. Функции обработки массивов данных	16
1.7.1. Интегрирование	17
1.7.2. Интегрирование за весь эксперимент	17
1.7.3. Действующее значение	17
1.7.4. Действующее за целое число периодов	17
1.7.5. Действующее за целое число полупериодов	17
1.7.6. Среднее за целое число полупериодов	18
1.7.7. Сдвиг фазы 2-х периодических сигналов	18
1.7.8. Сдвиг фазы 2-х периодических сигналов с учетом знака	18
1.7.9. Частотомер	18
1.7.10. Периодомер	18
1.7.11. Дифференцирование	18
1.7.11.1. Дифференцирование по 2 точкам	18
1.7.11.2. Дифференцирование по 3 точкам	18
1.7.11.3. Дифференцирование по 5 точкам	19
1.7.12. Значение задаваемого номера массива	19
1.7.13. Функция переключения каналов	19
1.8. Секундомер	19
1.9. Таймер	19
1.10. Модуль спектрального анализа	19
1.10.1. Быстрое преобразование Фурье, прямоугольное окно	20
1.10.2. Окно Хеннинга	20
1.10.3. Окно Хемминга	20
1.10.4. Окно Парзена	20
1.10.5. Косинусное окно	20
1.10.6. Частотомер на основе БПФ	20
1.10.7. Вычисление частоты основной гармоники по нескольким макрокадрам	21
1.10.8. Разложение по гармоникам	21
1.10.9. Разложение по гармоникам с таблицей косинусов	21
1.10.10. Таблица косинусов	21
1.11. Преобразование Гильберта	21
1.11.1. Преобразование Гильберта	22
1.11.2. Вычисление огибающей сигнала	22
1.11.3. Вычисление фазы сигнала	22
1.12. Функции цифровой фильтрации сигналов	22
1.12.1. Сглаживание скользящим средним по 3 точкам	22
1.12.2. Сглаживание скользящим средним по 5 точкам	22
1.12.3. Нелинейное сглаживание многочленом 3-й степени по 7-и точкам	23
1.12.4. Фильтрация выбросов	23
1.12.5. Среднее за заданное число макрокадров	23
1.12.6. Фильтр Баттерворта (ФНЧ)	24
1.12.7. Фильтр Баттерворта (ФНЧ) двухпроходный	24
1.12.8. Фильтр Баттерворта (ФНЧ) с буферизацией	24
1.12.9. Фильтр Баттерворта (ФНЧ) двухпроходный с буферизацией	24
1.12.10. Медианная фильтрация	25
1.12.11. Алгоритм подтверждения голосованием	25
1.12.12. Полином 3 степени с последующим АПГ	26

1.13. Вычисление спектра виброхарактеристик по виброускорению	26
1.13.1. Вычисление спектра виброскорости по виброускорению	26
1.13.2. Вычисление спектра вибросмещения по виброускорению	26
1.13.3. Вычисление спектра виброускорения по виброускорению	26
1.14. Вычисление спектра виброхарактеристик по виброскорости	26
1.14.1. Вычисление спектра виброскорости по виброскорости	26
1.14.2. Вычисление спектра вибросмещения по виброскорости	27
1.14.3. Вычисление спектра виброускорения по виброскорости	27
1.15. Вычисление спектра виброхарактеристик по вибросмещению	27
1.15.1. Вычисление спектра виброскорости по вибросмещению	27
1.15.2. Вычисление спектра вибросмещения по вибросмещению	27
1.15.3. Вычисление спектра виброускорения по вибросмещению	27
1.16. Функции триггерной математики	28
1.16.1. Сравнение 1 по 2 порогам (запуск, удержание и останов)	28
1.16.2. Сравнение 1 на превышение уровня (только запуск)	28
1.16.3. Сравнение по И (запуск и останов)	28
1.16.4. Сравнение по ИЛИ (запуск и останов)	29
1.16.5. Сравнение 16 аргументов по И	29
1.16.6. Сравнение 16 аргументов по ИЛИ	29
1.16.7. Логическая инверсия	29
1.16.8. Логическое И	29
1.16.9. Логическое ИЛИ	29
1.16.10. Накопление данных по нескольким макрокадрам (буферизация)	30
1.16.11. Обороты в минуту	30
1.16.12. Направление и скорость вращения (по 1 каналу с 1, 2 и 3 метками)	30
Глава II. Расчетные функции послесеансной обработки	31
2.1. Прореживание и усреднение	31
2.1.1. Прореживание	31
2.1.2. Усреднение	31
2.2. Функции математической статистики	31
2.2.1. Минимальное значение	32
2.2.2. Максимальное значение	32
2.2.3. Среднее значение	32
2.2.4. Дисперсия	32
2.2.5. Среднеквадратичное отклонение за макрокадр	32
2.2.6. Квантильное значение массива	32
2.3. Математические функции одного аргумента	33
2.3.1. Полином 1-й степени	33
2.3.2. Полином 2-й степени	33
2.3.3. Полином 3-й степени	33
2.3.4. Функция десятичного логарифма	33
2.3.5. Степенная функция	33
2.3.6. Пересчет в ДБ	33
2.3.7. Функция пересчета напряжения термопар в температуру	34
2.4. Математические функции двух аргументов	34
2.4.1. Произведение	35
2.4.2. Сложение	35
2.4.3. Деление	35
2.4.4. Векторное сложение	35
2.4.5. Логарифм	35
2.5. Функции обработки массивов данных	35

2.5.1. Интегрирование.....	35
2.5.2. Действующее значение.....	36
2.5.3. Частотомер.....	36
2.5.4. Периодомер.....	36
2.5.5. Квадрат сигнала.....	36
2.5.6. Абсолютное значение сигнала.....	36
2.5.7. Корень квадратный из модуля сигнала.....	36
2.5.8. Удаление постоянной составляющей.....	37
2.5.9. Дифференцирование.....	37
2.5.9.1. Дифференцирование по 2 точкам.....	37
2.5.9.2. Дифференцирование по 3 точкам.....	37
2.5.9.3. Дифференцирование по 5 точкам.....	37
2.5.10. Производная кубического сплайна.....	37
2.5.11. Масштабирование.....	38
2.5.12. Смещение на заданную величину.....	38
2.5.13. Инверсия.....	38
2.5.14. Автосмещение.....	38
2.5.15. Обнуление участка между заданными точками.....	38
2.5.16. Линейная интерполяция участка между маркерами.....	38
2.5.17. Квадратичная интерполяция участка между маркерами.....	38
2.5.18. Полиномиальная интерполяция участка между маркерами.....	39
2.6. Модуль спектрального анализа.....	39
2.6.1. Быстрое преобразование Фурье, прямоугольное окно.....	39
2.6.2. Окно Хеннинга.....	39
2.6.3. Окно Хемминга.....	39
2.6.4. Окно Парзена.....	40
2.6.5. Косинусное окно.....	40
2.6.6. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ).....	40
2.7. Функции цифровой фильтрации сигналов.....	40
2.7.1. Линейное сглаживание по 3-м точкам.....	40
2.7.2. Линейное сглаживание по 5-и точкам.....	40
2.7.3. Нелинейное сглаживание многочленом 3-й степени по 7-и точкам.....	41
2.7.4. Фильтрация выбросов.....	41
2.7.5. Фильтр Баттерворта (ФНЧ).....	41
2.7.6. Фильтр Баттерворта (ФНЧ) двухпроходный.....	41
2.7.7. Фильтр Бесселя (ФНЧ).....	41
2.8. Модуль фильтрации, основанной на БПФ.....	42
2.8.1. Фильтр низких частот на базе БПФ.....	42
2.8.2. Фильтр высоких частот на базе БПФ.....	42
2.9. Интерполяции данных кубическими сплайнами.....	42
Глава III. Функции расчета для межмаркерных вычислений.....	43
3.1. Функции для вывода информации о межмаркерных измерениях.....	43
3.1.1. Среднее значение.....	43
3.1.2. Максимальное значение.....	43
3.1.3. Минимальное значение.....	43
3.1.4. Количество точек сбора.....	43
3.1.5. Частота опроса.....	43
3.1.6. Дисперсия.....	43
3.1.7. Среднеквадратическое отклонение.....	43
3.1.8. Интеграл.....	44
3.1.9. Размах.....	44

3.1.10. Амплитуда	44
3.1.11. Средневыпрямленное значение	44
3.1.12. Действующее (среднеквадратическое) значение	44
3.1.13. Коэффициент формы	44
3.1.14. Коэффициент амплитуды	44
Глава IV. Аналитические функции	45
4.1. Функции для построения графиков теоретических зависимостей	45
4.1.1. Полином первой степени	45
4.1.2. Полином второй степени	45
4.1.3. Полином третьей степени	45
4.1.4. Полином четвертой степени	45
4.1.5. Полином пятой степени	46
4.1.6. Полином шестой степени	46
4.1.7. Полином седьмой степени	46
4.1.8. Полином восьмой степени	46
4.1.9. Прямоугольные импульсы	47
4.1.10. Синус	47
4.1.11. Гипербола	47
4.1.12. Функция десятичного логарифма	47
4.1.13. Степенная функция	47
Глава V. Анализ виброхарактеристик	48
Глоссарий	50

Глава I. Функции для создания расчетных каналов в реальном времени

Группа модулей обработки данных реального времени содержит функции, предназначенные для быстрой первичной обработки собираемых данных. В этом модуле используются простые алгоритмы.

Модули этой группы работают с данными типа float.

Для более сложной обработки данных следует использовать группу модулей после-сеансной обработки.

1.1. Прореживание и усреднение

На входе – массив сигнала X , полученный за время макрокадра T (количество точек за макрокадр – N_{mkr}).

На выходе – массив результатов Y .

1.1.1. Прореживание

Берется значения каждой первой точки в серии из N замеров:

$$Y(k) = X(k \cdot N), \text{ где } k = 0, \dots, \text{ количество точек за макрокадр} / N.$$

Используется для уменьшения значения частоты дискретизации, если она превышает характерную частоту изменения входного сигнала. Используется также в случае, когда данные по разным каналам собираются с различными (кратными) частотами, а для отображения или обработки требуются данные с одной частотой сбора.

Аргумент – прореживаемый канал, Коэффициент – коэффициент прореживания N .

1.1.2. Усреднение

Функция, аналогичная предыдущей, за исключением того, что берется среднее значение по сериям из N замеров:

$$Y(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N X(k + i), \text{ где } k = 0, \dots, \text{ количество точек за макрокадр} / N.$$

Аргумент – усредняемый канал, Коэффициент – коэффициент усреднения N .

1.1.3. Коррекция нуля

Во время измерений возможны изменения данных, вызванные трендами аппаратуры. Чтобы избавиться от них, предусмотрена функция "Коррекция нуля". При нажатии на панели управления кнопки "Коррекция нуля" вычисляется среднее значение за текущий макрокадр:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N_{mkr}} X(i), \text{ – которое вычитается из всех значений вновь собираемых данных.}$$

1.1.4. Константа в виде канала

Функция позволяет создать канал в реальном времени, возвращающий за макрокадр одно значение, равное задаваемой константе.

На выходе – число-результат.

1.2. Вспомогательные функции

1.2.1. Повторение

Функция добавляет канал, отличающийся от исходного канала только названием.

1.2.2. Элемент массива

Функция возвращает значение указанного номера массива входного канала. За макрокадр возвращается одно число.

Нумерация элементов массива начинается с нуля: 0, 1, 2,...

На выходе – число-результат.

1.2.3. Частота сбора данных

Функция возвращает значение частоты сбора данных. Вообще говоря, значение может отличаться от выставленных в сценарии эксперимента.

На выходе – число-результат.

1.2.4. Количество точек за макрокадр

Функция возвращает количество точек, собираемых устройством сбора данных за один макрокадр.

На выходе – число-результат.

1.2.5. Значение по условию

Функция возвращает задаваемые значения U_x если значение входного канала превосходит задаваемую величину $U_{\text{порог}}$ и U_y - если не превосходит.

На выходе – массив-результат.

1.3. Функция передискретизации

На входе – массив сигнала X , полученный за время макрокадра.

На выходе – массив результатов.

1.3.1. Передискретизация по частоте

Вычисляет массив сигнала, как если бы он собирался с другой (задаваемой) частотой дискретизации.

Для, например, сложения 2-х сигналов необходимо, чтобы они имели одинаковую частоту. Возможны случаи сбора с различными частотами. Перед дальнейшей обработкой необходимо привести сигналы к одной частоте. Если частоты кратны, это можно сделать при помощи прореживания или усреднения более высокочастотного сигнала. В более общем случае (несоизмеримых частот) необходима интерполяция данных.

1.3.2. Передискретизация по точкам

Функция, аналогичная предыдущей, но задается не результирующая частота, а выходное число точек в массиве.

1.4. Функции математической статистики

На входе – массив сигнала X , полученный за время макрокадра.

На выходе – число-результат.

1.4.1. Минимальное значение за макрокадр

Вычисляет минимальное значение данных за время макрокадра.

Аргумент – канал, по которому рассчитывается минимальное значение за макрокадр.

На выходе – число-результат.

1.4.2. Максимальное значение за макрокадр

Вычисляет максимальное значение данных за время макрокадра.

Аргумент – канал, по которому рассчитывается максимальное значение за макрокадр.

На выходе – число-результат.

1.4.3. Среднее значение за макрокадр

Вычисляет среднее значение данных за время макрокадра.

Аргумент – канал, по которому рассчитывается среднее значение за макрокадр.

На выходе – число-результат.

1.4.4. Дисперсия за макрокадр

Вычисляет дисперсию данных по формуле:

$$Y = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \langle X \rangle)^2,$$

$$\text{где } \langle X \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N X_i.$$

Аргумент – канал, по которому рассчитывается дисперсия значение за макрокадр.

На выходе – число-результат.

1.4.5. Среднеквадратическое отклонение за макрокадр

Вычисляет среднеквадратическое отклонение данных по формуле:

$$SKO = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \langle X \rangle)^2},$$

$$\text{где } \langle X \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N X_i.$$

Аргумент – канал, по которому рассчитывается среднеквадратическое отклонение за макрокадр.

На выходе – число-результат.

1.4.6. Амплитуда за макрокадр

Вычисляет значение амплитуды данных за макрокадр. Амплитуда - половина разности между максимальным и минимальным значениями за макрокадр.

1.4.7. Размах за макрокадр

Вычисляет значение размаха данных за макрокадр. Размах - разность между максимальным и минимальным значениями за макрокадр.

1.4.8. Амплитудное значение мгновенной мощности за макрокадр

Вычисляет амплитудное значение мгновенной мощности за макрокадр. Мгновенное значение мощности вычисляется как произведение мгновенных значений тока и напряжения. Амплитудное значение мгновенной мощности - половина разности между максимальным и минимальным значениями мгновенной мощности за макрокадр.

1.4.9. Минимальное значение за весь эксперимент

Вычисляет минимальное значение данных за весь эксперимент.
Аргумент – канал, по которому рассчитывается минимальное значение.
На выходе – число-результат.

1.4.10. Максимальное значение за весь эксперимент

Вычисляет максимальное значение данных за весь эксперимент.
Аргумент – канал, по которому рассчитывается максимальное значение.
На выходе – число-результат.

1.4.11. Среднее значение за весь эксперимент

Вычисляет среднее значение данных за весь эксперимент.
Аргумент – канал, по которому рассчитывается среднее значение за весь эксперимент.
На выходе – число-результат.

1.4.12. Счетчик макрокадров с начала эксперимента

Вычисляет номер текущего макрокадра с начала эксперимента.
На выходе – число-результат.

1.4.13. Счетчик импульсов с начала эксперимента

Вычисляет число импульсов за весь эксперимент. Под импульсом понимается превышение сигналом задаваемого значения Порога, с длительностью, превышающей заданное Время удержания, задаваемые пользователем.
На выходе – число-результат.

1.5. Математические функции одного аргумента

На входе – массив сигнала X , полученного за макрокадр, и a_i – коэффициенты.
На выходе – массив результата Y .

1.5.1. Квадрат сигнала

Вычисляет квадрат сигнала.
Аргумент – канал, который возводится в квадрат.
На выходе – массив результата.

1.5.2. Корень квадратный

Вычисляет квадратный корень из модуля сигнала
Аргумент – канал, по которому рассчитывается полином.
На выходе – массив результата.

1.5.3. Модуль сигнала

Вычисляет квадратный корень из модуля сигнала
Аргумент – канал, по которому рассчитывается полином.
На выходе – массив результата.

1.5.4. Удаление постоянной составляющей

Вычисляет среднее и вычитает из сигнала.

Аргумент – канал, по которому рассчитывается полином.

На выходе – массив результата.

1.5.5. Полином 1-й степени

Вычисляет полином 1-й степени по экспериментальным данным в соответствии с формулой:

$$Y = a_1 \cdot X + a_0.$$

Аргумент – канал, по которому рассчитывается полином.

На выходе – массив результата.

1.5.6. Линейная функция по 2 диапазонам

Вычисляет полиномы первой степени с различными коэффициентами, в зависимости от значений аргумента:

$$Y = a_1 \cdot X + b_1 \quad \text{при } X > k$$

$$Y = a_2 \cdot X + b_2 \quad \text{при } X < k$$

Коэффициенты k , a_1 , a_2 и b_1 задаются, а коэффициент $b_2 = (a_1 - a_2) + b_1$.

На выходе – массив результата.

1.5.7. Полином 2-й степени

Вычисляет полином 2-й степени по экспериментальным данным в соответствии с формулой:

$$Y = a_2 \cdot X^2 + a_1 \cdot X + a_0.$$

Аргумент – канал, по которому рассчитывается полином 2-й степени.

На выходе – массив результата.

1.5.8. Полином 3-й степени

Вычисляет полином 3-й степени по экспериментальным данным в соответствии с формулой:

$$Y = a_3 \cdot X^3 + a_2 \cdot X^2 + a_1 \cdot X + a_0.$$

Аргумент – канал, по которому рассчитывается полином 2-й степени.

На выходе – массив результата.

1.5.9. Функция десятичного логарифма

Вычисляет десятичный логарифм экспериментальных данных с коэффициентом и сдвигом по формуле:

$$Y = a_1 \cdot \lg X + a_0.$$

Аргумент – канал, по которому рассчитывается логарифм.

Ограничения: данные должны быть положительными.

На выходе – массив результата.

1.5.10. Степенная функция

Вычисляет степенную функцию экспериментальных данных:

$$Y = a_1 \cdot X^a.$$

Аргумент – канал, по которому рассчитывается степенная функция.

Ограничения: при дробных значениях показателя степени данные должны быть неотрицательными.

На выходе – массив результата.

1.5.11. Пересчет в ДБ

Вычисляет значение функции десятичного логарифма по формуле:

$$Y = a \cdot \lg(X/b) + c.$$

Пересчет в децибелы (ДБ) можно использовать для нахождения мощности сигнала.

Аргумент – канал, по которому рассчитывается функция десятичного логарифма.

Ограничения: данные X/b должны быть положительными. Коэффициент b не должен быть нулевым.

На выходе – массив результата.

1.5.12. Функция пересчета напряжения термопар в температуру

Функция предназначена для пересчета напряжения в температуру на термопарах различных типов:

Тип термопары согласно международной системе обозначений	Тип термопары согласно обозначениям принятым в странах СНГ	Тип термопары в ф-ции АСTest
S	Платина-Родий(10%) – Платина	1
R	Платина-Родий(13%) – Платина	2
K	ТХА	3
N	ТНН	4
B	Платина-Родий – Платина-Родий	5
J	Железо – Константан	6
T	Медь – Константан	7
E	Хромель – Константан	8
L	Хромель – Капель	9
A-1	ТВР	10
A-2	ТВР	11
A-3	ТВР	12
M	Медь – Капель	13

Напряжение, подаваемое на АЦП, есть: $E_2 = A_1 * E_1 + A_0$, где E_1 – термоЭДС термопары, A_0 – сдвиг напряжения усилителем, A_1 – коэффициент усиления.

В функции термоЭДС термопары E_1 берется в милливольтках.

Функция пересчитывает напряжение, подаваемое на АЦП с усилителя в исходное напряжение, получаемое с термопары. Для этого задаются коэффициенты усиления A_1 и сдвига усилителя A_0 .

В функции при значениях ТЭДС больше максимального, указанного в ГОСТе температура вычисляется по формуле максимального диапазона. Температуры не будут соответствовать истинным значениям, но при небольших превышениях погрешность не очень велика.

Аналогично, при значениях ТЭДС меньше минимального.

Правильные значения выдаются только в диапазонах, приведенных в ГОСТ.

Тип терморезистора задается числом из таблицы.

Температура вычисляется, согласно ГОСТ Р 8.585 – 2001.

1.5.13. Функция пересчета сопротивлений термометров в температуру

Функция предназначена для пересчета в температуру сопротивлений на термометрах-сопротивлениях различных типов:

Тип термометра-сопротивления		Тип термометра-сопротивления в функции АСTest
Платина Альфа = 0,00385		1
Платина Альфа = 0,00391		2
Медь Альфа = 0,00428		3
Никель Альфа = 0,00617		4

R_t – сопротивление при температуре t , Ом;

R_0 сопротивление при температуре 0 °.

• Платиновые термометры-сопротивления

Температура приближенно:

$$t = \sum_{i=1}^4 D_i (R_t / R_0 - 1)^i \quad \text{для } R_t/R_0 < 0 \text{ (} t < 0 \text{ °C)}$$

$$t = \frac{\sqrt{A^2 - 4B(R_t / R_0 - 1)} - A}{2B} \quad \text{для } R_t/R_0 \geq 0 \text{ (} t \geq 0 \text{ °C)}$$

Постоянная	$\alpha = 0, 00385$	$\alpha = 0, 00391$
A	3.9083E-3	3.9690E-3
B	-5.775E-7	-5.841E-7
D1	255.819°C	251.903°C
D2	9.14550°C	8.80035°C
D3	-2.92363°C	-2.91506°C
D4	1.79090°C	1.67611°C

• Медные термометры-сопротивления

Температура приближенно:

$$t = (R_t/R_0 - 1)/A \quad \text{при } 0 < t < 200 \text{ °C};$$

где $A = 4.28E-3$ °C

$$t = \sum_{i=1}^4 D_i (R_t / R_0 - 1)^i \quad \text{при } -180 < t < 0 \text{ °C},$$

где $D1 = 233.87$ °C, $D2 = -2.0062$ °C, $D3 = 7.9370$ °C, $D4 = -0.3953$ °C.

• Никелевые термометры-сопротивления

Температура приближенно:

$$t = \frac{\sqrt{A^2 - 4B(R_t / R_0 - 1)} - A}{2B} \quad \text{при } -60 < t < 100 \text{ °C};$$

$$t = 100 + \sum_{i=1}^3 D_i (R_t / R_0 - 1.6172)^i \quad \text{при } 100 < t < 180 \text{ °C};$$

где постоянные:

<i>A</i>	<i>5.4963E-3,</i>
<i>B</i>	<i>6.7556E-7</i>
<i>D1</i>	<i>144.096</i>
<i>D2</i>	<i>-25.502</i>
<i>D3</i>	<i>4.4876</i>

1.6. Математические функции двух аргументов

На входе: аргументы $X1$ и $X2$ – массивы сигналов, полученных за макрокадр, и a_i – Коэффициенты:

На выходе – массив результата.

1.6.1. Произведение

Вычисляет поэлементное произведение данных, полученных по 2-м каналам:

$$Y = a_1 \cdot X1 \cdot X2 + a_0.$$

Аргументы – каналы, по которым считается произведение.

На выходе – массив результата.

1.6.2. Сложение

Вычисляет поэлементную сумму данных, полученных по 2-м каналам:

$$Y = a_1 \cdot X1 + a_2 \cdot X2 + a_0.$$

Аргументы – каналы, по которым считается сумма.

На выходе – массив результата.

1.6.3. Среднее трех величин

Иногда бывает нужно произвести сложение более двух величин. Это нетрудно сделать, последовательно применяя функцию сложения. Для случая трех величин реализована функция сложения трех величин:

$$Y = a_1 \cdot X1 + a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot X3 + a_0.$$

При $a_1 = a_2 = a_3 = 1/3$ и $a_0 = 0$ результат будет равен среднему значению по трем каналам. Поэтому функция названа «Среднее трех величин».

На выходе – массив результата.

1.6.4. Деление

Вычисляет поэлементное отношение данных, полученных по 2-м каналам:

$$Y = a_1 \cdot X1/X2 + a_0.$$

Аргументы – каналы, по которым считается отношение данных.

Ограничение: не должно быть нулевых данных в знаменателе.

На выходе – массив результата.

1.6.5. Векторное сложение

Вычисляет корень квадратный из поэлементной суммы квадратов данных, полученных по 2-м каналам:

$$Y = \sqrt{X1^2 + X2^2}.$$

Аргументы – каналы, по которым считается корень квадратный из суммы квадратов данных.

На выходе – массив результата.

1.6.6. Логарифм

Вычисляет логарифм отношения данных, полученных по 2-м каналам:

$$Y = a_1 \cdot \lg(X1/X2) + a_0.$$

Аргументы – каналы, по которым считается логарифм отношения данных.

Ограничение: не должно быть нулевых данных и под знаком логарифма должны быть только положительные величины.

На выходе – массив результата.

1.6.7. Арифметические действия над каналом – массивом и каналом – числом

В некоторых случаях необходимо в качестве одного из аргументов использовать расчетный канал, возвращающий число, например, для удаления среднего из каждого элемента массива исходных данных (такая функция есть отдельно).

Для это созданы функции:

- Деление канала массива на канал число

$Y_i = X_i/F$ – где X – канал массив, F – канал число;

- Сложение канала массива и канала числа

$Y_i = a * X_i + b * F + c$ – где X – канал массив, F – канал число, a , b и c – коэффициенты;

- Умножение канала массива на канал число

$Y_i = a * X_i * F + b$ – где X – канал массив, F – канал число, a и b – коэффициенты;

На выходе - массив результата.

1.6.8. Время запаздывания второго канала относительно первого

Вычисляет запаздывание между переходами по двум каналам. На каждом канале находится переход через задаваемое значение (порог) в заданном направлении.

Результат выводится в секундах, миллисекундах или микросекундах в зависимости от задаваемого коэффициента.

Результат выводится в секундах, миллисекундах или микросекундах в зависимости от задаваемого коэффициента.

На выходе – число-результат.

1.6.9. Скорость по запаздыванию

По запаздывание между переходами по двум каналам вычисляет скорость. На каждом канале задается переход через задаваемое значение (порог) в заданном направлении.

Датчики, по которым приходят данные, разнесены на заданное расстояние (вводимое оператором) вычисляется скорость как отношение расстояния между датчиками к времени запаздывания.

На выходе – число-результат.

1.7. Функции обработки массивов данных

На входе: аргумент X – массив сигнала, полученного за макрокадр, и a_i – коэффициенты.

На выходе – массив результата или число-результат.

1.7.1. Интегрирование

Вычисляет интеграл (первообразную) исходных данных:

$$Y(t) = \int_{t_0}^t X(t) dt .$$

На входе: аргумент X – массив сигнала, t_0 – начальный момент времени, t – текущее значение времени.

С учётом того, что входные данные дискретные, значение интеграла вычисляется по методу прямоугольников:

$$Y_i = \sum_{k=0}^i X_k \cdot \Delta t .$$

Здесь Δt – шаг по времени (период дискретизации исходного сигнала), i – текущий номер элемента массива результата.

На выходе – массив результата Y .

1.7.2. Интегрирование за весь эксперимент

Функция производит интегрирование за каждый макрокадр. В течении эксперимента к результатам добавляется вычисленное значение.

На выходе – число-результат.

1.7.3. Действующее значение

Вычисляет действующее значение исходных данных по формуле:

$$Y = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2 dt} .$$

На входе: аргумент X – массив сигнала и T – длительность макрокадра, за которую вычисляется действующее значение сигнала.

На выходе – число-результат.

1.7.4. Действующее за целое число периодов

Для увеличения точности предусмотрена возможность вычисления действующего значения за целое число периодов. Периоды находятся по переходам сигнала через 0 в одном направлении.

Для этого производится вычисление целого числа периодов в макрокадре и нахождение действующего значения производится только по ним.

На выходе – число-результат.

1.7.5. Действующее за целое число полупериодов

Аналогична предыдущей функции, ищется действующее значение за целое число полупериодов. Полупериоды находятся по переходам сигнала через 0 в обоих направлениях.

На выходе – число-результат.

1.7.6. Среднее за целое число полупериодов

За целое число полупериодов находится среднее значение
На выходе – число-результат.

1.7.7. Сдвиг фазы 2-х периодических сигналов

Производит расчет сдвига фазы 2-х периодических сигналов с одинаковой частотой.
Вычисляется $\text{Cos}\varphi = \frac{(X, Y)}{\|X\| \cdot \|Y\|}$, по косинусу находится модуль сдвига фазы в градусах.
На выходе – число-результат.

1.7.8. Сдвиг фазы 2-х периодических сигналов с учетом знака

Сдвиг определяется по переходам через среднее значение сигнала. Длительность периода определяется через переходы сигнала.
На выходе – число-результат.

1.7.9. Частотомер

Вычисляет частоту импульсов исходных данных. **Импульсом** называется отклонение данных на величину, превышающую U_{por} в течение времени, превышающего T_{min} . Переход через U_{por} можно выбрать по фронту или по спаду.

Аргумент – канал, по которому находится частота импульсов исходных данных.
Коэффициенты: Порог (U_{por}); Длит.импульса = T_{min} ; Фронт = $1/\text{Спад} = 0$, Макрокадр.
На выходе – число, представляющее частоту.

1.7.10. Периодомер

Вычисляет периоды импульсов исходных данных аналогично частотомеру.
На выходе число – период.

1.7.11. Дифференцирование

Вычисляет производную исходных данных $Y = \frac{\partial X}{\partial t}$. Для имеющегося дискретного случая вычисляется отношение разности значений точек сигнала к шагу по времени.

1.7.11.1. Дифференцирование по 2 точкам

Для случая дифференцирование 2 точкам вычисляется отношение разности соседних значений сигнала к интервалу времени между ними:

$$Y_i = \frac{X_{i+1} - X_i}{\Delta t}.$$

На выходе – массив результатов.

1.7.11.2. Дифференцирование по 3 точкам

Вычисляется отношение разности значений сигнала после и до момента, в котором ищется производная, к удвоенному интервалу времени между ними (дифференцирование по 3 точкам):

$$Y_i = \frac{X_{i+1} - X_{i-1}}{2h}.$$

Здесь h – шаг по времени (период дискретизации исходного сигнала), i – текущий номер элемента массива результата.

Используемая формула эквивалентна вычислению производной данных, линейно сглаженных по 3-м точкам: (X_{i-1}, Y_{i-1}) , (X_i, Y_i) и (X_{i+1}, Y_{i+1}) .

На выходе – массив результатов.

1.7.11.3. Дифференцирование по 5 точкам

Производится дифференцирование по 5 точкам в соответствии с формулой:

$$Y_i = \frac{1}{h} \left[\frac{2}{3} (X_{i+1} - X_{i-1}) - \frac{1}{12} (X_{i+2} - X_{i-2}) \right].$$

Здесь h – шаг по времени (период дискретизации исходного сигнала), i – текущий номер элемента массива результата.

На выходе – массив результатов.

1.7.12. Значение задаваемого номера массива

Функция возвращает значение задаваемого номера массива.

Аргумент – расчетный или измеряемый канал, коэффициент – номер элемента.

1.7.13. Функция переключения каналов

Функция возвращает значение канал с номером задаваемым управляющим каналом.

Аргументы – расчетные или измеряемые каналы, коэффициент – число каналов (не более 8).

Первый канал – управляющий. Если значение управляющего канала меньше 1 или больше заданного возвращается первый канал.

На выходе – массив результатов.

1.8. Секундомер

Вычисляет время, прошедшее с начала эксперимента в секундах. Задается начальным моментом времени t_0 и внутренним коэффициентом $ticks$ (внутренний коэффициент задавать не требуется; он используется программой для передачи данных от одного макрокадра к следующему).

На выходе – разность текущего времени и времени запуска в секундах.

1.9. Таймер

Вычисляет время, прошедшее с начала эксперимента в секундах. Время задается коэффициентом в секундах.

На выходе – 1, если текущее время больше заданного.

1.10. Модуль спектрального анализа

Эта функция использует быстрое преобразование Фурье (БПФ). Она позволяет посмотреть спектр сигнала после БПФ, то есть зависимость амплитуд частотных составляющих исходного сигнала.

На входе: аргумент – массив сигнала длиной N , полученного за макрокадр. Длительность должна быть степенью 2.

Scale определяет размерность оси ординат: 0 (по умолчанию) – шкала в исходных единицах (то есть была, например, в вольтах – осталась в вольтах); 10 – шкала в дБ с коэффициентом 10; 20 – шкала в дБ с коэффициентом 20.

Level определяет пороговое значение перевода в дБ (применяется, если **Scale** не равен 0): 0 (по умолчанию) – берётся максимум сигнала, $< \text{не } 0 >$ – берётся указанное значение.

На выходе – массив результата.

В связи с тем, что обрабатываются всегда конечные временные ряды, спектры не ограничены сверху по частоте. Для "вычислительного" подавления частот, связанных с ограниченной временной выборкой, используются различные окна (весовые функции).

1.10.1. Быстрое преобразование Фурье, прямоугольное окно

Фактически означает, что обрабатываются исходные (без искажений весовым окном) данные за ограниченный интервал времени (время сбора). При этом для коротких реализаций спектр будет несколько отличаться от исходного (гипотетически – за бесконечное время наблюдения).

1.10.2. Окно Хеннинга

Перед вычислением спектра к исходным данным применяется окно Хеннинга:

$$w(i) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos\left(\frac{\pi i}{m}\right) \right).$$

Здесь $i = 0 \div m$, где m – количество значений исходных данных.

1.10.3. Окно Хемминга

Перед вычислением спектра к исходным данным применяется окно Хемминга:

$$w(i) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{\pi i}{m}\right).$$

Здесь $i = 0 \div m$, где m – количество значений исходных данных.

1.10.4. Окно Парзена

Перед вычислением спектра к исходным данным применяется окно Парзена:

$$w(i) = 1 - 6 \cdot (j/p)^2 + 6 \cdot (j/p)^3 \quad \text{при } I < m/2$$

$$\text{и } w(i) = 2 \cdot \left(1 - \frac{i}{m}\right)^3 \quad \text{при } I > m/2.$$

Здесь $i = 0 \div m$, где m – количество значений исходных данных.

1.10.5. Косинусное окно

Перед вычислением спектра к исходным данным применяется косинусное окно:

$$w(i) = 1 - \cos^2\left(\frac{10\pi i}{m}\right) \quad \text{при } I \leq 0.1m \text{ или } I \geq 0.9m$$

$$\text{и } w(i) = 1 \quad \text{при } I > 0.1m \text{ и } I < 0.9m.$$

1.10.6. Частотомер на основе БПФ

В отличие от функции вычисления частоты при помощи счета импульсов (см. 1.7.9) в этой функции производится БПФ, а затем находится частота при которой спектр имеет максимальное значение.

При вычислении БПФ используется косинусное окно.

Максимальная и минимальная частоты задаются для того, чтобы нефизические значения не учитывались при обработке.

Если заданная максимальная частота превышает частоту Найквиста, функция автоматически будет находить максимум спектра при частоте, не превышающей ее.

1.10.7. Вычисление частоты основной гармоники по нескольким макрокадрам

Для увеличения точности вычисления частоты на основе БПФ предусмотрена возможность использовать несколько идущих подряд макрокадров.

1.10.8. Разложение по гармоникам

Очень многие сигналы (например, промышленный электрический ток) являются синусоподобными. Для оценки качества таких сигналов удобно разлагать их по частотам кратным основной гармонике.

Вычисляются веса основной гармоники, и гармоник с частотами в 2, 3, ..., N раз превосходящих основную гармонику (предусмотрена возможность использования до 40 гармоник).

На вход подается данные, канал частоты, число гармоник, по которому производится разложение (не более 40) и вид представления результата – если задается 0, выводятся веса гармоник, в противном случае – значение гармоник в процентах по отношению к основной.

1.10.9. Разложение по гармоникам с таблицей косинусов

Для увеличения скорости вычисления гармоник предусмотрена возможность предварительного расчета таблицы косинусов.

Функция аналогична предыдущей, но необходимо предварительно создать расчетный канал «Таблица косинусов» при помощи функции, описанной ниже.

1.10.10. Таблица косинусов

Таблица косинусов вычисляется по каналу частоты основной гармоники, числу гармоник и минимально возможной частоте.

Необходимо также задать обрабатываемый канал для определения частоты сбора данных.

1.11. Преобразование Гильберта

Определение:

$$v(t) = \frac{1}{\pi} \cdot V \cdot p \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(s) ds}{t - s}$$

Для любой (достаточно «хорошей») функции $u(t)$ при помощи Преобразования Гильберта можно построить комплексную функцию $w(t) = u(t) + i \cdot v(t)$.

Такую ф-цию можно записать в виде: $w(t) = A(t) \cdot \exp[i \cdot \varphi(t)]$. Здесь вещественные функции $A(t)$ и $\varphi(t)$ – соответственно огибающая и фаза. Производная фазы по времени – мгновенная частота.

Преобразование Гильберта (ПГ) есть свертка функций $u(t)$ и t .

Фурье-образ свертки есть произведение Фурье-образов.

Фурье-образ функции $1/t$ есть: $F[1/t] = -i \cdot \pi \cdot \text{sgn}(\omega)$.

Следовательно, Преобразование Гильберта записывается в виде:

$$H[u] = -i \cdot F^{-1}[\text{sgn}(\omega) \cdot F[u]]$$

При использовании ДПФ спектр вещественного сигнала симметричен относительно $N/2$.

Для $N = 2^k$ (k – целое число) можно использовать БПФ.

Имеющиеся данные можно аппроксимировать произвольным количеством функций, из которых мы выбираем «хорошие».

На входе: аргумент X – массив сигнала, полученного за макрокадр.

На выходе – массив результата.

1.11.1. Преобразование Гильберта

Производится вычисление функции $v(t)$ связанной с исходной функцией $u(t)$ при помощи ПГ:

$$\frac{1}{\pi} V.p. \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(s) ds}{s-t} = v(t)$$

$$\frac{1}{\pi} V.p. \int_{-\infty}^{\infty} \frac{v(s) ds}{s-t} = -u(t)$$

В функции реализован алгоритм вычисления ПГ через БПФ. Производится БПФ, сдвиг на 90° и обратное БПФ.

На выходе – массив результата.

1.11.2. Вычисление огибающей сигнала

Производится вычисление огибающей исходной функции $A(t) = \sqrt{u^2(t) + v^2(t)}$

1.11.3. Вычисление фазы сигнала

Производится вычисление значения фазы исходной функции $\varphi(t) = \arctan(v(t)/u(t))$

1.12. Функции цифровой фильтрации сигналов

На входе: аргумент X – массив сигнала, полученного за макрокадр.

На выходе – массив результата.

1.12.1. Сглаживание скользящим средним по 3 точкам

Функция производит сглаживание исходного сигнала скользящим средним по 3-м точкам по формуле:

$$y_i = (x_{i-1} + x_i + x_{i+1})/3$$

для точек $1 \leq i \leq N_{mkr} - 1$. При этом значение для первой точки находится по формуле $y_0 = (5x_0 + 2x_1 + x_2)/6$, для последней – по формуле $y_{N_{mkr}} = (5x_{N_{mkr}} + 2x_{N_{mkr}-1} + x_{N_{mkr}-2})/6$.

На выходе – массив результата.

1.12.2. Сглаживание скользящим средним по 5 точкам

Производит сглаживание исходного сигнала по 5 точкам по формуле:

$$y_i = (x_{i-2} + x_{i-1} + x_i + x_{i+1} + x_{i+2})/5$$

для точек $2 \leq i \leq N_{mkr} - 2$. При этом значение для крайних точек находятся по формулам:

первая точка – $y_0 = (3x_0 + 2x_1 + x_2 - x_4)/5$;

вторая точка – $y_1 = (4x_0 + 3x_1 + 2x_2 + x_3)/10$;

предпоследняя – $y_{N_{mkr}} = (x_{N_{mkr}-3} + 2x_{N_{mkr}-2} + 3x_{N_{mkr}-1} + 4x_{N_{mkr}})/10$;

последняя – $y_{N_{mkr}} = (3x_{N_{mkr}} + 2x_{N_{mkr}-1} + x_{N_{mkr}-2} - x_{N_{mkr}-4})/5$.

На выходе – массив результата.

1.12.3. Нелинейное сглаживание многочленом 3-й степени по 7-и точкам

Производит нелинейное сглаживание исходного сигнала многочленом 3-й степени по 7 точкам по формуле:

$$y_i = (7x_i + 6(x_{i+1} + x_{i-1}) + 3(x_{i-2} + x_{i+2}) - 2(x_{i+3} + x_{i-3}))/21$$

для точек $3 \leq i \leq N_{mkr} - 3$. При этом значение для крайних точек находятся по формулам:

первая точка – $y_0 = (39x_0 + 8x_1 - 4x_2 - 4x_3 + x_4 + 4x_5 - 2x_6)/42$;

вторая точка – $y_1 = (8x_0 + 19x_1 + 16x_2 + 6x_3 - 4x_4 - 7x_5 + 4x_6)/42$;

третья точка – $y_2 = (-4x_0 + 16x_1 + 19x_2 + 12x_3 + 2x_4 - 4x_5 + x_6)/42$;

$(N_{mkr} - 2)$ -я точка –

$$y_{N_{mkr}-2} = (x_{N_{mkr}-6} - 4x_{N_{mkr}-5} + 2x_{N_{mkr}-4} + 12x_{N_{mkr}-3} + 19x_{N_{mkr}-2} + 16x_{N_{mkr}-1} - 4x_{N_{mkr}-4})/42$$

$(N_{mkr} - 1)$ -я точка –

$$y_{N_{mkr}-1} = (4x_{N_{mkr}-6} - 7x_{N_{mkr}-5} - 4x_{N_{mkr}-4} + 6x_{N_{mkr}-3} + 16x_{N_{mkr}-2} + 19x_{N_{mkr}-1} + 8x_{N_{mkr}})/42$$

N_{mkr} -я точка –

$$y_{N_{mkr}} = (-2x_{N_{mkr}-6} + 4x_{N_{mkr}-5} + x_{N_{mkr}-4} - 4x_{N_{mkr}-3} - 4x_{N_{mkr}-2} + 8x_{N_{mkr}-1} + 39x_{N_{mkr}})/42$$

На выходе – массив результата.

1.12.4. Фильтрация выбросов

Производится удаление заведомо неправдоподобных значений сигнала.

Задается сигнал **X** и значения **min** и **max** меньше и больше которых сигнал быть не может.

Если значение сигнала выходит из полосы **min** ÷ **max** сигналу с отфильтрованными импульсами присваивается предыдущее значение сигнала.

Если первая точка сигнала не находится в указанной полосе, ей присваивается значение **(min + max)/2**.

1.12.5. Среднее за заданное число макрокадров

Производится вычисление среднего за задаваемое число макрокадров **N**.

В пришедшем макрокадре производится вычисление среднего значения.

Затем, пока не пройдет задаваемое число макрокадров, вычисляется среднее значение за полученные макрокадры.

Начиная с заданного числа макрокадров вычисляется по формуле:

$$Y_{нов.} = (Y_{пред.} * (N-1) + X)/N$$

Здесь **X** – среднее значение за текущий макрокадр

Y_{пред.} – предыдущее вычисленное значение

Y_{нов.} – новое вычисленное значение

N – число макрокадров, за которое производится измерение.

Любой фильтр не только производит фильтрацию шума с заданными частотами, но и смещает и искажает сам сигнал.

Для уменьшения искажений используются исследованные и описанные в литературе фильтры.

Для компенсации задержки фильтром используется фильтрация одинаковым фильтром с одинаковыми параметрами (частотой среза и порядком) в двух направлениях – вперед и назад. При этом при фильтрации в каждую сторону происходит сдвиг сигнала на одинаковую (приблизительно) величину.

Сигнал искажается также около границы выборки.

При этом при фильтрации в реальном масштабе времени (порциями по одному макрокадру) в расчетном канале появляются выбросы в районах границ между макрокадрами. При обработке в послесекансе таких выбросов нет.

Чтобы избавиться от паразитных выбросов предусмотрена возможность фильтрации с предварительной буферизацией.

1.12.6. Фильтр Баттерворта (ФНЧ)

Производит сглаживание исходного сигнала фильтром низкой частоты Баттерворта.

Задаются: F_{sr} – частота среза (максимальная частота) и ORD – порядок фильтра. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

На выходе – массив результата.

1.12.7. Фильтр Баттерворта (ФНЧ) двухпроходный

Производит сглаживание исходного сигнала фильтром низкой частоты Баттерворта, сперва. Процедура повторяется два раза: вначале преобразуется исходный сигнал преобразуется в промежуточный в прямом (от начала данных к концу) направлении фильтрации, затем – промежуточный сигнал преобразуется в конечный в обратном (от конца данных к началу) направлении фильтрации. Сдвиг при этом сигнала фильтром компенсируется.

Задаются: F_{sr} – частота среза (максимальная частота) и ORD – порядок фильтра. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

На выходе – массив результата.

1.12.8. Фильтр Баттерворта (ФНЧ) с буферизацией

Производит сглаживание исходного сигнала фильтром низкой частоты Баттерворта.

Задаются: F_{sr} – частота среза (максимальная частота) и ORD – порядок фильтра. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

Фильтр (любой) искажает сигнал около границы, особенно если за время макрокадра меняется среднее значение сигнала. Для уменьшения искажения в этой функции берется 2 макрокадра – предыдущий и текущий. Производится фильтрация буфера и возвращается отфильтрованный макрокадр.

На выходе – массив результата.

1.12.9. Фильтр Баттерворта (ФНЧ) двухпроходный с буферизацией

Производит сглаживание исходного сигнала фильтром низкой частоты Баттерворта, сперва. Процедура повторяется два раза: вначале преобразуется исходный сигнал в промежуточный в прямом (от начала данных к концу) направлении фильтрации, затем – промежуточный сигнал преобразуется в конечный в обратном (от конца данных к началу) направлении фильтрации. При этом сдвиг сигнала фильтром компенсируется.

Как и в предыдущей функции для уменьшения краевых эффектов при фильтрации данные буферизуются, фильтруются в прямом и обратном направлениях.

При реализации алгоритма происходит сдвиг отфильтрованного сигнала на один макрокадр, т.к. используется буфер из 3 последовательных макрокадров, возвращается 2 макрокадра.

Задаются: F_{sr} – частота среза (максимальная частота) и ORD – порядок фильтра. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

На выходе – массив результата.

1.12.10. Медианная фильтрация

Производит сглаживание исходного сигнала медианным фильтром. Медианный фильтр аналогичен фильтрам скользящего среднего, но вместо среднего находится медианное значение участка сигнала.

Реализованы три варианта медианных фильтров:

- Медианный фильтр по 3-м значениям

Из входного массива выбираются три значения подряд. В полученной тройке значений ищется медиана – для трех чисел это, которое останется, если отбросить наибольшее и наименьшее значения (или одно из таких значений, если 2 числа совпадают).

Число элементов выходного массива равно числу элементов входного. Когда N – номер первого (или последнего) элемента входного массива, медиана считается по первым (или последним) трём элементам.

Функция хорошо удаляет одиночные выбросы.

- Медианный фильтр по 5-м значениям

Из входного массива выбираются пять значений подряд. Массивы из пятерок сортируются в порядке возрастания. Значение медианного фильтра – третий элемент, т.е. два больше и два – меньше.

Хорошо удаляет выбросы длиной до 2 значений.

- Медианный фильтр по N -м значениям

Из входного массива выбираются N значений подряд. Получающиеся массивы размерности N сортируются в порядке возрастания. Значение медианного фильтра – элемент массива с номером $N/2$.

В функции медианного фильтра по N значениям число N вводится пользователем. Если пользователь ввёл дробное число, оно округляется в меньшую сторону. Если пользователь ввёл чётное число, оно уменьшается на 1. Так же число N не может быть меньше 3-х и больше количества элементов в исходном массиве.

1.12.11. Алгоритм подтверждения голосованием

Алгоритм подтверждения голосованием (АПГ) применяется для устранения нефизических данных, связанных с помехами и шумами. В районе помехи последовательные значения могут сильно отличаться друг от друга.

Вновь получаемое значение либо принимается, либо нет. Если значение не принимается, вместо него используется предыдущее значение.

Принимаются (считаются достоверными) только данные, удовлетворяющие следующим условиям.

Задается допуск существенности - ДС.

Берется предыдущее достоверное значение (ПДЗ).

Если текущее значение (ТЗ) отличается от него не более чем на допуск существенности ($|ТЗ-ПДЗ| < ДС$), то это значение принимается и становится новым достоверным значением (НДЗ).

Если нет – начинается процедура голосования

На интервале голосования (ИГ), начинающимся с ТЗ проверяется, что входные значения отличаются от ТЗ не более, чем на ДС не менее чем задаваемого числа раз подряд (ЧП) или задаваемого числа раз НЕ подряд (ЧН).

В этом случае подтверждения ТЗ становится новым достоверным значением (ДЗ).

В противном случае ТЗ заменяется на ПДЗ.

Для дополнительной фильтрации сбоев производится проверка на достоверность данных – последовательные значения должны отличаться на величину, не превышающую допуск достоверности (ДД), в противном случае точка не участвует в голосовании.

Далее процедура повторяется.
По умолчанию ИГ – 5, ЧН – 4, ЧП – 3.

1.12.12. Полином 3 степени с последующим АПГ

Функция аналогична предыдущей, но перед применением АПГ из исходных данных вначале строится полином третьей степени с заданными коэффициентами.

1.13. Вычисление спектра виброхарактеристик по виброускорению

Входной сигнал **X** – виброускорение.

1.13.1. Вычисление спектра виброскорости по виброускорению

Для вычисления спектра виброскорости вычисляется спектр виброускорения и делится на частоту:

$$S_V(\omega) = S_A(\omega)/\omega.$$

На график выводится спектр.

Выходной сигнал **Y** – спектр виброскорости.

В случае если виброскорость требуется найти в системе единиц, отличающуюся от системы единиц, в которых измеряется ускорение результат необходимо домножить на корректирующий коэффициент. Например, если ускорение в м/с^2 , а скорость в мм/с , результат расчета необходимо умножить на 1000.

1.13.2. Вычисление спектра вибросмещения по виброускорению

Для вычисления спектра виброскорости вычисляется спектр виброускорения и делится на квадрат частоты:

$$S_S(\omega) = S_A(\omega)/\omega^2.$$

На график выводится спектр.

Выходной сигнал **Y** – спектр вибросмещения.

Аналогично предыдущему случаю необходимо домножить на корректирующий коэффициент. Например, если ускорение в г (9.81 м/с^2), а смещение в мм , результат расчета необходимо умножить на 101,9 ($1000/9.81$).

1.13.3. Вычисление спектра виброускорения по виброускорению

Вычисляется спектр виброускорения.

На график выводится спектр.

Выходной сигнал **Y** – спектр виброускорения.

1.14. Вычисление спектра виброхарактеристик по виброскорости.

Входной сигнал **X** – виброскорость.

1.14.1. Вычисление спектра виброскорости по виброскорости

Вычисляется спектр виброскорости.

На график выводится спектр.

Выходной сигнал **Y** – спектр виброскорости.

1.14.2. Вычисление спектра вибросмещения по виброскорости

Для вычисления спектра вибросмещения вычисляется спектр виброскорости и делится частоту:

$$S_S(\omega) = S_V(\omega)/\omega.$$

На график выводится спектр.

Выходной сигнал Y – спектр вибросмещения.

Аналогично предыдущему случаю необходимо домножить на корректирующий коэффициент. Например, если ускорение в g (9.81 м/с^2), а скорость в мм/с^2 , результат расчета необходимо умножить на 101,9 ($1000/9.81$).

1.14.3. Вычисление спектра виброускорения по виброскорости

Для вычисления спектра виброускорения вычисляется спектр виброскорости и умножается на частоту:

$$S_A(\omega) = S_V(\omega) \cdot \omega.$$

На график выводится спектр.

Выходной сигнал Y – спектр вибросмещения.

Необходимо ввести корректирующий коэффициент.

1.15. Вычисление спектра виброхарактеристик по вибросмещению.

Входной сигнал X – вибросмещение.

1.15.1. Вычисление спектра виброскорости по вибросмещению

Для вычисления спектра виброскорости вычисляется спектр вибросмещения и умножается на частоту:

$$S_V(\omega) = S_S(\omega) \cdot \omega.$$

На график выводится спектр.

Выходной сигнал Y – спектр вибросмещения.

Необходимо ввести корректирующий коэффициент.

1.15.2. Вычисление спектра вибросмещения по виброускорению

Вычисляется спектр вибросмещения.

На график выводится спектр.

Выходной сигнал Y – спектр вибросмещения.

1.15.3. Вычисление спектра виброускорения по виброускорению

Для вычисления спектра виброускорения вычисляется спектр вибросмещения и умножается на квадрат частоты:

$$S_S(\omega) = S_V(\omega) \cdot \omega^2.$$

На график выводится спектр.

Выходной сигнал Y – спектр вибросмещения.

Необходимо ввести корректирующий коэффициент.

Более подробно виброанализ описан в главе V.

1.16. Функции триггерной математики

Функции триггерной математики в реальном времени возвращают 1, если по заданным каналам приходят определенные значения, и 0 в противном случае.

1.16.1. Сравнение 1 по 2 порогам (запуск, удержание и останов)

Данная функция производит сравнение значений по одному каналу с уровнями **"Порог пуска"** и **"Порог останова"**.

Канал (измеряемый или расчетный) выбирается в блоке **"Аргументы"**.

Сначала функция возвращает 0.

При превышении сигналом **"Порога пуска"** функция возвращает 1, а при уменьшении сигнала ниже **"Порога останова"**, начинает возвращать 0 через промежуток времени **"Время удержания выходного сигнала, в сек"**.

Значение поля **"Время удержания, в сек"** – представляет собой минимальное время, в течение которого сигнал должен продержаться выше/ниже заданного уровня (**"Порога"**). Данное условие является защитой от ложных срабатываний. Кратковременные – на время, меньшее **"Время удержания, в сек"** – превышения/падения уровня сигнала выше/ниже заданного порога рассматриваются как помехи и не рассматриваются.

В поле **"1-положительный переход"** устанавливается режим превышения порогов. Если **"положительный переход"** равен 1, то установлено превышение значения **"Порог пуска"** по фронту, а уменьшение значения **"Порог останова"** – по спаду. Если **"положительный переход"** не равен 1, то установлено превышение значения **"Порог пуска"** по спаду, а уменьшение значения **"Порог останова"** – по фронту.

1.16.2. Сравнение 1 на превышение уровня (только запуск)

Данная функция производит сравнение значений по одному каналу с уровнем **"Порог"**.

Канал (измеряемый или расчетный) выбирается в блоке **"Аргументы"**.

Сначала функция возвращает 0.

При превышении сигналом **"Порога"** функция возвращает 1, а при уменьшении сигнала ниже **"Порога"**, начинает возвращать 0.

Значение поля **"Время удержания, в сек"** – представляет собой минимальное время, в течение которого сигнал должен продержаться выше/ниже заданного уровня (**"Порога"**). Данное условие является защитой от ложных срабатываний. Кратковременные – на время, меньшее **"Время удержания, в сек"** – превышения/падения уровня сигнала выше/ниже заданного порога рассматриваются как помехи и не рассматриваются.

В поле **"1-положительный переход"** устанавливается режим превышения порога. Если **"положительный переход"** равен 1, то установлено превышение значения **"Порог"** по фронту, а уменьшение значения **"Порог"** – по спаду. Если **"положительный переход"** не равен 1, то установлено превышение значения **"Порог"** по спаду, а уменьшение значения **"Порог"** – по фронту.

1.16.3. Сравнение по И (запуск и останов)

Данная функция производит сравнение значений по двум каналам с уровнями **"Порог 1"** и **"Порог 2"**.

Каналы (измеряемые или расчетные) выбираются в блоке **"Аргументы"**.

Сначала функция возвращает 0.

Функция возвращает 1 при одновременном превышении первым сигналом значения **"Порог 1"** и вторым сигналом значения **"Порог 2"**.

Значение полей **"Время удержания 1/2, в сек"** – представляют собой минимальные времена, в течение которых сигналы должен продержаться выше/ниже заданных уровней (**"Порогов"**). Данное условие является защитой от ложных срабатываний. Кратковременные – на время, меньшее **"Время удержания 1/2, в сек"** – превышения/падения уровня сигнала выше/ниже заданного порога рассматриваются как помехи и не рассматриваются.

1.16.4. Сравнение по ИЛИ (запуск и останов)

Данная функция производит сравнение значений по двум каналам с уровнями "Порог 1" и "Порог 2".

Каналы (измеряемые или расчетные) выбираются в блоке **"Аргументы"**.

Сначала функция возвращает 0.

Функция возвращает 1 при превышении хотя бы одним из сигналов заданных значений (для первого сигнала – **"Порог 1"**, второго сигнала – **"Порог 2"**).

Значение полей **"Время удержания 1/2, в сек"** – представляют собой минимальные времена, в течение которых сигналы должен продержаться выше/ниже заданных уровней (**"Порогов"**). Данное условие является защитой от ложных срабатываний. Кратковременные – на время, меньшее **"Время удержания 1/2, в сек"** – превышения/падения уровня сигнала выше/ниже заданного порога рассматриваются как помехи и не рассматриваются.

1.16.5. Сравнение 16 аргументов по И

В данной функции производится сравнение по большому числу каналов (до 16) на превышение/падение выше/ниже заданных значений.

Задаются используемые каналы, **"Число каналов"**, **"СОЕФФхА"** – значение порога, которое необходимо превысить и **"СОЕФФхВ"** – значение порога, ниже которого должно упасть значение сигнала.

Функция возвращает значение 1, если значения сигналов находится между заданными порогами по всем используемым каналам.

1.16.6. Сравнение 16 аргументов по ИЛИ

Функция аналогична предыдущей, но возвращает значение 1, если значение хотя бы одного из сигналов находится между заданными порогами.

1.16.7. Логическая инверсия

Производит инверсию данных 1 заменяет на 0, а не 1 на 1.

На выходе – массив результата

1.16.8. Логическое И

Складывает логически два канала. Т.е если хоть один из каналов 1 – результат 1, если нет – 0.

На выходе – массив результата

1.16.9. Логическое ИЛИ

Умножает два логических канала. Т.е если оба канала равны 1 – результат 1, если нет – 0.

На выходе – массив результата

1.16.10. Накопление данных по нескольким макрокадрам (буферизация)

В некоторых случаях требуются в реальном масштабе времени обрабатывать выборки, более длинные, чем макрокадр. Например, если характерное время процесса больше макрокадра.

В таких случаях можно воспользоваться функцией накопления.

Функция создает расчетный канал, состоящий из заданного количества макрокадров, следующих друг за другом.

В начале, отсутствующие значения заполняются нулями, а затем первый макрокадр удаляется, весь массив сдвигается и к нему добавляется вновь собранные данные.

В некоторых случаях не требуются все значения, поэтому предусмотрена возможность прореживания данных.

1.16.11. Обороты в минуту

Функция производит вычисление оборотов в минуту. На вращающемся объекте наносится задаваемое число меток.

Когда метка проходит мимо датчика, значение увеличивается (или уменьшается в зависимости от типа датчика). Значение, измеряемое датчиком, переходит задаваемый Порог. Измеряется число переходов Порога и вычисляется число оборотов в минуту.

Для того, чтобы отсеять помехи вводится время удержание – время в течении которого не должно быть двух переходов Порога.

Также задается минимальное число оборотов.

На выходе – число.

1.16.12. Направление и скорость вращения (по 1 каналу с 1, 2 и 3 метками)

Для определения направления и скорости вращения объекта на него наносятся одинарная, двойная и тройная метки.

При прохождении метки мимо датчика происходит импульс данных.

Скорость вращения определяется по времени между всеми переходами через порог (от 0 до б), а направление по последовательностям длинных и коротких расстояний между импульсами.

На выходе – число.

Глава II. Расчетные функции послесеансной обработки

Группа модулей послесеансной обработки данных содержит функции, предназначенные для обработки измеренных данных после окончания эксперимента и не рассчитанных на работу в реальном масштабе времени.

Эти функции позволяют создавать новые расчетные каналы. Они используются в модуле послесеансной обработке.

Функции послесеансной обработки используют, по выбору оператора, либо данные, находящиеся на экране, либо данные между основными маркерами, либо все данные выбранного канала из файла данных.

Модули рассматриваемой группы работают с данными типа **double** и имеют соответствующую точность.

2.1. Прореживание и усреднение

На входе – массив сигнала **X**, полученный за время эксперимента и **N** (количество точек за за которые производится усреднение или число раз в которое производится прореживание).

На выходе – массив результатов **Y**.

2.1.1. Прореживание

Количество точек выходного массива уменьшается в **N** раз.

Берется значения каждой первой точки в серии из **N** замеров:

$$Y(k) = X(k \cdot N), \text{ где } k = 0, \dots, \text{ количество точек обрабатываемого сигнала} / N.$$

Используется для уменьшения значения частоты дискретизации, если она превышает характерную частоту изменения входного сигнала. Используется также в случае, когда данные по разным каналам собираются с различными (кратными) частотами, а для отображения или обработки требуются данные с одной частотой сбора.

Аргумент – прореживаемый канал, Коэффициент – коэффициент прореживания **N**.

2.1.2. Усреднение

Функция, аналогичная предыдущей, за исключением того, что берется среднее значение по сериям из **N** замеров:

$$Y(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N X(k + i), \text{ где } k = 0, \dots, \text{ количество точек обрабатываемого сигнала} / N.$$

Аргумент – усредняемый канал, Коэффициент – коэффициент усреднения **N**.

2.2. Функции математической статистики

На входе **X** – массив сигнала, полученный за время эксперимента и время **T**, за которое вычисляются статистические величины.

Могут быть взяты все данные, полученные за время эксперимента, данные, выведенные на экран или данные, между основными маркерами.

На выходе массив результатов, размерность которого равна отношению длительности эксперимента и времени усреднения.

Такие функции действуют как фильтр и сдвигают данные на время усреднения.

Поэтому время, за которое вычисляются статистические данные следует выбирать как можно меньше, но время усреднения должно превосходить характерные времена изменения процесса.

2.2.1. Минимальное значение

Вычисляет минимальные значения данных за время T .
На выходе массив результатов.

2.2.2. Максимальное значение

Вычисляет максимальное значение данных за время T .
На выходе массив результатов.

2.2.3. Среднее значение

Вычисляет среднее значение данных за время T по формуле:

$$Y = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt ,$$

На выходе массив результатов.

2.2.4. Дисперсия

Дисперсия по определению $D=M(X-M(X))$, где D – дисперсия, M – математическое ожидание, X – экспериментальные данные.

Вычисляет дисперсию данных по формуле:

$$D = \frac{1}{T} \int_0^T (X(t) - \langle X \rangle)^2 dt ,$$

$$\text{здесь } \langle X \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt$$

На выходе массив результатов.

2.2.5. Среднеквадратичное отклонение за макрокадр

Вычисляет среднеквадратичное отклонение данных по формуле:

$$SKO = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (X(t) - \langle X \rangle)^2 dt} ,$$

$$\text{здесь } \langle X \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt$$

На выходе массив результатов.

2.2.6. Квантильное значение массива

Квантиль порядка p – такая величина, что из p значений массива меньше этой величины, а $(1-p)$ – больше. Порядок квантиля находится в пределах от 0 до 1 включительно.

Входной массив данных сортируются по возрастанию. Если порядок квантиля равен 0 или 1, не производя вычислений, приравниваем её наибольшему или наименьшему элементу массива соответственно. В противном случае вычисляем число элементов, которые меньше квантиля, как произведение количества элементов в массиве на порядок квантиля. Если число получилось дробное – округляем его в меньшую сторону. Квантиль приравниваем значению массива с этим номером. Если номер кванти-

ля оказался нецелым, то значение квантиля увеличиваем на произведение разности (в отсортированном массиве) элементов с номерами (целыми) больше и меньше вычисленного числа и дробной части.

Порядок квантиля задаётся пользователем. Если пользователь ввёл число больше 1 или меньше 0, оно приравняется 1 или 0 соответственно.

Квантиль 0,5 называется медианой, 0,1 – децилем и т.д.

2.3. Математические функции одного аргумента

На входе: аргумент X – массив сигнала, выведенного на экран, и a_i – коэффициенты.

На выходе – массив результата.

2.3.1. Полином 1-й степени

Вычисляет полином 1-й степени по экспериментальным данным в соответствии с формулой:

$$Y = a_1 \cdot X + a_0.$$

На выходе – массив результата.

2.3.2. Полином 2-й степени

Вычисляет полином 2-й степени по экспериментальным данным в соответствии с формулой:

$$Y = a_2 \cdot X^2 + a_1 \cdot X + a_0.$$

На выходе – массив результата.

2.3.3. Полином 3-й степени

Вычисляет полином 3-й степени по экспериментальным данным в соответствии с формулой:

$$Y = a_3 \cdot X^3 + a_2 \cdot X^2 + a_1 \cdot X + a_0.$$

На выходе – массив результата.

2.3.4. Функция десятичного логарифма

Вычисляет десятичный логарифм экспериментальных данных с коэффициентом и сдвигом по формуле:

$$Y = a_1 \cdot \lg X + a_0.$$

Ограничения: данные должны быть положительными.

На выходе – массив результата.

2.3.5. Степенная функция

Вычисляет степенную функцию экспериментальных данных по формуле:

$$Y = a_1 \cdot X^{a_0}.$$

Ограничения: при дробных значениях показателя степени данные должны быть неотрицательными.

На выходе – массив результата.

2.3.6. Пересчет в ДБ

Вычисляет значение функции десятичного логарифма по формуле:

$$Y = a \cdot \lg(X/b) + c.$$

Ограничения: данные (X/b) должны быть положительными; коэффициент b не должен быть нулевым.

На выходе – массив результата.

2.3.7. Функция пересчета напряжения термопар в температуру

Функция предназначена для пересчета напряжения в температуру на термопарах различных типов:

Тип термопары согласно международной системе обозначений	Тип термопары согласно обозначениям принятым в странах СНГ	Тип термопары в ф-ции АСTest
S	Платина-Родий(10%) – Платина	1
R	Платина-Родий(13%) – Платина	2
K	ТХА	3
N	ТНН	4
B	Платина-Родий – Платина-Родий	5
J	Железо – Константан	6
T	Медь – Константан	7
E	Хромель – Константан	8
L	Хромель – Капель	9
A-1	ТВР	10
A-2	ТВР	11
A-3	ТВР	12
M	Медь – Капель	13

Напряжение, подаваемое на АЦП, есть: $E_2 = A_1 * E_1 + A_0$, где E_1 – термоЭДС термопары, A_0 – сдвиг напряжения усилителем, A_1 – коэффициент усиления.

В функции термоЭДС термопары E_1 берется в милливольтках.

Функция пересчитывает напряжение, подаваемое на АЦП с усилителя в исходное напряжение, получаемое с термопары. Для этого задаются коэффициенты усиления A_1 и сдвига усилителя A_0 .

В функции при значениях ТЭДС больше максимального, указанного в ГОСТе температура вычисляется по формуле максимального диапазона. Температуры не будут соответствовать истинным значениям, но при небольших превышениях погрешность не очень велика.

Аналогично, при значениях ТЭДС меньше минимального.

Правильные значения выдаются только в диапазонах, приведенных в ГОСТ.

Тип термопары задается числом из таблицы.

Температура вычисляется, согласно ГОСТ Р 8.585 – 2001.

См. приложение **ГОСТ Р 8.585 – 2001**

2.4. Математические функции двух аргументов

На входе: аргументы $X1$ и $X1$ – массивы сигналов, выведенных на экран, и a_i – коэффициенты.

На выходе – массив результата.

2.4.1. Произведение

Вычисляет произведение данных, полученных по 2-м каналам, по формуле:

$$Y = a_1 \cdot X1 \cdot X2 + a_0.$$

На выходе – массив результата.

2.4.2. Сложение

Вычисляет сумму данных, полученных по 2-м каналам, по формуле:

$$Y = a_1 \cdot X1 + a_2 \cdot X2 + a_0.$$

На выходе – массив результата.

2.4.3. Деление

Вычисляет отношение данных, полученных по 2-м каналам, по формуле:

$$Y = a_1 \cdot X1 / X2 + a_0.$$

Ограничение: не должно быть нулевых данных в знаменателе.

На выходе – массив результата.

2.4.4. Векторное сложение

Вычисляет корень квадратный из суммы квадратов данных, полученных по 2-м каналам, по формуле:

$$Y = \sqrt{X1^2 + X2^2}.$$

На выходе – массив результата.

2.4.5. Логарифм

Вычисляет логарифм отношения данных, полученных по 2-м каналам, по формуле:

$$Y = a_1 \cdot \lg(X1/X2) + a_0.$$

Ограничение: не должно быть нулевых данных.

На выходе – массив результата.

2.5. Функции обработки массивов данных

На входе: аргумент X – массив сигнала, выведенного на экран, и a_i – коэффициенты.

На выходе – число-результат или массив результата.

2.5.1. Интегрирование

Вычисляет интеграл (первообразную) исходных данных:

$$Y(t) = \int_{t_0}^t X(t) dt.$$

На входе: аргумент X – массив сигнала, t_0 – начальный момент времени, t – текущее значение времени.

С учётом того, что входные данные дискретные, значение интеграла вычисляется по методу прямоугольников:

$$Y_i = \sum_{k=0}^i X_k \cdot \Delta t .$$

Здесь Δt – шаг по времени (период дискретизации исходного сигнала), i – текущий номер элемента массива результата.

На выходе – массив результата Y .

2.5.2. Действующее значение

Вычисляет действующее значение данных в каждом отрезке времени, заданном оператором. Задаваемый оператором отрезок времени T называется временем усреднения. Отрезок времени, за который вычисляется действующее значение, должен быть меньше длительности эксперимента, выведенного на экран.

Действующее значение исходных данных вычисляется по формуле:

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2 dt} .$$

На выходе – массив результата, размерность которого равна отношению длительности выведенного на экран эксперимента к времени усреднения, заданного оператором.

2.5.3. Частотомер

Вычисляет частоту импульсов исходных данных. Импульсом называется отклонение значений сигнала на величину, превышающую U_{por} в течение времени, превышающего T_{min} . Переход через U_{por} можно выбрать по фронту или по спаду.

На выходе – число-результат.

2.5.4. Периодомер

Вычисляет периоды импульсов исходных данных аналогично частотомеру.

На выходе – число-результат.

2.5.5. Квадрат сигнала

Находит квадрат сигнала по формуле:

$$Y = X^2 .$$

На выходе – массив результатов.

2.5.6. Абсолютное значение сигнала

Находит абсолютное значение сигнала из выборки по формуле:

$$Y = |X| .$$

На выходе – массив результатов.

2.5.7. Корень квадратный из модуля сигнала

Находит корень квадратный из модуля сигнала по формуле.

$$Y = \sqrt{|X|} .$$

На выходе – массив результатов.

2.5.8. Удаление постоянной составляющей

Удаляет постоянную составляющую сигнала по формуле:

$$Y = X - \frac{1}{T} \sum_0^T X.$$

На выходе – массив результатов.

2.5.9. Дифференцирование

Вычисляет производную исходных данных $Y = \frac{\partial X}{\partial t}$. Для имеющегося дискретного случая вычисляется отношение разности значений точек сигнала к шагу по времени.

2.5.9.1. Дифференцирование по 2 точкам

Для случая дифференцирование по 2 точкам вычисляется отношение разности соседних значений сигнала к интервалу времени между ними:

$$Y_i = \frac{X_{i+1} - X_i}{\Delta t}.$$

На выходе – массив результатов.

2.5.9.2. Дифференцирование по 3 точкам

Вычисляется отношение разности значений сигнала после и до момента, в котором ищется производная, к удвоенному интервалу времени между ними (дифференцирование по 3 точкам):

$$Y_i = \frac{X_{i+1} - X_{i-1}}{2h}.$$

Здесь h – шаг по времени (период дискретизации исходного сигнала), i – текущий номер элемента массива результата.

Используемая формула эквивалентна вычислению производной данных, линейно сглаженных по 3-м точкам: (X_{i-1}, Y_{i-1}) , (X_i, Y_i) и (X_{i+1}, Y_{i+1}) .

На выходе – массив результатов.

2.5.9.3. Дифференцирование по 5 точкам

Производится дифференцирование по 5 точкам в соответствии с формулой:

$$Y_i = \frac{1}{h} \left[\frac{2}{3} (X_{i+1} - X_{i-1}) - \frac{1}{12} (X_{i+2} - X_{i-2}) \right].$$

Здесь h – шаг по времени (период дискретизации исходного сигнала), i – текущий номер элемента массива результата.

На выходе – массив результатов.

2.5.10. Производная кубического сплайна

Интерполяция сплайном представляет собой вычисление коэффициентов **a**, **b** и **c** полинома третьей степени (кубического сплайна):

$$Y = aX^3 + bX^2 + cX + d.$$

При интерполяции сплайном между исходными точками данных добавляются интерполированные точки.

На входе: N точек, интерполирующих сигнал между каждой парой исходных точек.

На выходе – массив результатов; размерность массива на выходе в N раз превосходит размерность исходного массива данных.

Интерполяция исходных данных сплайном, наряду со сглаживанием, может использоваться для более точного вычисления производной этих данных. После интерполяции производная может вычисляться аналитическим дифференцированием полинома, то есть по формуле:

$$Y = 3aX^2 + bX + c.$$

2.5.11. Масштабирование

Масштабирует график сигнала. Исходный сигнал делится на максимальное по модулю значение сигнала и умножается на вводимый коэффициент. Если задан положительный коэффициент, максимальное по модулю значение сигнала равно A . Если коэффициент равен 0, график совпадет с нулевой осью. Если задан отрицательный коэффициент, максимальное по модулю значение сигнала равно A , но график инвертируется.

2.5.12. Смещение на заданную величину

Смещает ординату графика (изменяет значение данных) сигнала на заданную величину A , то есть:

$$Y = X - A,$$

где X – исходный график, Y – результирующий график.

2.5.13. Инверсия

Инвертирует график сигнала (меняет знак исходных данных) на всей оси, то есть:

$$Y = -X.$$

где X – исходный график, Y – результирующий график.

2.5.14. Автосмещение

Вычисляет среднее значение по заданному количеству точек перед первым маркером (маркер находится на точке M) и вычитает это значение из сигнала, то есть:

$$Y_i = X_i - \frac{1}{A} \sum_{k=M}^{M+A} X_k.$$

где X – исходный график, A – количество точек до первого маркера, используемое для вычисления среднего, Y – результирующий график.

Если на экране слева от первого маркера нет необходимого количества точек ($M < A$), суммируется A начальных точек сигнала.

2.5.15. Обнуление участка между заданными точками

Все значения сигнала, находящиеся между маркерами, обнуляются, независимо от того, какой маркер находится слева, а какой – справа.

2.5.16. Линейная интерполяция участка между маркерами

Осуществляет линейную интерполяцию участка графика сигнала между маркерами, независимо от того, какой маркер находится слева, а какой – справа.

2.5.17. Квадратичная интерполяция участка между маркерами

Осуществляет квадратичную интерполяцию участка графика сигнала между маркерами по методу наименьших квадратов. При вычислении коэффициентов полинома ис-

пользуются значения сигнала, расположенные слева от левого и справа от правого маркеров. Количество точек задается при обработке (по умолчанию – 10).

2.5.18. Полиномиальная интерполяция участка между маркерами

Осуществляет полиномиальную интерполяцию участка графика сигнала между маркерами по методу наименьших квадратов. При вычислении коэффициентов полинома используются значения сигнала, расположенные слева от левого и справа от правого маркеров. Количество точек задается при обработке (по умолчанию – 10). Степень полинома может быть выбрана любой, не превышающей 8 (по умолчанию – 3).

2.6. Модуль спектрального анализа

Этот модуль использует быстрое преобразование Фурье (БПФ) и содержит функции вычисления модуля амплитудного спектра и энергетического спектра. Эти функции позволяют посмотреть амплитудный или энергетический спектр сигнала после БПФ, то есть зависимость частотных составляющих исходного сигнала.

На входе: массив сигнала. Количество точек должно быть целой степенью 2.

Scale определяет размерность оси ординат: 0 (по умолчанию) – шкала в исходных единицах (то есть была, например, в вольтах – осталась в вольтах); 10 – шкала в дБ с коэффициентом 10; 20 – шкала в дБ с коэффициентом 20.

Level определяет пороговое значение перевода в дБ (применяется, если Scale не равен 0): 0 (по умолчанию) – берётся максимум сигнала, <не 0> – берётся указанное значение.

На выходе – массивы результатов спектра и частот. Для вывода спектра на параметрический график необходимо воспользоваться кнопкой «Спектр».

В связи с тем, что обрабатываются всегда конечные временные ряды, спектры не ограничены сверху по частоте. Для "вычислительного" подавления частот, связанных с ограниченной временной выборкой, используются различные окна (весовые функции).

При обработке данных в реальном времени используется прямоугольное окно.

2.6.1. Быстрое преобразование Фурье, прямоугольное окно

Фактически означает, что обрабатываются исходные (без искажений весовым окном) данные за ограниченный интервал времени (время сбора). При этом для коротких реализаций спектр будет несколько отличаться от исходного (гипотетически – за бесконечное время наблюдения).

2.6.2. Окно Хеннинга

Перед вычислением спектра к исходным данным применяется окно Хеннинга:

$$w(i) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos\left(\frac{\pi i}{m}\right) \right).$$

Здесь $i = 0 \div m$, где m – количество значений исходных данных.

2.6.3. Окно Хемминга

Перед вычислением спектра к исходным данным применяется окно Хемминга:

$$w(i) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{\pi i}{m}\right).$$

Здесь $i = 0 \div m$, где m – количество значений исходных данных.

2.6.4. Окно Парзена

Перед вычислением спектра к исходным данным применяется окно Парзена:

$$w(i) = 1 - 6 \cdot (j/p)^2 + 6 \cdot (j/p)^3 \text{ при } I < m/2$$

$$\text{и } w(i) = 2 \cdot \left(1 - \frac{i}{m}\right)^3 \text{ при } I > m/2.$$

Здесь $i = 0 \div m$, где m – количество значений исходных данных.

2.6.5. Косинусное окно

Перед вычислением спектра к исходным данным применяется косинусное окно:

$$w(i) = 1 - \cos^2\left(\frac{10\pi i}{m}\right) \text{ при } I \leq 0.1m \text{ или } I \geq 0.9m$$

$$\text{и } w(i) = 1 \text{ при } I > 0.1m \text{ и } I < 0.9m.$$

2.6.6. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ)

Производит ДПФ. Позволяет использовать массивы произвольной (не обязательно кратной 2) длины.

2.7. Функции цифровой фильтрации сигналов

На входе: аргумент X – массив выведенного на экран сигнала, содержащий N точек.

На выходе – массив результата.

2.7.1. Линейное сглаживание по 3-м точкам

Функция производит сглаживание исходного сигнала скользящим средним по 3-м точкам по формуле:

$$y_i = (x_{i-1} + x_i + x_{i+1})/3$$

для точек $1 \leq i \leq N_{mkr} - 1$. При этом значение для первой точки находится по формуле $y_0 = (5x_0 + 2x_1 + x_2)/6$, для последней – по формуле $y_{N_{mkr}} = (5x_{N_{mkr}} + 2x_{N_{mkr}-1} + x_{N_{mkr}-2})/6$.

На выходе – массив результата.

2.7.2. Линейное сглаживание по 5-и точкам

Производит сглаживание исходного сигнала по 5 точкам по формуле:

$$y_i = (x_{i-2} + x_{i-1} + x_i + x_{i+1} + x_{i+2})/5$$

для точек $2 \leq i \leq N_{mkr} - 2$. При этом значение для крайних точек находятся по формулам:

$$\text{первая точка} - y_0 = (3x_0 + 2x_1 + x_2 - x_4)/5;$$

$$\text{вторая точка} - y_1 = (4x_0 + 3x_1 + 2x_2 + x_3)/10;$$

$$\text{предпоследняя} - y_{N_{mkr}} = (x_{N_{mkr}-3} + 2x_{N_{mkr}-2} + 3x_{N_{mkr}-1} + 4x_{N_{mkr}})/10;$$

$$\text{последняя} - y_{N_{mkr}} = (3x_{N_{mkr}} + 2x_{N_{mkr}-1} + x_{N_{mkr}-2} - x_{N_{mkr}-4})/5.$$

На выходе – массив результата.

2.7.3. Нелинейное сглаживание многочленом 3-й степени по 7-и точкам

Производит нелинейное сглаживание исходного сигнала многочленом 3-й степени по 7 точкам по формуле:

$$y_i = (7x_i + 6(x_{i+1} + x_{i-1}) + 3(x_{i-2} + x_{i+2}) - 2(x_{i+3} + x_{i-3}))/21$$

для точек $3 \leq i \leq N_{mkr} - 3$. При этом значение для крайних точек находятся по формулам:

первая точка – $y_0 = (39x_0 + 8x_1 - 4x_2 - 4x_3 + x_4 + 4x_5 - 2x_6)/42$;

вторая точка – $y_1 = (8x_0 + 19x_1 + 16x_2 + 6x_3 - 4x_4 - 7x_5 + 4x_6)/42$;

третья точка – $y_2 = (-4x_0 + 16x_1 + 19x_2 + 12x_3 + 2x_4 - 4x_5 + x_6)/42$;

$(N_{mkr} - 2)$ -я точка –

$$y_{N_{mkr}-2} = (x_{N_{mkr}-6} - 4x_{N_{mkr}-5} + 2x_{N_{mkr}-4} + 12x_{N_{mkr}-3} + 19x_{N_{mkr}-2} + 16x_{N_{mkr}-1} - 4x_{N_{mkr}-4})/42$$

$(N_{mkr} - 1)$ -я точка –

$$y_{N_{mkr}-1} = (4x_{N_{mkr}-6} - 7x_{N_{mkr}-5} - 4x_{N_{mkr}-4} + 6x_{N_{mkr}-3} + 16x_{N_{mkr}-2} + 19x_{N_{mkr}-1} + 8x_{N_{mkr}})/42$$

N_{mkr} -я точка –

$$y_{N_{mkr}} = (-2x_{N_{mkr}-6} + 4x_{N_{mkr}-5} + x_{N_{mkr}-4} - 4x_{N_{mkr}-3} - 4x_{N_{mkr}-2} + 8x_{N_{mkr}-1} + 39x_{N_{mkr}})/42$$

На выходе – массив результата.

2.7.4. Фильтрация выбросов

Производится удаление заведомо неправдоподобных значений сигнала.

Задается сигнал **X** и значения **min** и **max** меньше и больше которых сигнал быть не может.

Если значение сигнала выходит из полосы **min** ÷ **max** сигналу с отфильтрованными импульсами присваивается предыдущее значение сигнала.

Если первая точка сигнала не находится в указанной полосе, ей присваивается значение **(min + max)/2**.

2.7.5. Фильтр Баттерворта (ФНЧ)

Производит сглаживание исходного сигнала фильтром низкой частоты Баттерворта.

Задаются: F_{sr} – частота среза (максимальная частота) и ORD – порядок фильтра. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

На выходе – массив результата.

2.7.6. Фильтр Баттерворта (ФНЧ) двухпроходный

Производит сглаживание исходного сигнала фильтром низкой частоты Баттерворта, сперва. Процедура повторяется два раза: вначале преобразуется исходный сигнал в промежуточный в прямом (от начала данных к концу) направлении фильтрации, затем – промежуточный сигнал преобразуется в конечный в обратном (от конца данных к началу) направлении фильтрации. При этом сдвиг сигнала фильтром компенсируется.

Задаются: F_{sr} – частота среза (максимальная частота) и ORD – порядок фильтра. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

На выходе – массив результата.

2.7.7. Фильтр Бесселя (ФНЧ)

Производит сглаживание исходного сигнала фильтром низкой частоты Бесселя.

Задаются: F_{sr} – частота среза (максимальная частота) и ORD – порядок фильтра. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

Фильтр Бесселя характеризуется групповой задержкой, максимально плоской в окрестностях нулевой частоты и почти постоянной в полосе пропускания.

На выходе – массив результата.

2.8. Модуль фильтрации, основанной на БПФ

На входе: аргумент X – массив сигнала, выведенного на экран.

На выходе – массив результата.

2.8.1. Фильтр низких частот на базе БПФ

Производит БПФ, фильтрует преобразованный сигнал: пропускает частотную информацию от 0 до f_s Гц и подавляет от f_s до F_d Гц, – после чего производит обратное БПФ. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

2.8.2. Фильтр высоких частот на базе БПФ

Производит БПФ, фильтрует преобразованный сигнал: подавляет частотную информацию от 0 до f_s Гц и пропускает от f_s до F_d Гц, – после чего производит обратное БПФ. Частота среза ограничена сверху частотой Найквиста, $F_d/2$, снизу – величиной, обратной длине выборки $T_{выб}$.

2.9. Интерполяции данных кубическими сплайнами

Интерполирует исходные данные сплайнами третьего порядка (кубическими сплайнами). Сплайны представляют собой кусочно-непрерывные функции, проходящие через все известные точки (узлы) и имеющие в них непрерывные производные.

В комплексе АСТест реализованы кубические сплайны: кривая, проходящая через точки с известными значениями, является полиномом третьей степени. Так как комплекс производит сбор данных с постоянной частотой дискретизации, реализован алгоритм построения кубических сплайнов для данных, отстоящих друг от друга на одинаковые промежутки времени. Количество точек N , находящихся между экспериментальными данными, задается в диалоге и одинаково на всех интерполируемых интервалах.

Помимо прочего, сплайны можно использовать для построения производной экспериментальных данных (см. 2.5.10).

Глава III. Функции расчета для межмаркерных вычислений

Группа модулей поддержки маркерных измерений, предназначенных для обеспечения межмаркерных и маркерных вычислений в модуле послесканной обработки. Модули этой группы работают с данными типа `double` и имеют соответствующую точность.

3.1. Функции для вывода информации о межмаркерных измерениях

На входе – значение сигнала X между маркерами $K1$ и $K2$.

На выходе – число результат.

3.1.1. Среднее значение

Вычисляет среднее арифметическое значение данных на отрезке, заданном маркерами (курсорами):

$$\langle X \rangle = \frac{1}{K2 - K1} \sum_{i=K1}^{K2} X_i.$$

На выходе – число-результат.

3.1.2. Максимальное значение

Вычисляет максимальное значение данных на отрезке времени между маркерами (курсорами).

На выходе – число-результат.

3.1.3. Минимальное значение

Вычисляет минимальное значение данных на отрезке времени между маркерами (курсорами).

На выходе – число-результат.

3.1.4. Количество точек сбора

Вычисляет количество точек между маркерами (курсорами).

На выходе – число-результат.

3.1.5. Частота опроса

Показывает частоту опроса аргумента.

3.1.6. Дисперсия

Вычисляет дисперсию полученных в эксперименте данных по формуле:

$$y = \frac{1}{K2 - K1} \sum_{i=K1}^{K2} (X_i - \langle X \rangle)^2.$$

3.1.7. Среднеквадратическое отклонение

Вычисляет среднеквадратическое отклонение полученных в эксперименте данных по формуле:

$$SKO = \sqrt{\frac{1}{K2 - K1} \sum_{i=K1}^{K2} (x_i - \langle X \rangle)^2}.$$

3.1.8. Интеграл

Вычисляет определенный интеграл сигнала на интервале между маркерами по формуле:

$$I = \int_{t_2}^{t_1} X(t) dt,$$

где t_1 и t_2 – абсциссы положения маркеров (курсоров).

3.1.9. Размах

Вычисляет разницу между максимальным и минимальным значением сигнала между маркерами.

3.1.10. Амплитуда

Вычисляет половину размаха сигнала между маркерами.

3.1.11. Средневыпрямленное значение

Вычисляется, как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период, ограниченный маркерами:

$$X_{\text{ср.в.}} = \frac{1}{K_2 - K_1} \sum_{i=K_1}^{K_2} |x_i|.$$

3.1.12. Действующее (среднеквадратическое) значение

Вычисляется квадратный корень из среднего квадрата его мгновенного значения за период, ограниченный маркерами:

$$X_d = \sqrt{\frac{1}{K_2 - K_1} \sum_{i=K_1}^{K_2} x_i^2}.$$

3.1.13. Коэффициент формы

Коэффициент формы есть отношение действующего значения к средневыпрямленному:

$$K_f = X_d / X_{\text{ср.в.}}$$

Коэффициент вычисляется для значений между маркерами.

3.1.14. Коэффициент амплитуды

Коэффициент амплитуды есть отношение амплитуды к действующему значению:

$$K_a = X_m / X_d.$$

Коэффициент вычисляется для значений между маркерами.

Глава IV. Аналитические функции

Группа модулей, сформированных из функций, предназначенных для построения теоретических зависимостей в модуле послесеансной обработки. Аналитические функции можно использовать как эталонные сигналы.

Данный модуль работает с данными типа **double**.

4.1. Функции для построения графиков теоретических зависимостей

На входе: **X** – значение времени на экране.

На выходе – график.

4.1.1. Полином первой степени

Вычисляет значение полинома первой степени по формуле:

$$Y = a_1 \cdot X + a_0.$$

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

a₁ – коэффициент при аргументе в 1-й степени;

a₀ – свободный коэффициент.

4.1.2. Полином второй степени

Вычисляет значение полинома второй степени по формуле:

$$Y = a_2 \cdot X^2 + a_1 \cdot X + a_0.$$

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

a₁ – коэффициент при аргументе в 1-й степени;

a₂ – коэффициент при аргументе во 2-й степени;

a₀ – свободный коэффициент.

4.1.3. Полином третьей степени

Вычисляет значение полинома третьей степени по формуле:

$$Y = \sum_{n=0}^3 a_n * X^n$$

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

a_n – коэффициент при аргументе в n-й степени, где n = 0, ..., 3;

a₀ – свободный коэффициент.

4.1.4. Полином четвертой степени

Вычисляет значение полинома четвертой степени по формуле:

$$Y = \sum_{n=0}^4 a_n * X^n$$

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

a_n – коэффициент при аргументе в n-й степени, где n = 0, ..., 4;

a₀ – свободный коэффициент.

4.1.5. Полином пятой степени

Вычисляет значение полинома пятой степени по формуле:

$$Y = \sum_{n=0}^5 a_n * X^n$$

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

a_n – коэффициент при аргументе в n-й степени, где n = 0, ..., 5;

a₀ – свободный коэффициент.

4.1.6. Полином шестой степени

Вычисляет значение полинома шестой степени по формуле:

$$Y = \sum_{n=0}^6 a_n * X^n$$

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

a_n – коэффициент при аргументе в n-й степени, где n = 0, ..., 6;

a₀ – свободный коэффициент.

4.1.7. Полином седьмой степени

Вычисляет значение полинома седьмой степени по формуле:

$$Y = \sum_{n=0}^7 a_n * X^n$$

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

a_n – коэффициент при аргументе в n-й степени, где n = 0, ..., 7;

a₀ – свободный коэффициент.

4.1.8. Полином восьмой степени

Вычисляет значение полинома восьмой степени по формуле:

$$Y = \sum_{n=0}^8 a_n * X^n$$

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

a_n – коэффициент при аргументе в n-й степени, где n = 0, ..., 8;

a₀ – свободный коэффициент.

4.1.9. Прямоугольные импульсы

Функция строит сигнал в виде прямоугольных импульсов.

ВХОД:

X – массив аргументов или число-аргумент.

Коэффициенты:

t_0 – начальный момент времени;

T – длительность реализации;

f – частота дискретизации;

P – период импульсов;

s – скважность импульсов; $s = P/T$;

a_1 – максимальное значение;

a_0 – минимальное значение.

4.1.10. Синус

Вычисляет значение синуса $Y = \text{Sin}(\omega \cdot t + \phi)$, где:

A – амплитуда;

ω – частота (рад./сек);

ϕ – фаза (сдвиг по фазе в радианах).

4.1.11. Гипербола

Вычисляет значение гиперболической функции $Y = a_1/X + a_0$, где:

a_1 – коэффициент при $1/X$;

a_0 – свободный коэффициент.

4.1.12. Функция десятичного логарифма

Вычисляет значение функции десятичного алгоритма $Y = a_1 \cdot \lg X + a_0$, где:

a_1 – коэффициент при $\lg X$;

a_0 – свободный коэффициент.

4.1.13. Степенная функция

Вычисляет значение степенной функции $Y = a_1 \cdot X^{a_0}$, где:

a_1 – коэффициент при X^{a_0} ;

a_0 – степень X .

Глава V. Анализ виброхарактеристик

С датчиков можно получать следующие виброхарактеристики:

$a(t)$ – ускорение;

$v(t)$ – скорость;

$s(t)$ – смещение.

Эти характеристики не являются независимыми, т.к. связаны соотношениями:

$$v(t) = \dot{s}(t),$$

$$a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t).$$

Получив виброхарактеристику одного типа, можно вычислить остальные.

Пример 1

С датчиков вибрации (виброасельрометров) получают значение ускорения. Для вычисления скорости необходимо проинтегрировать ускорение по времени:

$$v(t) = \int_0^t a(t') dt'.$$

Для вычисления смещения необходимо проинтегрировать по времени скорость или дважды проинтегрировать ускорение:

$$s(t) = \int_0^t v(t') dt' = \int_0^t \int_0^{t'} a(t'') dt'' dt'.$$

Пример 2

С датчиков скорости получают значение скорости. Для вычисления ускорения необходимо продифференцировать скорость по времени:

$$a(t) = \dot{v}(t).$$

Для вычисления смещения необходимо проинтегрировать по времени скорость:

$$s(t) = \int_0^t v(t') dt'.$$

Пример 3

С датчиков положения получают значения положения s . Для вычисления скорости необходимо продифференцировать значения положения по времени:

$$v(t) = \dot{s}(t).$$

Для вычисления ускорения необходимо дважды продифференцировать значения положения по времени:

$$a(t) = \ddot{s}(t).$$

Для данных вибрации нагляднее использовать не сами величины ускорения, скорости или перемещения, а их спектры. В этом случае интегрирование по времени эквивалентно делению спектра на частоту (ω – рад./с). То есть, между спектрами ускорения $S_a(\omega)$, скорости $S_v(\omega)$ и смещения $S_s(\omega)$ существуют следующие соотношения:

$$S_v(\omega) = S_a(\omega)/\omega, S_s(\omega) = S_v(\omega)/\omega = S_a(\omega)/\omega^2.$$

Аналогично, дифференцирование по времени эквивалентно умножению на частоту:

$$S_a(\omega) = S_v(\omega) \cdot \omega = S_s(\omega) \cdot \omega^2, S_v(\omega) = S_s(\omega) \cdot \omega.$$

Если говорить более строго, то интегрирование (дифференцирование) эквивалентно делению (умножению) на $i\omega$, то есть делению (умножению) на частоту и сдвигу по фазе на $\pi/2$. Но для исследования виброданных достаточно использовать только энергетические спектры. Энергетический спектр представляет собой квадрат модуля амплитудного спектра, и информации о фазе он не содержит.

Подытоживая сказанное, для вычисления спектров вибрационных данных измеренные данные разлагаются в ряд Фурье (используется БПФ, прямоугольное окно) и делятся (умножаются) на частоту или квадрат частоты. По найденным амплитудным спектрам вычисляются энергетические спектры, графики которых выводятся на экран.

В модулях вычисления виброхарактеристик содержится по 3 функции:

1. Вычисление энергетического спектра виброскорости.
2. Вычисление энергетического спектра вибро смещения.
3. Вычисление энергетического спектра виброускорения.

Разработаны модули вычисления виброхарактеристик для реального времени и для послесекундной обработки.

Глоссарий

$T_{\text{выб}}$ – длительность выборки.

f_s – частота среза.

F_d – частота дискретизации.

F_n – частота Найквиста. $F_n = F_d$.

ORD – порядок фильтра.