

## **Инструкция по работе с программой «Epr5.exe»**

Программа «Epr5.exe» (версия «Epr5g.exe») предназначена для анализа спектров ЭПР и управления спектрометром ВИГТ.421400.011 (ВИГТ.421400.012). Для работы программы необходима ПЭВМ с COM-портом, процессором не хуже Pentium II 300МГц, ОС «Windows 98 SE» или выше, цветным монитором с разрешением экрана не ниже 1024x768 точек (возможна работа в режиме 800x600, но при этом снижается удобство работы, а также возможно некорректное отображение некоторых элементов управления). Для печати спектров необходим принтер с разрешением не хуже 300 dpi (рекомендуется цветной).

### **1. Установка программы**

Для установки программы необходимо переписать на винчестер исполняемый файл «Epr5g.exe» и файл настроек «Epr4.reg», который содержит калибровочные характеристики конкретной модели спектрометра. Перед первым запуском программы следует установить файл настроек «Epr4.reg» в ПЭВМ, на которой планируется работа. Для этого нужно щелкнуть двойным щелчком мыши по файлу «Epr4.reg» и ответить положительно на вопросы системы. После этого программа «Epr5.exe» готова к работе. Программа может быть запущена из любого места (т.е. любой диск, папка и т.д.).

### **2. Описание программы**


Программа имеет одно главное окно, которое содержит все необходимые для оперативного управления спектрометром элементы. Главное окно состоит из строки главного меню, панели инструментов с кнопками быстрого доступа к основным пунктам меню (сверху окна), поля отображения спектров, а так же панелей управления спектрометром и строки состояния (внизу окна).


Работа программы возможна в двух режимах: «Приём» и «Анализ». Режим «Анализ» предназначен для просмотра и анализа сохраненных ранее спектров, а режим «Приём» — для приема спектров и управления спектрометром. Переключение между этими двумя режимами происходит посредством соответствующих команд меню


«Спектр» или с помощью кнопок на панели инструментов (кнопки расположены под строкой меню).

### **2.1. Режим анализа спектров**

Для просмотра спектра, сохраненного ранее на диске, нужно выбрать пункт «Открыть...» меню «Спектр» (либо нажать одноименную кнопку на панели инструментов). В результате появится стандартное диалоговое окно открытия файлов. После выбора файла его содержимое отобразится в поле отображения спектров.

Для изменения масштаба спектра по оси абсцисс (значения поля) следует изменить верхнюю и/или нижнюю границы отображаемого диапазона. Это можно сделать с помощью кнопки , находящейся в правом нижнем углу на поле отображения спектров. После её нажатия нужно выделить мышью на отображаемом спектре желаемый диапазон поля для просмотра. Корректировку границ диапазона можно также производить с помощью соответствующих кнопок под полем отображения.

Для изменения масштаба отображения по оси ординат следует выбрать соответствующие команды меню «Вид», либо использовать кнопки  в правом нижнем углу поля отображения спектра.

Для того, чтобы вернуть масштабы изображения к исходным (максимальным) значениям, необходимо выбрать пункт «Показать весь спектр» меню «Вид», либо воспользоваться кнопкой .

Для сохранения спектра под другим именем следует выбрать пункт «Сохранить...» меню «Спектр» и в стандартном диалоговом окне присвоить новое имя файла.

Для определения точных значений спектра в заданных точках можно использовать два визира, которые включаются и выключаются с помощью соответствующих пунктов меню «Вид». Для установки визира его нужно «захватить» мышью и переместить в желаемое место спектра. Для точного перемещения визира используются кнопки на соответствующих панелях визиров. Панель управления первым визиром находится внизу слева под полем отображения, панель управления вторым визиром — справа. На каждой панели показывается значение поля, на котором находится визир, и соответствующая ему амплитуда спектра. При наличии двух визиров в строке состояния отображается разность значений поля, соответствующих визирам.

Если при изменении масштабов отображения спектра один или оба визира исчезли из поля экрана, то для их быстрой переустановки в новое поле следует выбрать пункт «Установить визеры» меню «Вид».

Для отсчета значений спектра можно также использовать указатель мыши. При перемещении указателя мыши по полю отображения в строке состояния (в самом низу главного окна) отображается соответствующее положению указателя значение поля (четвертое окошко строки) и амплитуда спектра (пятое окошко строки).

### 2.1.1. Фильтрация спектров в режиме «Анализ»

Для выполнения фильтрации открытого спектра нужно выбрать пункт «ФНЧ...» меню «Функции» и в появившемся окне задать постоянную времени фильтра. Постоянная времени выражается в отсчётах ЦАП (дискретах изменения поля). Причём весь диапазон развёртки разбит на дискреты с номерами  $k=0, \dots, 65520$ . Для фильтрации спектров используется рекурсивный цифровой фильтр первого порядка. Его временные характеристики задаются следующим выражением:

$$y_k = y_{k-1} + \frac{x_k - y_{k-1}}{N}, \quad (1)$$

где  $x_k$  - исходное (измеренное) значение спектра для дискрета поля с номером  $k$ ;

$y_k$  - усредненное (полученное в результате фильтрации) значение спектра для дискрета с номером  $k$ ;

$y_{k-1}$  - усредненное значение спектра для дискрета с номером  $k-1$ ;

$N$  - характеристическая постоянная (постоянная времени) фильтра.

Фильтрация производится в соответствии с приведенным выражением для дискретов с номерами  $k \geq N$ . Для начальных точек (дискретов) диапазона с номерами  $0 \leq k < N$  характеристика фильтра описывается выражением:

$$y_k = \frac{1}{k+1} \sum_{i=0}^k x_i,$$

т.е. в начале фильтрации производится вычисление среднего арифметического.

Аналогом этого фильтра ФНЧ является RC-цепочка с постоянной времени  $RC = N \cdot \Delta\tau$ , где  $\Delta\tau$  - время между дискретами измерения поля. Значение времени между дискретами для разных скоростей можно вычислить следующим образом:

$$\Delta\tau = \frac{T}{65520},$$

где  $T$  - время развёртки, установленное на панели управления скоростью развёртки.

После выполнения фильтрации каждый элемент (отсчёт) спектра  $x_k$  заменяется на экране на соответствующее ему значение  $y_k$ .

Из формулы (1) видно, что усреднённое значение каждого следующего отсчёта определяется в основном усреднённым значением предыдущего отсчёта, а исходный отсчёт участвует лишь в виде разницы с предыдущим усреднённым, делённым на  $N$ . Этим объясняется то, что изменение  $y_k$  запаздывает по сравнению с  $x_k$  на количество отсчётов, примерно равное  $3N$ . Поэтому применение такого фильтра приводит к сдвигу результирующего спектра в сторону больших  $k$  (в нашем случае — больших полей), и этот сдвиг определяется постоянной  $N$ .

Эффективность фильтра при выбранном параметре  $N$  зависит от скорости развёртки (чем медленнее развёртка, тем меньшее значение  $N$  можно применить). Значение параметра  $N$  подбирается опытным путем.

### 2.1.2. Сглаживание спектров

Алгоритм сглаживания заключается в том, что каждое значение исходного спектра заменяется средним арифметическим от суммы  $N$  отсчётов справа и слева от текущего элемента:

$$y_k = \frac{\sum_{i=k-N}^{k+N} x_i}{2N+1}, \quad \text{причем } (65520 - N) \geq k \geq N,$$

где  $x_k$  - исходное (измеренное) значение спектра для дискрета поля с номером  $k$ ;

$y_k$  - усредненное (полученное в результате сглаживания) значение спектра для дискрета с номером  $k$ .

Усреднение (сглаживание) спектров так же, как и фильтрация, позволяет снизить шумы, но при сглаживании спектр не сдвигается.

Для выполнения сглаживания открытого спектра нужно выбрать пункт «Сглаживание...» меню «Функции» и в появившемся окне задать постоянную сглаживания  $N$ , которая представляет собой количество точек слева и справа для усреднения.

### *2.1.3. Выравнивание спектра*

Операция выравнивания позволяет выровнять (приблизить к горизонтальному положению) среднюю линию спектра в случае, если она имеет значительный наклон. Чтобы выровнять спектр или его часть необходимо, используя два визира, задать интересующий участок спектра и выбрать пункт «Выравнивание» меню «Функции».

Алгоритм выравнивания основан на предположении, что наклон спектра имеет линейный характер. Через точки спектра, отмеченные первым и вторым визиром, проводится прямая и производится последовательное вычитание ординат точек этой прямой из исходного спектра.

### *2.1.4. Интегрирование спектра*

Процедура интегрирования производит вычисление первого и второго интеграла на участке спектра, заданном двумя визирами. Первый интеграл на экране прорисовывается в виде графика, рядом с которым отображается значение второго интеграла – численное значение площади под графиком первого интеграла.

Для того, чтобы проинтегрировать спектр, следует указать границы интегрируемого участка с помощью двух визиров и выбрать пункт «Интеграл» меню «Функции». Вычисление первого интеграла производится относительно средней линии, параллельной оси абсцисс. При вычислении ордината этой линии выбирается таким образом, чтобы начало и конец графика первого интеграла лежали на оси абсцисс.

Численное значение второго интеграла - это значение площади фигуры, образованной кривой графика первого интеграла, осью абсцисс и линиями визиров. Для корректного вычисления второго интеграла необходимо, чтобы кривая первого интеграла располагалась по одну сторону от оси абсцисс.

### 2.1.5. Поиск минимума и максимума


Для определения амплитудных значений спектра можно использовать функцию поиска минимума и максимума. Для этого необходимо с помощью двух визиров указать диапазон, внутри которого будет выполняться поиск, и выбрать пункт «MinMax» меню «Функции». В результате на спектре будут выделены точки минимума и максимума, а рядом с ними будут показаны значения спектра в этих точках и модуль разности этих значений.

## 2.2. Режим приёма спектров

В режиме «Приём» ПЭВМ производит приём спектров от спектрометра. В этом режиме возможно управление спектрометром из главного окна спектрометра. Переход в режим приёма спектров осуществляется выбором пункта «Приём» меню «Спектр» или с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов.

Для приема спектров необходимо, чтобы спектрометр был подключен к последовательному порту компьютера, а в настройках программы должен быть указан номер порта и скорость его работы. Настройка и выбор порта осуществляются с помощью пункта «Выбор порта...» меню «Настройка». Скорость порта устанавливается равной 115200 бод. При правильном выборе порта в строке состояния (слева внизу окна программы) появится имя порта (например, COM1) и установленная скорость (115200 бод). Следует обратить внимание, что если спектрометр не подключен к выбранному порту или ещё не включен, то в середине строки состояния появится надпись «Нет сигнала от блока». При включении спектрометра и/или при подключении его к выбранному порту указанная надпись должна исчезнуть не позднее, чем через 3 сек.

Приём спектров начинается сразу после перехода в соответствующий режим. Рекомендуется управлять спектрометром от ПЭВМ. Для этого на блоке регистрации переключатель коррекции нуля «АВТ/РУЧН» должен быть установлен в положение «АВТ». Переключатель «УСИЛЕНИЕ» и тумблер «ПЭВМ/РУЧН» — в положение «ПЭВМ». Чтобы убедиться в готовности спектрометра и ПЭВМ, рекомендуется выполнить следующее:

1. Выставить максимально возможный диапазон развертки. Это делается с помощью пункта «Расширить диапазон перестройки» меню «Развертка» или с помощью кнопки  на панели управления разверткой (справа внизу главного окна программы).

2. С помощью панели управления скоростью развёртки, находящейся слева от панели управления границами развёртки, установить время развёртки, равное 30 сек.

3. Убедиться, что ток на индикаторе развёртки меняется от 0 до 5 А с периодом в 30 сек.

4. С помощью панели управления усилением, находящейся слева от панели управления скоростью, установить усиление, равное 1.

5. Убедиться, что стрелка индикатора «Спектр» на блоке регистрации находится примерно в середине шкалы. Если это не так, то требуется *коррекция нулевого уровня*. Коррекция производится с помощью панели управления напряжением коррекции (слева от панели управления усилением). Грубая коррекция выполняется вертикальным движком, а точная — кнопками. Коррекция выполняется до тех пор, пока стрелка индикатора «Спектр» не окажется в середине шкалы, а линия спектра в середине поля отображения.

6. Убедиться, что примерно в середине поля отображения спектров прорисовывается горизонтальная линия спектра с периодичностью один раз в 30 сек.

После этого система готова к работе.

**Внимание!** Управление спектрометром от ПЭВМ возможно только при установленной связи со спектрометром (т.е. тогда, когда в режиме «Приём» отсутствует сообщение «Нет сигнала от блока»).

Во время приёма спектров можно менять верхнюю и нижнюю границы отображаемого поля, изменять масштаб по оси абсцисс, выполнять фильтрацию полученной части спектра. При анализе спектра можно использовать визирь и указатель мыши аналогично тому, как это делается в режиме «Анализ» (см. выше).

**Замечание.** При изменении верхней или нижней границ развёртки автоматически меняются, соответственно, верхняя или нижняя границы отображаемого поля. При этом границы отображения выставляются равными границам развёртки.

### 3. Настройка программы

#### 3.1. Задание единиц измерения

Для удобства анализа спектров может понадобиться изменение единиц измерения поля. Для этого нужно вызвать пункт «Единицы измерения...» меню «Настройка» и в открывшемся диалоговом окне на вкладке «Развёртка» указать желаемые единицы. Первый вариант — это отсчёты ЦАП развёртки, т.е. те единицы, с которыми работает управляющая программа и блок регистрации. Второй вариант — ток электромагнита в амперах. Так как магнитное поле формируется током магнита, то можно представить развертку именно в единицах тока.

В третьем варианте шкала развёртки — это напряженность парциального поля, создаваемого электромагнитом. В четвертом варианте шкала развёртки представлена как суммарная напряженность полей постоянного магнита и электромагнита. Для двух последних вариантов шкала развертки проградуирована в эрстедах.

Единицы измерения спектра (напряжения на входе усилителя, включенного перед АЦП) можно задать на вкладке «Спектр» в том же окне. Предусмотрено два варианта: отсчёты АЦП и вольты. Для исключения влияния выставленного коэффициента усиления на результаты измерений использован следующий прием: напряжение сигнала, измеренное на входе АЦП, делится на коэффициент усиления, значение которого отображается на панели управления усилением. Полученный результат и приводится как значения спектра.

На входе регулируемого усилителя к сигналу спектра примешивается напряжение коррекции, позволяющее скомпенсировать постоянную составляющую в спектре ЭПР. Единицы измерения напряжения коррекции задаются на вкладке «Коррекция» и могут задаваться либо в милливольтках, либо в отсчетах ЦАП, формирующего напряжение коррекции.

При использовании дополнительного входа АЦП предусмотрена возможность выбора измеряемого параметра и единиц измерения. Единицы измерения по дополнительному входу АЦП задаются на вкладке «Вход АЦП». Дополнительный вход может быть использован для измерения напряжения на входе АЦП, амплитуд тока и напряженности поля спиральных катушек резонатора. Детальное описание возможных измерений на этом входе смотрите в разделе «Дополнительный вход АЦП».

### 3.2. Цифровая обработка принимаемого сигнала, установка параметров

Программа позволяет производить дополнительную цифровую фильтрацию принимаемого сигнала в реальном времени, а также накопление спектров. Применение фильтрации и/или накопления позволяет в некоторых случаях существенно повысить отношение сигнал/шум. Для управления этими режимами нужно выбрать пункт «Приём спектров...» меню «Настройка» и в открывшемся диалоговом окне задать параметры обработки принимаемого сигнала.

#### 3.2.1. Фильтрация спектров в режиме приёма

Для включения фильтра низких частот необходимо установить соответствующий флажок в диалоговом окне и задать постоянную времени фильтра. Применение ФНЧ реального времени имеет те же особенности, что и ФНЧ в режиме анализа (см. п.2.1.1). Для получения оптимальных результатов от применения ФНЧ реального времени необходимо опытным путем получить оптимальное по времени и качеству снимаемых спектров сочетание скорости развертки и параметра  $N$ . При использовании фильтра необходимо учесть сдвиг спектра, вызванный особенностями применяемого алгоритма фильтрации.

#### 3.2.2. Накопление спектров

Режим накопления спектров позволяет получить средний спектр от суммы нескольких спектров. Обработка спектров в режиме накопления производится для каждого дискрета  $k$  поля по отдельности в соответствии со следующими выражениями:

$$y_{k,m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i, \quad \text{для } 1 \leq m \leq M, \quad (2)$$

$$y_{k,m} = y_{k,m-1} + \frac{x_{k,m} - y_{k,m-1}}{M}, \quad \text{для } m > M, \quad (3)$$

где  $m$  - номер измеряемого спектра;

$x_{k,m}$  - значение спектра с номером измерения  $m$  на дискрете поля с номером  $k$ ;

$y_{k,m}$  - значение усреднённого спектра в результате накопления  $m$  спектров для дискрета поля с номером  $k$ ;

$Y_{k,m-1}$  - значение усреднённого спектра в результате накопления предыдущих  $m-1$  спектров для дискрета поля с номером  $k$ ;

$M$  - количество накапливаемых спектров, для которых результирующий спектр представляет собой среднеарифметическое от всех спектров.

Для  $m \leq M$  программа будет отображать среднее от суммы принятых  $m$  спектров. При  $m > M$  результирующий спектр можно представить в виде сигнала на выходе цифрового ФНЧ, на вход которого подаётся последовательность напряжений  $X_{k,m}$ , соответствующая одному дискрету поля с номером  $k$ .

Данный режим включается установкой соответствующего флажка. При этом необходимо указать число  $M$  спектров, по которым будет происходить суммирование.

Включение или выключение режимов ФНЧ реального времени и накопления может быть произведено в любой момент времени посредством указанного диалогового окна или соответствующих кнопок на панели инструментов: «ФНЧ(р)» и «Сумма». Однако, собственно фильтрация и/или накопление вступают в действие только в начале следующего прямого хода развертки, о чем будут сигнализировать надписи, соответственно, «ФИЛЬТР» и «НАКОПЛ», появляющиеся в строке состояния (справа по нижнему краю главного окна).

При включенных режимах ФНЧ или накопления на экране отображается не текущий принятый спектр, а уже обработанный. При необходимости одновременного отображения исходного (необработанного спектра) и результирующего нужно установить флажок «Показывать исходный спектр» в указанном диалоговом окне.

### 3.2.3. Автоматическое сохранение файлов

При длительных экспериментах (медленная развёртка и/или большое число накапливаемых спектров) может оказаться удобным автоматическое сохранение спектров в процессе приёма. При включенном режиме автоматического сохранения программа будет сама записывать принятые спектры на диск, благодаря чему обеспечится работа спектрометра в полностью автоматическом режиме (это может оказаться удобным, например, при очень длительных экспериментах). Включение или выключение режима автосохранения и задание его параметров производится в диалоговом окне «Настройка автоматического сохранения спектров», открываемом через пункт «Автосохране-

ние...» меню «Настройка». В этом окне можно включить или отключить этот режим установкой соответствующего флажка, задать степень прореживания спектров для сохранения. Здесь же можно задать каталог, в котором будут сохранены спектры, а также шаблон их имен файлов. В качестве напоминания о включенном режиме автосохранения о нем индицирует надпись «АВТО» в строке состояния.

**Замечание 1.** При включенных режимах ФНЧ и/или накопления происходит автосохранение обработанных спектров, а не текущих принятых.

**Замечание 2.** Для того, чтобы правильно спланировать расход дискового пространства и количество информативных данных, установку параметров автосохранения рекомендуется производить с учётом скорости развёртки и продолжительности измерений. Например, может оказаться нецелесообразным записывать каждый спектр при накоплении 40 спектров, так как каждый следующий спектр будет ненамного отличаться от предыдущего.

#### **4. Использование дополнительного входа АЦП**

Кроме измерения величины спектра спектрометр позволяет измерять напряжение на дополнительном входе АЦП, при этом измеряемый сигнал должен быть подан на разъём «ВХОД АЦП» на передней панели блока регистрации. Для измерений следует выбрать пункт «ВХОД АЦП» в меню «Вид». После чего появится окно с результатами измерения в выбранных единицах, а на поле отображения спектра будет прорисовываться график изменения напряжения. Измерения по дополнительному входу производятся с фиксированной частотой 10Гц.

Дополнительный вход может быть также использован для измерения амплитуды тока модуляции, амплитуды напряженности модулирующего поля и измерения индукции магнитного поля развертки (при наличии датчика индукции магнитного поля). Измерение тока и магнитного поля основано на измерении напряжения на резисторе, включенном последовательно с катушками модуляции. Для этого разъём «ВХОД АЦП» на блоке регистрации нужно соединить с разъёмом «КОНТРОЛЬ» на блоке БУММП.

Перед измерением магнитного поля необходимо подключить датчик индукции к разъёму «ИМ» на задней панели блока БР, либо, при наличии отдельного источника

питания у датчика индукции аналоговый выход этого датчика подключить к разъёму «Вход АЦП».

Для выбора измеряемой величины и единиц измерения следует на вкладке «Вход АЦП» в пункте «Единицы измерения...» меню «Настройка» произвести необходимые изменения.

Чтобы отключить измерения по входу АЦП следует снять галочку «ВХОД АЦП» в меню «Вид» или закрыть окно результатов измерений.

## 5. Изменение калибровочных параметров

При необходимости изменения или корректировки калибровочных параметров спектрометра следует выбрать пункт «Единицы измерения...» меню «Настройка» и поставить галочку «Разрешить изменения». После внесения необходимых изменений следует нажать кнопку «ОК». С этого момента новые калибровочные параметры сохраняются на данной ПЭВМ.

Для переноса новых калибровочных параметров спектрометра на другие ПЭВМ нужно сформировать новый файл настроек «Epr4.reg» и установить его так, как это указано в п.1. данной инструкции.

Формирование нового файла настроек производится посредством запуска файла «getreg.bat». В результате будет сформирован новый файл «Epr4.reg», содержащий измененные калибровочные параметры.

## Приложение 1

### Структура файла спектров (\*.epr)

Файл спектра представляет собой массив из записей, имеющих длину четыре байта, причём каждому дискрету магнитного поля соответствует одна запись (один элемент массива). Данные внутри каждой записи упорядочены следующим образом:

мл. байт записи			ст. байт записи
1 байт	2 байт	3 байт	4 байт
Значение поля		Значение спектра	
мл. байт поля	ст. байт поля	мл. байт спектра	ст. байт спектра

Порядок размещения записей внутри файла упорядочен в соответствии со значениями поля. В начале файла спектра находятся записи, соответствующие меньшим значениям поля, в конце — большим. Первому байту каждой записи соответствует адрес:

$04 \times k$ , где  $k$  - номер дискрета, причем  $k = 0, \dots, 65520$ .

Значения поля (первый и второй байты записи) могут принимать значения от 0 до 65520 (FFF0 h). Значения спектра (третий и четвертый байты записи) находятся в диапазоне от 0 до 4095 (0FFF h). Если спектр был записан не в полном диапазоне развёртки, то неиспользуемые элементы массива в качестве значения спектра содержат заведомо невозможную величину, равную 65535 (FFFF h), и не должны рассматриваться при анализе.