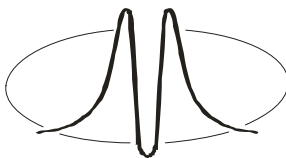


ООО «Резонанс-М»  
197376, г. Санкт-Петербург,  
ул. Инструментальная, д. 2  
Тел./факс: 7 (812) 234 25 96



**Resonance-M Ltd.**  
197376, Instrumentalnaya 2,  
St.-Petersburg, RUSSIA  
Phone/fax: 7 (812) 234 25 96

---

## Малогабаритный спектрометр ЭПР-10 МИНИ Описание и инструкция по эксплуатации

---



## I. Функциональная схема модели ЭПР-10 МИНИ

Функциональная схема модели **ЭПР-10 МИНИ** показана на рис.1. Рабочий резонатор (**РР**) с образцом помещен в зазор электромагнита (**ЭМ**) и соединен волноводом с микроволновым блоком (**МБ**). Выход **МБ** соединен со входом контроллера (**КОНТР**). Система стабилизации магнитного поля на эффекте Холла, расположенная в блоке питания (**ИП**), усилитель мощности ВЧ-модуляции, персональный компьютер (**ПК**) соединены с выходами контроллера. К выходу усилителя мощности высокочастотной модуляции (**УМ**) подключены катушки модуляции (**КМ**), расположенные на боковых гранях резонатора, параллельно полюсным наконечникам. Источник питания (**ИП**) обеспечивает стабилизированные напряжения питания **МБ**, **УМ**, контроллеру и **ЭМ** и осуществляет стабилизацию тока **ЭМ**. Отображение информации в процессе настройки и измерения осуществляется на экране дисплея **ПК**.

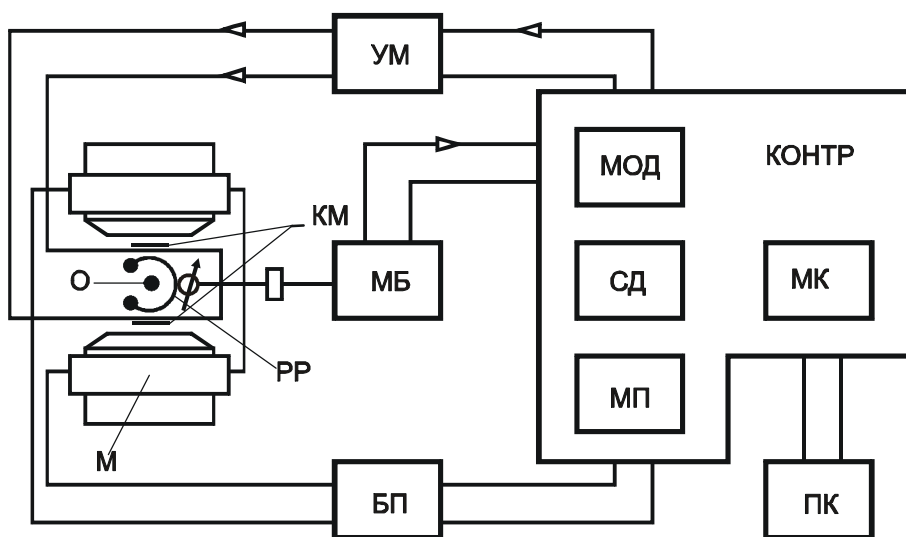


Рис.1. Функциональная схема спектрометра ЭПР-10 МИНИ

## **II. Назначение и состав функциональных узлов модели ЭПР-10 МИНИ**

### **2.1. Электромагнит.**

Электромагнит (ЭМ) создает поляризующее магнитное поле. Диаметр полюсных наконечников 86 мм. Зазор между полюсными наконечниками 24 мм. Однородность магнитного поля не хуже 0,1 Гс в объеме 1 см<sup>3</sup>. ЭМ снабжен устройством настройки однородности магнитного поля.

### **2.2. Резонатор.**

Рабочий резонатор (РР) представляет собой цилиндрический резонатор с типом колебаний TE 011. На стенках резонатора, параллельных полюсным наконечникам, расположены катушки модуляции (КМ), предназначенные для создания высокочастотной модуляции магнитного поля на частоте 100 кГц. Резонатор снабжен диэлектрическим винтом регулировки связи резонатора с волноводом. Отверстие для образца - 11 мм.

### **2.3. Микроволновый блок.**

Микроволновый блок (МБ) создает энергию микроволнового поля, поступающего в резонатор и обеспечивает детектирование сигнала ЭПР. схема МБ показана на рис.2. Микроволновый генератор (МГ) на диоде Ганна генерирует энергию микроволнового поля в диапазоне частот 9,0 - 9,6 ГГц. Перестройка частоты МГ осуществляется механически с помощью специального устройства. МГ снабжен также системой

электрического управления частотой в диапазоне 30 МГц. Частота МГ стабилизируется по рабочему резонатору системой автоматической подстройки частоты (АПЧ). Ферритовый вентиль (ФВ) служит для стабилизации режима работы МГ. Направленный ответвитель (НО) отводит часть микроволновой мощности (ММ) из основного канала в волноводный шунт. Атенюатор (АТТ) служит для регулирования мощности микроволнового поля, поступающей в РР, и снабжен механизмом регулирования мощности. Y-циркулятор (Y) обеспечивает подключение РР по отражательной схеме таким образом, что мощность из плеча 1 поступает только в плечо 2, а из плеча 2 в плечо 3 поступает только мощность,

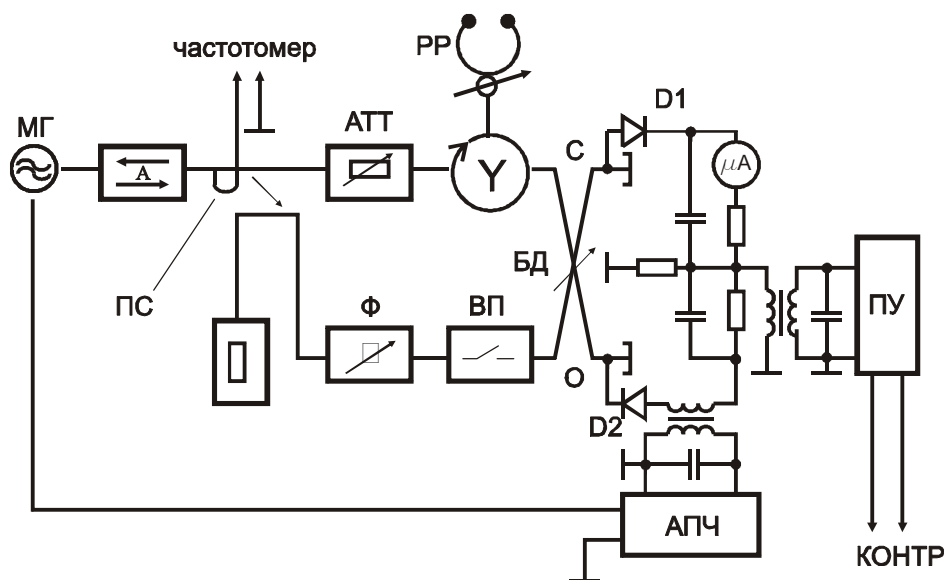


Рис.2. Функциональная схема микроволнового блока

отраженная от РР. Балансный детектор (БД) выполнен на щелевом мосте и детекторах Д1 и Д2. БД имеет 2 выхода: сигнальный (С) и опорный (О). Волноводный шунт служит для передачи и формирования опорного сигнала, поступающего на БД и включает в себя фазовращатель (Ф) и волноводный переключатель (ВП). Фазовращатель служит для настройки БД на максимум сигнала (минимум шумов на

выходе системы регистрации) и снабжен механизмом регулирования фазы. Волноводный переключатель (**ВП**) служит для подачи, отключения опорного сигнала, поступающего на **БД**. Петля связи (**ПС**) служит для отвода мощности (1 мВт) на внешний измеритель частоты.

В **МБ** расположен также предварительный усилитель, входная цепь которого выполнена в виде трансформатора, согласующего выходное напряжение балансного детектора с входным сопротивлением усилителя. Вторичная обмотка трансформатора настроена в резонанс на частоту 100 кгц.

На передней панели **МБ** расположены следующие органы регулировки и индикации:

- индикатор тока детектора **Д2**;
- два светодиодных индикатора режима работы системы **АПЧ**;
- переключатель "Настройка (**T**) - измерение (**M**)", регулирующий положение волнового переключателя;
- регулятор мощности в основном канале **MP**;
- регулятор фазы опорного сигнала **Ph**;
- настройка частоты микроволнового генератора **F**;
- шкала индикации частоты микроволнового генератора (**GHz**);
- шкала индикации мощности в основном канале (**mW**).

Разъем "Частотомер" для подключения внешнего измерителя микроволновой частоты расположен на задней панели **МБ**. На задней панели **МБ** расположены также разъем **X1** питания **МГ** и системы **АПЧ**, разъем **X2** питания предварительного усилителя и подключения выхода предварительного усилителя к **БУРС**.

#### **2.4. Блок контроллера (КОНТР).**

Контроллер представляет собой микропроцессорную систему на базе микроконтроллера **Motorola**. Блок выполнен на общей печатной плате, в случае неисправности подлежащей замене целиком.

Блок управления содержит в себе интерфейс RS232 для подключения к персональному компьютеру, устройство формирования управляющего напряжения для управления магнитным полем, формирователь сигнала ВЧ модуляции, управляемого по амплитуде и фазе, управляемый усилитель с динамическим диапазоном 15000 и детектор сигнала ЭПР.

### **2.5. Усилитель мощности (УМ).**

УМ создает ток высокочастотной модуляции магнитного поля в катушках модуляции. УМ расположен в экранирующем корпусе и укреплен на задней стенке магнитной системы. На корпусе установлены разъемы питания, входа сигнала высокочастотной модуляции и подключения модуляционных катушек.

### **2.6. Блок питания спектрометра ЭПР (БП).**

БП предназначен для питания всех блоков прибора. Кроме того, в состав блока питания входит система стабилизации магнитного поля на эффекте Холла. Состав блока питания представлен в таблице 1.

## **III . Рекомендации по методике измерений и тестированию модели "ЭПР-10 МИНИ"**

### **3.1. Измерение и калибровка магнитного поля.**

Для измерения значения магнитного поля можно воспользоваться гауссметром, датчик которого следует разместить на одной линии с образцом. Толщина датчика гауссметра не должна превышать 1 мм.

Удобным и часто применяемым способом измерения и калибровки магнитного поля является запись исследуемого образца совместно с образцом-свидетелем. В качестве образца-свидетеля часто используется образец MgO, в котором часть ионов Mg<sup>2+</sup> замещена ионами Mn<sup>2+</sup>. Спектр такого образца-свидетеля состоит из шести линий сверхтонкой структуры. Расстояние между третьей и четвертой линиями спектра ЭПР Mn<sup>2+</sup> в MgO составляет 90±4 мТ. В указанный диапазон поля попадают спектры практически всех органических свободных радикалов.

### **3.2. Регулировка однородности магнитного поля.**

Магнит имеет оригинальное устройство для регулировки однородности поля. Для осуществления этой регулировки надо поместить в центр межполюсного пространства датчик ЯМР-измерителя поля и наблюдать на осциллографе сигнал ЯМР. С помощью немагнитного ключа регулируют положение 3-х болтов таким образом, чтобы сигнал ЯМР стал максимальным. Дальнейшее улучшение однородности сопровождается появлением в спектре ЯМР характерных виглей, число которых растет с улучшением однородности поля.

### **3.3. Измерение g-фактора.**

Измерение g-фактора для одиночной симметричной линии производится по формуле

$$g = \frac{\beta \cdot H}{h \cdot \nu},$$

где  $\beta$  - магнетон Бора,

$h$  - постоянная Планка,

$H$  - значение магнитного поля в центре линии,

$\nu$  - частота СВЧ-генератора.

Частота измеряется с помощью СВЧ-частотомера (в проборе имеется специальный вывод для подключения измерителя частоты).

Измерение поля производится по методике, изложенной в п.1. Если совместно с измеряемым образцом записан спектр эталона с известным g-фактором (например, ДФПГ)  $g_{ЭТ}$ , то

$$g = \left( 1 + \frac{\Delta H}{H_{ЭТ}} \right) \cdot g_{ЭТ},$$

где  $\Delta H$  - расстояние между линиями эталона и образца,

$H_{ЭТ}$  - значение поля в центре линии эталона.

Линии, расположенные в более низких полях, имеют большие значения g-фактора.

Если изучаемый спектр не является одиночной и симметричной линией, то вычисление g-фактора носит более сложный характер.

#### **3.4. Измерение интенсивности сигнала поглощения.**

Абсолютные измерения количества парамагнитных центров в образце является задачей сложной. Поэтому обычно измеряют относительное содержание центров. Для этого записывают спектр исследуемого образца совместно с эталонным образцом, количество центров в котором известно. Очевидно, что количество центров в эталоне должно быть получено независимым путем. Количество центров в образце

$$N = N_{ЭТ} \cdot \frac{S}{S_{ЭТ}},$$

где  $N_{ЭТ}$  - количество центров в эталоне,

$S$ ,  $S_{ЭТ}$  - площади под кривой поглощения образца и эталона соответственно.



Следует учитывать, что указанный способ вычисления количества центров пригоден лишь в том случае, если отсутствует насыщение сигнала ЭПР как образца, так и эталона.

Удобным способом убедиться в том, что насыщение отсутствует состоит в следующем: записывают спектр исследуемого образца совместно с насыщающимся образцом при разных условиях мощности СВЧ в резонаторе. Если отношение интенсивности сигналов меняется, то имеет место насыщение сигнала ЭПР исследуемого вещества. Удобным ненасыщающимся образцом является образецДФПГ.

Сигнал ЭПРДФПГ не насыщается даже при очень высоких (ватты) мощностях, что проверено специальными опытами.

### **3.5. Работа при низких температурах.**

Работа при 77 К проводится с помощью специального сосуда Дьюара, нижняя часть которого помещена в рабочий резонатор. Образец, обычно в виде тонкой ампулы, помещается в сосуд Дьюара и через некоторое время принимает температуру близкую к 77 К. Конденсация влаги на внешних стенках сосуда Дьюара и кипение азота, связанные с плохим вакуумом в сосуде Дьюара, могут сделать работу прибора невозможной. В этом случае следует провести повторную откачку сосуда. В качестве временной меры можно применить обдув нижней части сосуда Дьюара сухим воздухом или азотом.

### **3.6. Работа с образцами, имеющими большие потери на СВЧ.**

Чувствительность спектрометра зависит от добротности рабочего резонатора. Из этого следует, что количество образца, помещаемого в

резонатор, должно контролироваться. Следует стремиться к тому, чтобы фактор чувствительности (произведение добротности резонатора на коэффициент заполнения) был максимальным.

Расчеты показывают, что фактор чувствительности достигает максимального значения, когда добротность резонатора падает в два раза. Таким образом, образец, помещаемый в резонатор, не должен ухудшать добротность резонатора более, чем в 2 раза. Заметим, что значительное ухудшение добротности резонатора может сделать работу прибора невозможной, так как в этом случае система АПЧ может стать неработоспособной.

Все выше сказанное имеет наиболее важное значение, когда измеряются образцы с большими диэлектрическими потерями на СВЧ. К таким образцам, в первую очередь, относятся водосодержащие образцы.

Опытом установлено, что для резонатора, который установлен в настоящем приборе, водосодержащие образцы можно измерять в трубках диаметром не более 1 мм. Фактор чувствительности можно значительно улучшить, если измерение проводить в плоских ампулах. Ампула должна быть ориентирована так, чтобы вектор  $B_1$  СВЧ поля лежал в плоскости ампулы, а поток вектора  $B_0$  был минимальным.

Диапазон перестройки частоты генератора СВЧ ограничен (см. технические данные), поэтому образец не должен сильно сдвигать собственную частоту резонатора. Это требование исключает возможность внесения в резонатор даже небольших кусочков металла и ограничивает размеры вносимых в резонатор диэлектриков.

### **3.7. Выбор уровня высокочастотной (ВЧ) модуляции.**

Для неискаженного воспроизведения формы линии уровень ВЧ-модуляции должен стремиться к нулю. Однако, при этом будет

стремиться к нулю и величина сигнала ЭПР. Поэтому, экспериментатор должен найти оптимальную величину уровня модуляции, при которой величина сигнала является достаточной, а искажение формы линии допустимы.

Амплитуда сигнала ЭПР растет вместе с уровнем модуляции лишь до тех пор, пока уровень модуляции не достигнет значения близкого к ширине линии. Дальнейший рост уровня модуляции приводит лишь к уширению линии и практически не увеличивает амплитуду сигнала.

Поэтому опытный экспериментатор поступает следующим образом. Если ширина линии заранее неизвестна, то устанавливается высокий уровень модуляции и ведется поиск линии. После того, как линия найдена, уровень модуляции снижается до значения, при котором форма линии не искажается.

Все вышесказанное относится к тем парамагнитным центрам, времена релаксации которых меньше, чем период модуляции, т. е. для случаев, когда  $T_1, T_2 \ll 10^{-5}$ с. В противном случае рассмотрение вышеописанных вопросов является более сложным.

### **3.8. Выбор постоянной времени синхронного детектора, скорости и диапазона развертки магнитного поля.**

В приборе реализованы два способа повышения отношения сигнал/шум: сужение полосы пропускания частот системы регистрации и накопления сигнала за счет многократной развертки магнитного поля.

Первый способ реализуется путем изменения постоянной времени синхронного детектора. Чем выше  $\tau$ , тем меньше полоса частот ( $\Delta f \approx 1/\tau$ ) и тем лучше отношение сигнал/шум. Однако, с ростом  $\tau$  растет время записи линии, так как для неискаженной записи формы линии необходимо чтобы время записи линии во много раз превосходило  $\tau$ .

На практике считают, что линия должна записываться за время в 10-20 раз больше, чем  $\tau$ . Для изучения тонких деталей формы линии указанная цифра должна быть еще выше.

Приведенные соображения лежат в основе выбора скорости развертки: скорость развертки должна быть такой, чтобы время записи линии в 10-20 раз превосходило  $\tau$ .

Зная ширину линии и необходимую скорость развертки оператор без труда находит диапазон и время развертки. Количество циклов накопления выбирается из соображений получения наиболее "чистого" спектра. Если образец имеет интенсивный сигнал, то может оказаться достаточным один цикл развертки.

Соотношение между  $\tau$  и числом циклов накопления выбирается из соображений затрат времени на измерение. При этом целесообразнее выбирать такую постоянную времени, при которой число циклов накопления лежит в пределах от 10 до 64.

### 3.9. Определение чувствительности спектрометра.

Для определения чувствительности необходимо иметь специальный стандартный образец, для которого должны быть известны следующие параметры: измеренная по спектру ширина линии -  $\Delta B$  и количество парамагнитных центров -  $N$

Записав спектр, определяют следующие величины:

- размах (peak to peak) сигнала  $I_S$ ;
- наибольшую амплитуду шумов  $I_N$ .

Чувствительность  $n$  определяют по формуле

$$n = \frac{N \cdot I_N}{2,5 \cdot I_S \cdot \Delta B}$$

и выражают в единицах спин/Гц .

## **IV. Настройка и работа на модели "ЭПР-10 МИНИ"**

Перед включением прибора проверить надежность подключения разъемных соединений на задних панелях блоков. Органы регулировки и управления режимом работы прибора должны находиться в следующих положениях:

- регулировка **T - M** в положении **T**;
- регулировка **Att** - 1 мВт (смотреть по шкале).

ПК должен быть подключен к соответствующему разъему контроллера.

### **4.1. Порядок включения модели "ЭПР-10 МИНИ".**

- включить ПК
- включить спектрометр
- осуществить старт программы EPR Control.EXE

### **4.2. Порядок настройки модели "ЭПР-10 МИНИ".**

- Перейдите в режим **Tuning** путем поворота соответствующей ручки в положение «Т». Вставьте в резонатор измеряемый образец. Образец должен располагаться в центре резонатора.
- Настройте частоту микроволнового генератора на частоту резонатора. Для этого необходимо поворачивать регулировку **Freq.** до тех пор, пока стрелка индикатора тока резко не отклонится влево. Точность настройки частоты генератора на частоту резонатора проверяется путем поворота регулировки **Freq.** вправо и влево от положения, при котором индикаторы **AFC Lock "Lower"** и **"Higher"** не светятся. При повороте регулировки **Freq.** вправо и влево должен светиться соответствующий индикатор.

- Настроить согласование резонатора с волноводом. Для этого следует регулировать связь до тех пор, пока показания микроамперметра не станут равны нулю. Далее, регулировкой **Att** установить такое значение мощности по шкале **mW**, при котором стрелка индикатора тока диода отклонится от нуля. Регулировкой связи следует добиться возвращения стрелки индикатора на ноль. Эту операцию следует повторять до получения нулевого положения стрелки индикатора при максимальной микроволновой мощности.
- Регулировкой **Att** установить значение мощности по шкале **mW**, соответствующее измеряемому образцу.
- Перевести прибор в режим измерения, повернув соответствующую ручку по часовой стрелке в положение «**M**», затем произвести настройку фазы СВЧ вращая ручку **Phase** и одновременно контролируя по осциллографу амплитуду сигнала. Фаза настроена правильно, когда достигается минимальная амплитуда сигнала. В некоторых случаях возможно прохождение двух минимумов при подстройке фазы, при этом следует выбирать то положение, при котором будет наилучшее отношение сигнал/шум при записи спектра.

В тех случаях, когда оптимальное значение микроволновой мощности и амплитуды высокочастотной модуляции для измеряемого образца не известны, необходимо воспользоваться рекомендациями, изложенными в главе 3. В случае, если проводится измерение образца с неизвестными параметрами, то значение мощности и амплитуды высокочастотной модуляции подбирается по максимальному отношению сигнал/шум. Методика работы с насыщающимися образцами изложена в главе 3.



## **V. Описание программного обеспечения спектрометра ЭПР-10 МИНИ**

### **5.1. Общие сведения.**

Программное обеспечение EPR10-MINI позволяет управлять основными функциями прибора: регистрировать, печатать и сохранять спектры, просматривать спектры, сохраненные ранее. Несколько спектров могут быть объединены в ПРОЕКТ, в этом случае они сохраняются на диске в совокупности в одном файле. Каждый из сохраненных спектров содержит информацию об условиях регистрации. Кроме того, каждый из спектров может быть сопровожден комментарием.

Минимальные требования к системе:

Центральный процессор: Intel Pentium III 600 MHz

Оперативная память: 128 MB

Видео: 4 MB ( графический ускоритель желателен)

Пространство на жестком диске: около 6 MB для размещения программы, около 1 MB для сохранения каждого проекта

### **5.2. Окно основной программы.**

Основное окно программы содержит основное меню, позволяющее управлять функционированием прибора в целом. Меню состоит из четырех пунктов.

#### **1. File.**

1.1.**New project** позволяет создать новый проект с произвольным именем. По умолчанию предлагается имя ProjectN, где N – минимальный не занятый номер.

**Внимание:** имя проекта не зависит от имени файла, в котором сохранен проект.



1.2. **Open project** позволяет открыть ранее сохраненный на диск проект.

1.3. **Close program** автоматически закрывает все открытые проекты и затем закрывают программу.

**ПРИМЕЧАНИЕ: в настоящее время замечена ошибка в программе: при закрытии программы не выполняется проверка на предмет сохранения существующих проектов. ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОХРАННОСТИ ДАННЫХ ВЫПОЛНЯЙТЕ СОХРАНЕНИЕ ПРОЕКТОВ ВРУЧНУЮ ЧЕРЕЗ ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ВРЕМЕНИ!**

2. **Settings.** Этот пункт меню содержит только один подпункт **Initial Settings**, выбор которого вызывает диалог:



который позволяет установить фазу синхронного детектора (в градусах) и выбрать коммуникационный порт, к которому подключен прибор. Методика настройки фазы детектора изложена в приложении 1.

3. **Projects.** Выбор этого пункта меню вызывает окно выбора проектов. Двойной клик на имени проекта позволяет активировать выбранный проект.



### 5.3. Окно проекта.

Окно проекта содержит в себе меню проекта и разделено на несколько областей:

- область отображения спектра (ОС);
- область управления (ОУ);
- список спектров (принадлежащих данному проекту);
- описание текущего проекта;
- механизм сравнения спектров.

Меню проекта содержит три пункта.

1. **File** – пункт меню, позволяющий реализовать управление проектами и программой в целом.
2. **Extras** – позволяет вызвать дополнительные функции.
3. **Project** – для управления проектами.

*Описание пункта меню File.*

**Save Project** вызывает стандартный диалог сохранения файла и затем сохраняет проект как единое целое в файл.

**Save As Picture** позволяет сохранить отображенные спектры, содержащиеся в проекте, в графический файл типа Windows Meta File.

**Profile** позволяет сохранить или загрузить профиль – набор настроек, включая параметры развертки спектра и условия его регистрации. Использование профилей целесообразно при выполнении большого количества рутинных измерений.

**Export Data to ASCII** осуществляет экспорт данных в текстовую таблицу, состоящую из двух колонок: значение магнитного поля и величина сигнала. Каждая строка таблицы соответствует одной точке спектра. Такая текстовая таблица может быть обработана табличным процессором или специализированными программами.

**Export spectrum** позволяет сохранить на диске один выбранный из проекта спектр.

**Import spectrum** позволяет загрузить в проект спектр, ранее сохраненный на диск командой **Export spectrum**.

**Print graphics** позволяет распечатать текущий спектр.

**Report** позволяет сформировать отчет, содержащий сам спектр, параметры регистрации и комментарии, выполненный на бланке.

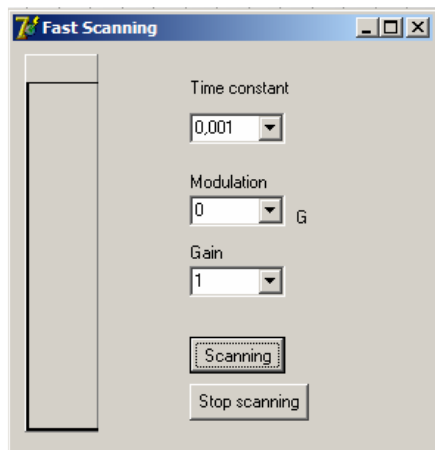
При выборе этого пункта показывается диалог **Output options**, позволяющий настроить параметры вывода отчета. На выбор предлагаются три варианта: вывод на принтер, на экран или прямо в файл. Кнопка **Setup** вызывает стандартный диалог настройки принтера. При выборе вывода в файл можно выбрать формат файла (DPF, RTF, HTML).

При выводе отчета на экран (Prewiev) в новом окне открывается предпросмотр отчета. После этого можно отчет распечатать на принтере или сохранить в файл.

**Close Project** закрывает текущий проект.

*Описание пункта меню Extras.*

**Tuning** открывает следующее окно:



Эта функция позволяет при настройке прибора наблюдать шумы СВЧ-тракта. Рекомендуем устанавливать следующие параметры: Time constant 0,001 s; Modulation 0,04 Gs; Gain 100...300. При наличии осциллографа использовать эту функцию нет необходимости.

**X-Y Data** открывает окно, отображающее координаты курсора в цифрах.



Эта функция полезна при оценке амплитуды сигнала или расстояния между линиями спектра.

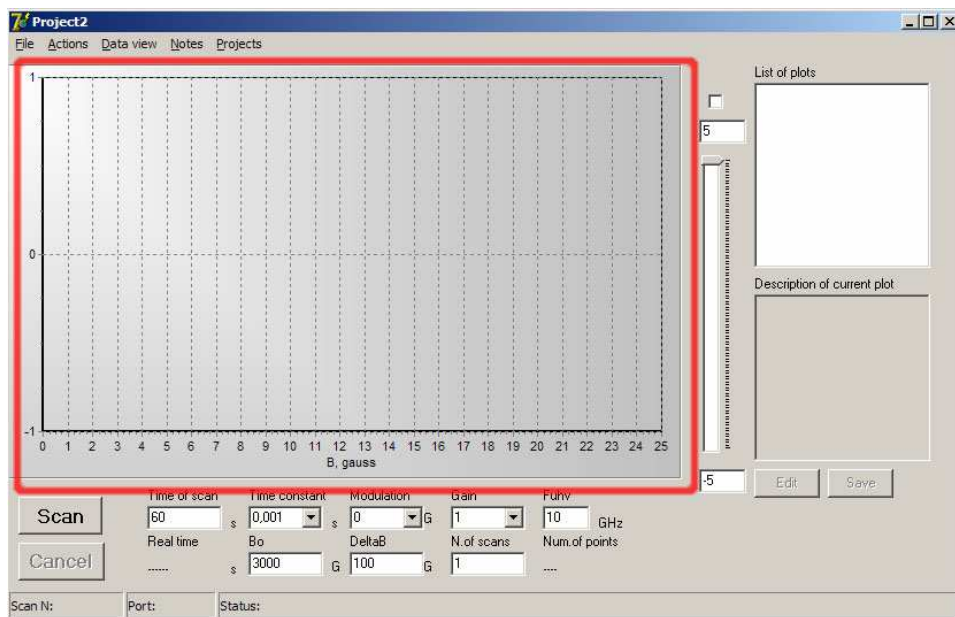
*Описание пункта меню Projects.*

**List of projects** вызывает окно выбора проектов. Двойной клик на имени проекта позволяет активировать выбранный проект.

**Rename project** позволяет переименовать проект.

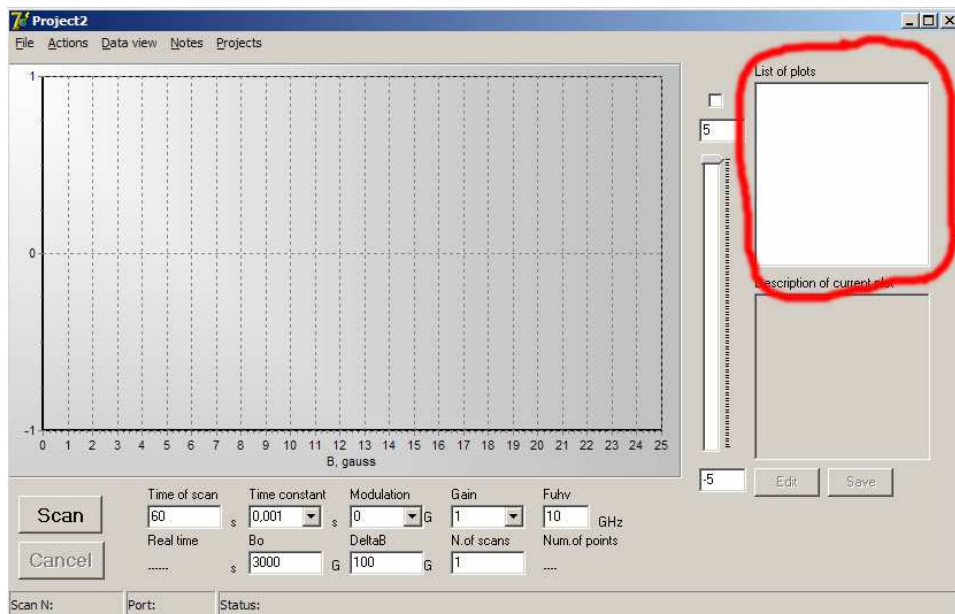
**Description of project** позволяет добавить к проекту комментарий.

### Окно отображения спектров.



Это окно позволяет визуально работать со спектрами. По оси абсцисс показана величина магнитной индукции (в Гауссах), по оси ординат – амплитуда сигнала в относительных единицах. По умолчанию спектр отображается на экране целиком, однако можно более подробно просмотреть интересующий участок спектра при помощи функции Zoom. Для этого необходимо нажать левую кнопку мыши в левом верхнем углу интересующего фрагмента спектра и, не отпуская кнопки, растянуть рамку до нижнего правого угла, затем кнопку отпустить. Движение мыши при нажатой кнопке в обратном направлении (снизу вверх справа налево) возвращает изображение к исходному масштабу. Обратите внимание, что изменение границ отображения спектра по оси магнитного поля приводит к автоматическому изменению границ развертки магнитного поля при последующем запуске развертки.

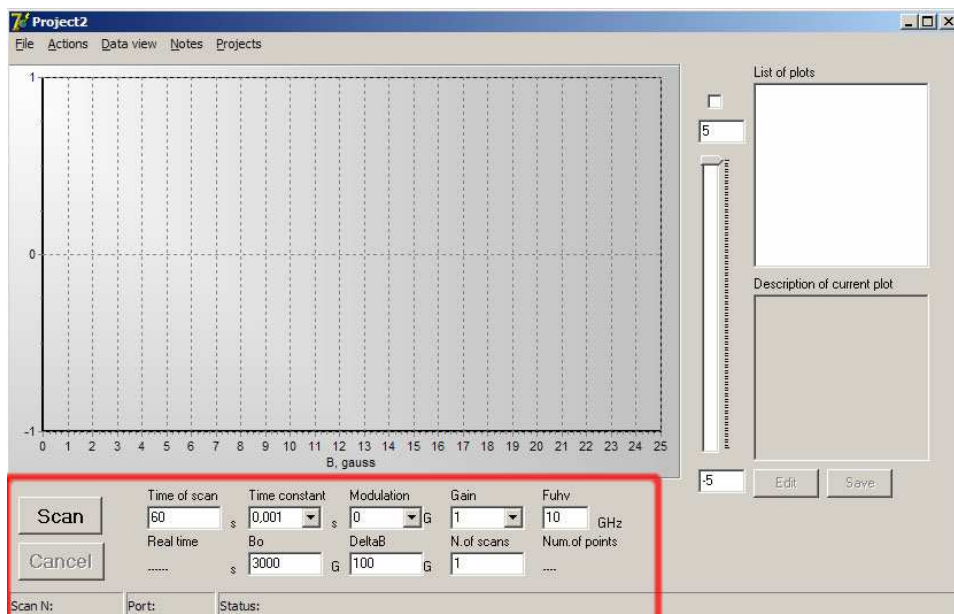
### Список спектров (List of plots).



В этом окне отображаются все спектры, входящие в данный проект. Имена спектрам присваиваются автоматически, однако уже записанный спектр можно переименовать, кликнув на его имени правой кнопкой и выбрав **rename spectrum**. Чтобы спектр был видимым на экране, необходимо отметить его галочкой напротив имени. Одновременно могут быть видимыми несколько спектров. При этом тот спектр, который выделен в списке курсором, отображается на экране красным цветом, а параметры его регистрации автоматически переносятся в область управления. Каждый спектр может быть удален из проекта. Для этого необходимо нажать правую кнопку мыши на имени соответствующего спектра и выбрать Delete.

### Область управления (Control area).

Эта область содержит все необходимые элементы управления для установки параметров регистрации спектра.



Кнопки Scan и Cancel начинают и останавливают соответственно процесс регистрации спектра.

Time задает время, за которое изменяется магнитное поле. В силу дискретности задания времени и ширины развертки магнитного поля, не всегда возможно точное соблюдение заданного времени. Для контроля в поле Actual time выводится реальное значение времени развертки.

Time constant устанавливает одно из 5 возможных значений постоянной времени регистрирующей системы.

Modulation задает величину ВЧ модуляции магнитного поля в Гауссах (от 0,04 до 10).

Gain устанавливает общее усиление системы регистрации.

Bo задает среднюю точку развертки магнитного поля, DeltaB задает полную ширину развертки магнитного поля. Например, если  $B_0=3400$  Гс, и  $\Delta B=200$  Гс, то магнитное поле будет изменяться в пределах 3300...3500 Гс.

Fuhf и MW Power заполняются значениями СВЧ частоты и мощности соответственно, считанными со шкалы блока СВЧ.

N. of scans определяет количество проходов диапазона магнитного поля с накоплением (усреднением) спектра.

Offset позволяет принудительно сдвинуть базовую линию спектра при записи вверх или вниз. Для активации данной функции необходимо отметить переключатель Offset и в поле справа ввести положительное или отрицательное число. Величина сдвига подбирается экспериментально.

Поля Sample name и Sample weight позволяют ввести имя и вес образца соответственно.

**Внимание! Заполнение перечисленных выше полей должно производиться до запуска сканирования. После записи спектра изменить эти поля невозможно.**

Спектр, выделенный курсором в списке спектров, может быть сопровожден комментарием. Для этого необходимо нажать кнопку Edit, ввести комментарий в окно Comments, и сохранить комментарий кнопкой Save.

#### *Строка состояния.*

Строка состояния внизу окна проекта отображает различную служебную информацию: Scan No показывает порядковый номер выполняемого в данное время сканирования; Port показывает номер порта, к которому подключен прибор; Zero показывает величину автоматической коррекции базовой линии в процентах от максимального значения, эта информация может быть использована при пользовании функцией Offset; Operator отображает имя оператора, производящего измерения; поле Status изменяется в зависимости от текущей выполняемой операции, и может принимать значения Setting magnetic field up в момент установки начального магнитного поля, Receiving data in progress во время приема данных и Adjusting zero во время



выполнения автоматической коррекции базовой линии. Если коррекцию выполнить не удалось, отображается статус Error.

**Основные технические параметры модели ЭПР-10 МИНИ**

Чувствительность	спин/Гс	$2 \cdot 10^{10}$
Разрешение		$3 \cdot 10^{-6}$
Рабочая частота	ГГц	9,0...9,6
Добротность резонатора, на менее		8000
Стабильность частоты микроволнового генератора	час <sup>-1</sup>	$10^{-6}$
Диапазон изменения микроволновой мощности	мВт	0,15...70
Частота модуляции	кГц	100
Диапазон изменения модуляции	Гц	0,12...10
Диапазон изменения. индукции магнитного поля	Тл	0,05...0,7
Стабильность магнитного поля	час <sup>-1</sup>	$2 \cdot 10^{-5}$
Магнитный зазор	мм	24
Диаметр полюсных наконечников	мм	86
Макс. диаметр ампулы с образцом	мм	11
Интерфейс		RS-232

## Условия эксплуатации модели ЭПР-10 МИНИ

Технические характеристики прибора обеспечиваются при соблюдении следующих условий:

1. температура окружающего воздуха 15...35°C
2. относительная влажность воздуха 5...80%
3. напряжение сетевого питания 210...230 В
4. частота питающего напряжения 50/60 Гц
5. форма амплитуды напряжения сети – синусоидальная, содержание гармоник не более 5%
6. должно обеспечиваться надежное заземление всех блоков прибора с сопротивлением не более 0,2 Ом
7. электрические устройства мощностью более 500 Вт, создающие импульсные помехи, должны быть удалены от прибора на расстояние не менее 100 м.

**Примечание:** для обеспечения требований пп. 3...5 необходимо использование стабилизатора сетевого напряжения мощностью не менее 500 ВА.

Приложение 1.

**Методика настройки фазы синхронного детектора (фазы ВЧ модуляции).**

Для настройки фазы синхронного детектора следует взять образец с заведомо высоким содержанием парамагнитных центров, так, чтобы можно было записать спектр с отношением сигнал/шум не хуже 30. Рекомендуется использовать стандартный образецДФПГ.

Для настройки фазы следует установить образец в резонатор, выполнить настройку микроволнового блока и сделать пробную запись спектра. Убедившись в правильности настройки, выбрать в ГЛАВНОМ МЕНЮ ПРОГРАММЫ пункт Settings->Preferences. В открывшемся окне следует изменить значение фазы приблизительно на 90 градусов, нажать кнопку ОК, дождаться исчезновения окна с предупреждениями и выполнить запись С ТЕМИ ЖЕ ПАРАМЕТРАМИ, что и предыдущая тестовая запись. По сравнению с тестовой записью сигнал должен измениться: уменьшиться, увеличиться или зеркально отразиться вдоль горизонтальной оси (например, на тестовой записи первое плечо спектра записывалось вверх, а после изменения фазы – вниз). В случае, если изменение сигнала не произошло, изменить значение фазы на 45 градусов и повторить запись. После того, как изменение сигнала пронаблюдалось, выполнять последовательно записи спектра подбирая значение фазы так, чтобы амплитуда сигнала стала минимальной (желательно до полного исчезновения сигнала). ВАЖНО: все записи должны производиться при одинаковых параметрах регистрации! К значению фазы, при котором амплитуда спектра стала

минимальной, следует прибавить 90 или 270 градусов (в зависимости от направления первого пика спектра – вверх или вниз) и установить это значение. Фаза настроена.