



АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА

СК4М

Руководство по эксплуатации

Часть II.Использование по назначению

ЖНКЮ.468166.024 РЭ

Предприятие-  
изготовитель: АО «НПФ «Микран»  
Адрес: 634041 Россия  
г. Томск, пр. Кирова, 51д  
тел: (3822) 90-00-29  
(3822) 41-34-03  
тел/факс: (3822) 42-36-15  
e-mail: [pribor@micran.ru](mailto:pribor@micran.ru)  
сайт: [www.micran.ru](http://www.micran.ru)

## Содержание

Руководство по эксплуатации Часть II. Использование по назначению.....	5
1 Общие сведения и указания .....	5
1.1 Установка программного обеспечения .....	5
1.2 Настройка сетевых параметров при различных вариантах подключения измерительного блока к компьютеру.....	7
1.2.1 Описание и выбор сетевых параметров.....	7
1.2.2 Сетевые параметры при прямом подключении измерительного блока к компьютеру .....	9
1.2.3 Сетевые параметры при подключении измерительного блока к локальной сети .....	10
1.2.4 Изменение сетевых параметров.....	11
2 Описание программного обеспечения .....	13
2.1 Запуск программы и подключение к анализатору.....	13
2.2 Активация программных опций .....	16
2.3 Описание элементов интерфейса пользователя .....	18
2.4 Главное меню программы .....	24
2.5 Настройка графического интерфейса.....	25
2.6 Панели управления и параметры.....	28
2.6.1 Панель «Измерение».....	29
2.6.2 Панель «Частота».....	30
2.6.3 Панель «Амплитудные параметры».....	31
2.6.4 Панель «Масштаб».....	32
2.6.5 Панель «Синхронизация».....	33
2.6.6 Панель «Функции трасс».....	33
2.6.7 Панель «Гетеродин».....	33
2.6.8 Панель «Ограничение» .....	34
2.6.9 Панель «Маркеры».....	34
2.6.10 Панель «Калибровка» .....	35
2.6.11 Панель «Сервис» .....	35
2.7 Функции трасс .....	35
2.7.1 Формат отображения .....	37
2.7.2 Масштабирование трасс .....	37
2.7.3 Трассы памяти .....	40
2.7.4 Накопление .....	41
2.7.5 Сглаживание .....	42
2.7.6 Усреднение.....	43
2.7.7 Ограничительные линии.....	43
2.7.8 Статистика .....	46
2.7.9 Математические трассы.....	47
2.7.10 Спектрограмма .....	48
2.8 Запуск и остановка измерений.....	51

2.9	Использование профилей пользователя .....	51
2.10	Маркерные измерения .....	52
2.10.1	Добавление и удаление маркеров.....	53
2.10.2	Настройка параметров маркера .....	55
2.10.3	Режимы слежения маркера.....	59
2.10.4	Связные маркеры.....	63
2.11	Компенсация внешней цепи.....	66
2.12	Сохранение результатов измерений и формирование отчётов .....	67
2.13	Сообщения для пользователя и журнал событий .....	68
2.14	Список «горячих» клавиш.....	70
2.15	Описание режима «Градуировка генераторов шума» .....	73
2.15.1	Основные формулы.....	73
2.15.1.1	Метод дополнительной калибровки .....	74
2.15.1.2	Градуировка согласно методике поверки ГШМ2.....	74
2.15.1.3	Компенсация потерь .....	76
2.15.2	Описание мастера градуировки ГШ.....	77
2.15.2.1	Первый этап мастера.....	77
2.15.2.2	Второй этап мастера .....	77
2.15.2.3	Третий этап мастера.....	78
2.15.2.4	Четвёртый этап мастера.....	78
2.15.2.5	Результаты измерений .....	80
3	Измерения .....	81
3.1	Анализ спектра .....	81
3.2	Измерение коэффициента шума (опция ИКШ) .....	82
3.2.1	Общая информация .....	82
3.2.2	Калибровка в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ» .....	83
3.2.3	Измерение в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ».....	85
3.2.4	Калибровка в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» .....	88
3.2.5	Измерение в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ» .....	90
3.2.6	Измерение устройств с преобразованием частоты.....	92
3.3	Градуировка генераторов шума (опция «ГРП») .....	93
3.3.1	Общая информация .....	93
3.3.2	Градуировка однотипных ГШ .....	93
3.3.3	Градуировка разнотипных ГШ .....	95
3.4	Измерение фазового шума (опция ИФШ) .....	98
3.4.1	Общая информация .....	98
3.4.2	Настройка и запуск измерений .....	98
3.4.3	Функция «Автоподстройка частоты сигнала» .....	100
3.4.4	Функция «Обработка гармоник» .....	101
3.5	Аналоговая демодуляция (опция АДП) .....	102
3.5.1	Общая информация .....	102
3.5.2	Настройка и запуск измерений .....	103
3.5.3	Компенсация смещения несущей частоты .....	106
3.6	Система цифровой синхронизации (режим ИКШ).....	107

3.7 Измерение частоты.....	110
Приложение А (обязательное) Оценка пределов абсолютной погрешности измерения КШ .....	111
Приложение Б (справочное) Перечень возможных неисправностей .....	114
Приложение В (справочное) Решение проблем при настройке сетевых параметров.....	121
Приложение Г (справочное) Программный интерфейс управления.....	127
Приложение Д (справочное) Краткая теория по измерению коэффициента шума .....	129

# Руководство по эксплуатации

## Часть II. Использование по назначению

### 1 Общие сведения и указания

Большинство средств измерений, выпускаемых АО «НПФ Микран», относятся к классу "виртуальных приборов". Они состоят из некоторого оборудования (измерительного блока), подключаемого к компьютеру, и программного обеспечения (ПО), реализующего под управлением операционной системы персонального компьютера часть функций прибора – управление, обработку и отображение результатов измерений.

Согласно классификации документа *Welmec 7.2*, такие средства измерений относятся к типу U, а именно к средствам измерений, использующим персональный компьютер.

Программное обеспечение анализаторов цепей, анализаторов спектра и других приборов, несмотря на существенные различия аппаратуры, имеет много общего. Поэтому в АО «НПФ «Микран» разработано ПО средств измерений – *Graphit*. В состав его входят: исполняющее приложение *Graphit Launcher*, набор динамически подключаемых библиотек, а также так называемые **файлы схем** с расширением *gsz*, определяющие режим измерения (алгоритм взаимодействия с аппаратурой, последовательность обработки сигнала, состав и содержимое отображаемых на экране графиков и элементов управления).

Анализаторы спектра СК4М работают непосредственно под управлением ПО *Graphit СК4М* (далее – ПО *Graphit*).

Для работы ПО *Graphit* необходимо, чтобы компьютер удовлетворял следующим минимальным требованиям:

- операционная система *Windows*<sup>®</sup> 7/8/10/11, *Astra Linux CE 2.12.45*, *Ubuntu LTS 22.04*;
- двухъядерный процессор x86 или x64 с тактовой частотой 2,4 ГГц;
- наличие адаптера локальной сети – *Ethernet 100 Мбит/с*;
- встроенный графический адаптер серии *Intel*<sup>®</sup> *HD Graphics 4000*, либо дискретный с объёмом видеопамати 512 МБ;
- оперативная память 2 ГБ;
- разрешение экрана 1280 × 720;
- наличие клавиатуры и мыши, либо устройство сенсорного ввода;
- 80 МБ свободного места на жёстком диске.

#### 1.1 Установка программного обеспечения

На *flash*-накопителе из комплекта поставки анализатора содержатся фай-

лы и каталоги:

*autorun.exe* – файл программы «автозапуска», представляющей собой окно с основными командами просмотра и установки ПО.

*autorun.inf* – служебный файл настройки «автозапуска».

*Adobe* – папка с дистрибутивом свободно распространяемого средства просмотра PDF-файлов *Adobe Reader®*.

*Autorun* – каталог со служебными файлами программы «автозапуска».

*Docs* – каталог, содержащий руководство по эксплуатации и методику поверки в файлах pdf-формата;

*Install* – каталог, содержащий установочные файлы ПО *Graphit*.

*Licenses* – каталог для файл-ключа лицензии программных опций.

*Production* – папка с электронными каталогами продукции АО «НПФ «Микран».

**i** Для установки на компьютер ПО *Graphit* необходимо запустить программу *install\_graphit\_2.6.x\_SK4M.exe*, находящуюся в каталоге *Install* на flash-накопителе. В результате откроется «мастер» установки ПО *Graphit*, на первом шаге которого будет предложено выбрать язык программы, как показано на рисунке 1.1.

**!** Для установки программного обеспечения пользователь компьютера должен иметь права администратора.

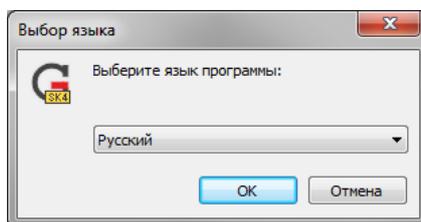


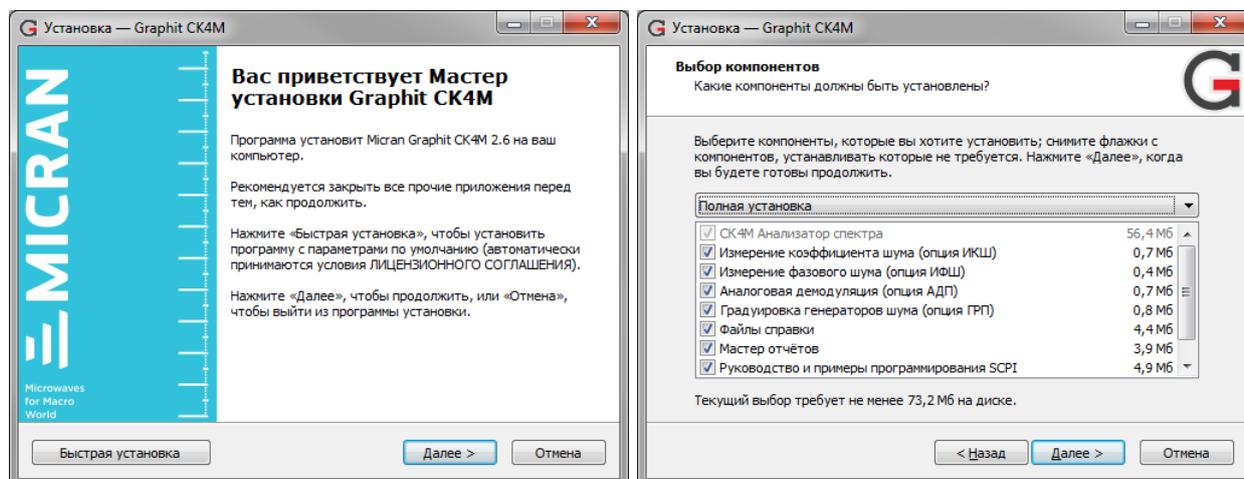
Рисунок 1.1 – Вид окна «Выбор языка» мастера установки ПО *Graphit*

На первом шаге установки пользователю предлагается выбрать «быструю» установку (режим «полной» установки с параметрами по умолчанию) или нажать на кнопку «Далее», если требуется изменить набор устанавливаемых компонентов, либо директорию расположения файлов программы (рисунок 1.2-а).

После нажатия на кнопку «Далее» в процессе установки будет предложено ознакомиться с лицензионным соглашением, указать имя пользователя и организацию, выбрать директорию, в которую будет установлено ПО *Graphit*, а также выбрать компоненты для установки (рисунок 1.2-б). В состав компонентов по умолчанию дополнительно включены:

- режимы измерения коэффициента шума (программная опция ИКШ);
- режим измерения фазового шума (программная опция ИФШ);
- режим аналоговой демодуляции (программная опция АДП);

- режим градуировки генераторов шума (программная опция ГРП);
- мастер отчётов;
- руководство и примеры программирования *SCPI*.



а) Начальная страница установки

б) Выбор компонентов

Рисунок 1.2 – Установка ПО *Graphit*

Для прекращения установки необходимо нажать кнопку «Отмена». При завершении установочного процесса будет предложено автоматически запустить ПО *Graphit* и просмотреть список внесённых в текущую версию изменений.

## 1.2 Настройка сетевых параметров при различных вариантах подключения измерительного блока к компьютеру

### 1.2.1 Описание и выбор сетевых параметров

Измерительный блок использует интерфейс *Ethernet* для подключения к компьютеру непосредственно или через оборудование локальной вычислительной сети. Для идентификации прибора в локальной сети используются один из двух наборов сетевых параметров – «фабричный» или «пользовательский», хранящихся в текстовых файлах на встроенном в прибор *FTP*-сервере. Предприятием-изготовителем устанавливаются следующие значения «фабричных» параметров прибора:

IP-адрес:	169.254.0.254
Маска подсети:	255.255.0.0
IP-адрес шлюза:	0.0.0.0
Сетевое имя:	sk4m-50-00000001 ( <i>тип и серийный номер анализатора могут отличаться</i> )

На задней панели анализатора имеется линейка из шести переключателей «Конфигуратор» (рисунок 1.3), с помощью которых выбирается набор сетевых параметров.

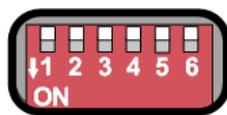


Рисунок 1.3 – Переключатели на задней панели анализатора (все выключены)

Назначение переключателей «Конфигуратор» представлено в таблице 1.1.

Первый переключатель выбирает набор сетевых параметров. При выключенном первом переключателе будут использоваться «Фабричные» параметры, а при включённом – параметры «Пользователя».

Второй переключатель разрешает использование протокола автоматической конфигурации *DHCP*. При выключенном переключателе используются *IP*-адрес и маска, заданные в наборе сетевых параметров. При этом сетевое имя игнорируется. При включённом переключателе делается попытка получить значения сетевых параметров от сервера локальной сети. Сервер, получив *DHCP*-запрос, регистрирует сетевое имя и возвращает прибору *IP*-адрес и маску. Если прибор не получил ответа на *DHCP*-запрос, то устанавливаются *IP*-адрес и маска, указанные в наборе сетевых параметров.

Шестой переключатель должен быть всегда в положении выключен. Во включённом положении формируется сигнал *Reset*, препятствующий работе измерительного блока.

Изменение положений переключателей 1 и 2 применяется только после перезапуска питания анализатора или кратковременного включения шестого переключателя.

Т а б л и ц а 1.1 – Назначение переключателей «Конфигуратор»

Номер переключателя	Назначение	Значение «ON»	Значение «OFF»
1	Выбор набора сетевых параметров	Используется набор «Пользователя»	Используется «Фабричный» набор

Номер переключателя	Назначение	Значение «ON»	Значение «OFF»
2	Автоматическая конфигурация	При включении питания пытается передать <i>DHCP</i> -серверу «Сетевое имя» и в ответ получить <i>IP</i> -адрес и маску. Если не получил ответа, то устанавливаются <i>IP</i> -адрес и маска, указанные в выбранном (переключателем 1) наборе сетевых параметров.	Используются <i>IP</i> -адрес и маска, указанные в выбранном (переключателем 1) наборе сетевых параметров. «Сетевое имя» игнорируется
3 - 5	Не используются	—	—
6	<i>Reset</i> (должен быть выключен)	Формируется сигнал <i>Reset</i> , препятствующий работе анализаторного блока	Нормальное положение

### 1.2.2 Сетевые параметры при прямом подключении измерительного блока к компьютеру

При прямом подключении (рисунок 1.4) соединяется кабелем *Ethernet UTP 5* категории («витая пара»), входящим в комплект поставки, непосредственно с сетевой картой управляющего ПК.



Рисунок 1.4 – Прямое подключение

Этот вариант подключения не требует каких-либо настроек<sup>1</sup>. При этом должны быть выполнены следующие условия:

- а) все переключатели конфигуризатора задней панели прибора должны

<sup>1</sup> Необходимо отметить, что после включения питания измерительного блока, интерфейсы компьютера и измерительного блока обнаруживают друг друга. После чего компьютер начинает процедуру автоматической конфигурации *TCP/IP*-протокола, которая может длиться 30 - 40 с.

быть выключены, т.е. будет использоваться «Фабричный» набор сетевых параметров;

б) параметры *TCP/IP*-протокола в компьютере должны быть установлены по умолчанию, т.е. включена автоматическая конфигурация. Для этого в командной строке «Выполнить» (открыть через меню «Пуск» или сочетанием клавиш +R) наберите латиницей *ncpa.cpl* и нажмите «**Enter**». В открывшемся окне щёлкните правой кнопкой мыши на необходимом активном подключении по локальной сети и в контекстном меню выберите пункт «Свойства». Далее в списке компонентов, используемых этим подключением, для *Windows® 7* выберите строку «Протокол Интернета версии 4 (*TCP/IPv4*)», для *Windows® XP* – «Протокол Интернета (*TCP/IP*)», а для *Windows® 10/11* – «*IP* версии 4 (*TCP/IP*)», и нажмите кнопку «Свойства». Установите радиокнопку «Получить *IP*-адрес автоматически» и нажмите «ОК».

### 1.2.3 Сетевые параметры при подключении измерительного блока к локальной сети

В варианте подключения к локальной сети (рисунок 1.5) анализатором может управлять любой компьютер локальной сети. Одним анализатором не могут управлять несколько компьютеров одновременно, но возможно управление одним компьютером несколькими анализаторами для исследования сложных СВЧ устройств. При необходимости, анализаторы могут обмениваться синхросигналами.

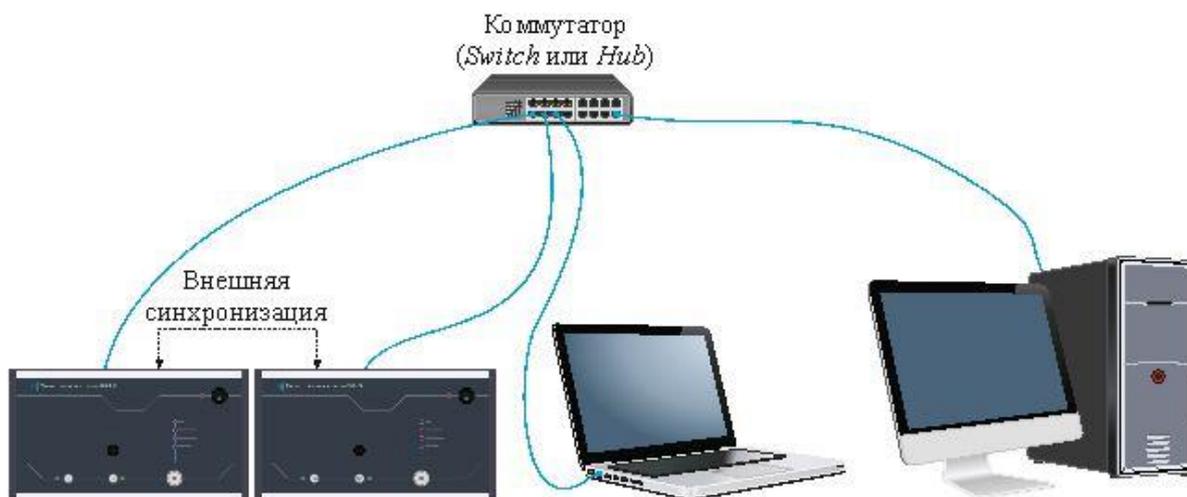


Рисунок 1.5 – Подключение к локальной сети

Вариант подключения к локальной сети отличается от прямого подключения только количеством узлов. ПК и подключённый к нему тоже можно считать локальной сетью, состоящей из двух узлов. Более важно наличие в сети сервера автоматической конфигурации – *DHCP*-сервера, для использования ко-

того необходимо включить переключатель 2 конфигулятора. Переключатель 2 можно не выключать, тогда при отсутствии *DHCP*-сервера после безуспешных попыток получить *IP*-адрес (через 20 секунд) продолжит работать так, как работал бы с выключенным переключателем 2.

Рассмотрим возможные варианты включения анализатора в локальную сеть. Пусть в вариантах с 1 по 3 в ПК и в приборе включена автоматическая конфигурация *IP*-протокола (второй переключатель конфигулятора в положении «*ON*», первый – в положении «*OFF*»).

Вариант первый – включение в локальную сеть с *DHCP*- и *DNS*-серверами. ПК и получают *IP*-адреса от *DHCP*-сервера. *DHCP*-сервер регистрирует сетевое имя анализатора на *DNS*-сервере, что позволит использовать сетевое имя в качестве адреса анализатора.

Вариант второй – включение в локальную сеть, содержащую только *DHCP*-сервер. ПК и получают от сервера *IP*-адреса. Адрес прибора будет не известен, но он будет определён с помощью функции обнаружения приборов при подключении ПО.

Вариант третий – включение одного анализатора в локальную сеть, не содержащую серверов. Вариант эквивалентен прямому подключению. Анализатор будет доступен по адресу 169.254.0.254.

Для пользователя представленные выше варианты и прямое подключение вместе с ними выглядят одинаково. Он подключает более предпочтительным для него способом – непосредственно к ПК или в локальную сеть и, при подключении посредством ПО, выбирает прибор из списка обнаруженных.

Вариант четвёртый – в ПК выключена автоматическая конфигурация *IP*-протокола. Бывают такие локальные сети, где администратор вручную задаёт адреса ПК. В измерительном блоке также надо запретить автоматическую конфигурацию – установить переключатель 2 конфигулятора в положение «*OFF*», и задать *IP*-адрес прибора в «пользовательском» наборе сетевых параметров (см. п. 1.2.4).

**!** При возникновении проблем при конфигурации сетевых параметров обратитесь к администратору локальной сети или попробуйте воспользоваться информацией и рекомендациями, изложенными в Приложение В.

## 1.2.4 Изменение сетевых параметров

Изменение сетевых параметров измерительного блока может потребоваться при подключении прибора к локальной сети или при подключении нескольких приборов к одному компьютеру.

Изменять можно только набор сетевых параметров «Пользователя». Проще всего это сделать через *WEB*-интерфейс анализатора, выполнив следующую последовательность действий.

а) Если адрес прибора не известен или он не доступен с текущими сетевыми настройками:

- выключите ;
- выполните прямое подключение, описанное в п. 1.2.2;
- выключите все переключатели конфигуратора на задней панели прибора;
- включите и подождите около 20 с.

б) Набрать в адресной строке интернет-браузера *IP*-адрес анализатора (169.254.0.254 при прямом подключении к ПК) и нажмите клавишу «**Enter**». В окне браузера отобразится стартовая страница – «Информация о приборе».

в) Нажать на кнопку «Сетевые параметры», чтобы перейти на страницу управления сетевыми параметрами «Пользователя», приведённую на рисунке 1.6.

г) Выполнив необходимые изменения, нажмите кнопку «Записать».

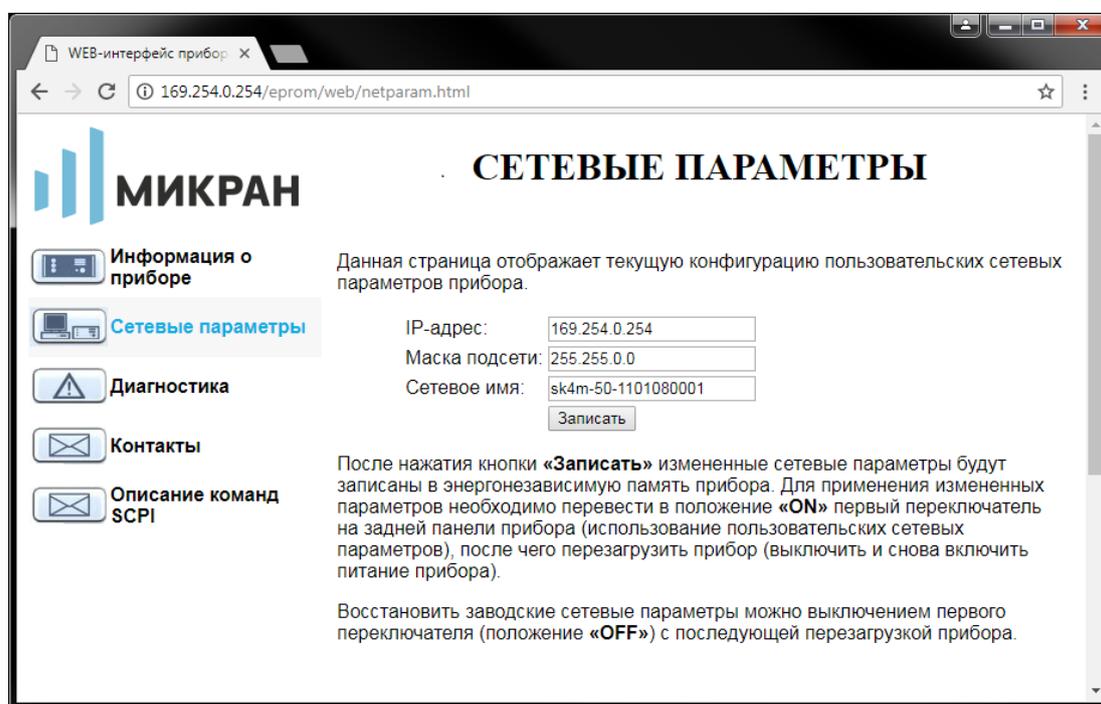


Рисунок 1.6 – Изменение сетевых параметров

*IP*-адрес должен быть уникальным в локальной сети. «Сетевое имя» не должно содержать кириллицу, пробелы, символ подчёркивания и другие служебные символы. Маску подсети обычно изменять не требуется.

**!** *Изменение сетевых параметров вступит в силу только после выключения / включения питания анализатора и при включённом первом переключателе «конфигуратора» на задней панели анализатора (рисунок 1.3).*

## 2 Описание программного обеспечения

### 2.1 Запуск программы и подключение к анализатору

Запуск ПО *Graphit* в режиме анализатора спектра производится, используя соответствующий ярлык рабочего стола или меню «Пуск» ОС *Windows*® (рисунок 2.1).

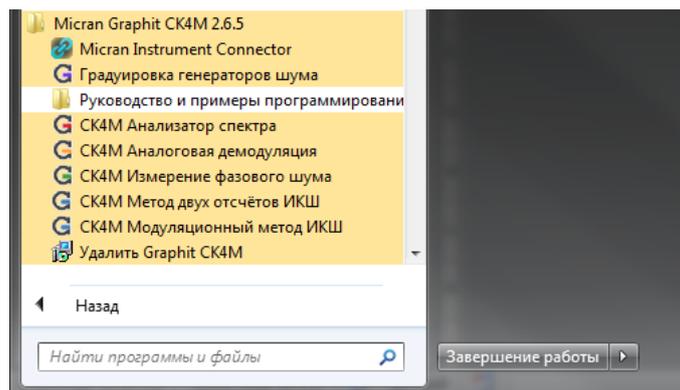


Рисунок 2.1 – Запуск ПО *Graphit* из меню «Пуск»

Для приборов СК4М помимо режима анализатора спектра доступны режимы:

- измерения коэффициента шума модуляционным методом (программная опция ИКШ, раздел 3.2);
- измерения коэффициента шума методом двух отсчётов (программная опция ИКШ, раздел 3.2);
- градуировки генераторов шума (программная опция ГРП, раздел 3.3);
- измерения фазового шума (программная опция ИФШ, раздел 3.4);
- аналоговой демодуляции (программная опция АДП, раздел 3.5).

**Смена режима измерения** производится путём закрытия текущей сессии ПО *Graphit* и повторного открытия при помощи соответствующего ярлыка меню «Пуск» или рабочего стола ОС *Windows*®, либо выбором необходимого пункта в диалоговом окне, вызываемом из меню программы «Файл > Режим измерения...» (рисунок 2.2).

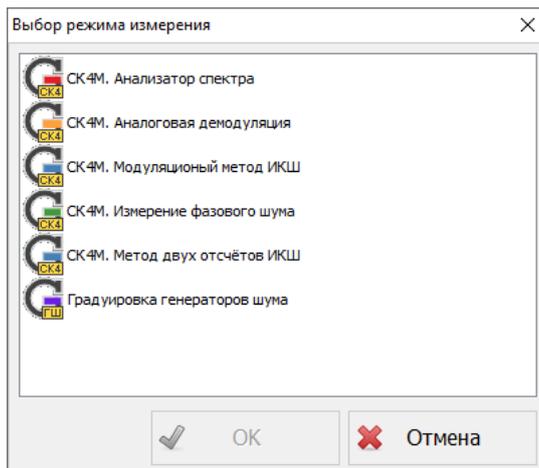


Рисунок 2.2 – Выбор режима измерения

После старта ПО *Graphit* появится диалог подключения к анализатору (рисунок 2.3). Под подключением здесь понимается установка *TCP*-соединения с измерительным блоком, инициализация и установка текущих параметров.

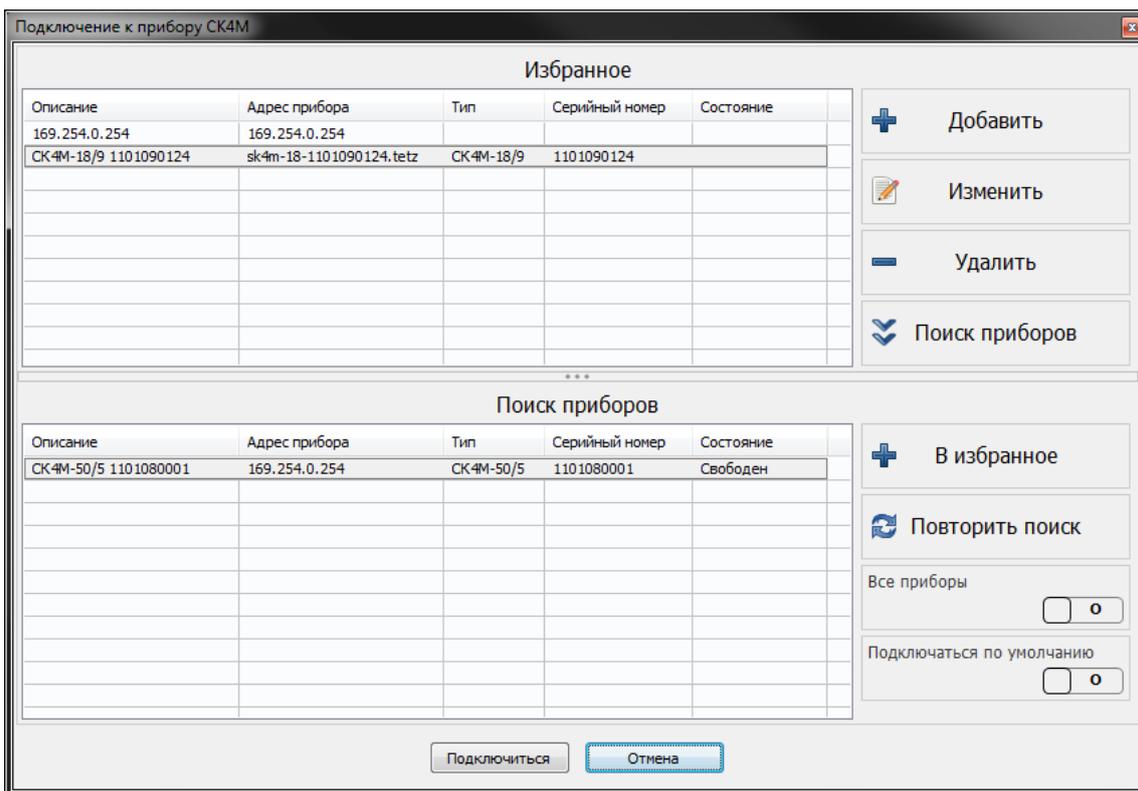


Рисунок 2.3 – Диалоговое окно подключения к анализатору

Диалоговое окно подключения к анализатору содержит панель «Избранное» и «Поиск приборов», в которых содержатся списки приборов с их описанием, адресом, типом, серийным номером и состоянием. В правой части диалогового окна расположены кнопки управления, позволяющие добавлять, удалять и изменять элементы списка «Избранное». Кнопка «Поиск приборов» позволяет

скрыть/отобразить список «Поиск приборов». Включение переключателя «Подключаться по умолчанию» приведёт к автоматическому подключению к выбранному анализатору при следующем старте ПО *Graphit*. Для отключения данной опции необходимо после запуска программы открыть окно подключения, используя пункт главного меню программы «Управление > Подключиться к прибору СК4М», и установить данный переключатель в положение «О».

Контекстное меню списков окна подключения (рисунок 2.4) кроме команд управления списками содержит дополнительные функции: копирование адреса выделенного прибора в буфер обмена, переход в браузере на *WEB*-интерфейс прибора и создание ярлыка ПО *Graphit* на рабочем столе для быстрого запуска и подключения к выбранному анализатору.

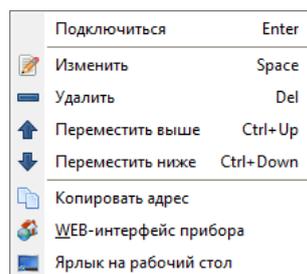


Рисунок 2.4 – Контекстное меню списка окна подключения

После выбора анализатора из списка и нажатия кнопки «Подключиться» или двойного щелчка по элементу списка выполняется попытка подключения к анализатору. Если ПО не удалось установить подключение, то отобразится сообщение об ошибке (рисунок 2.5). После нажатия кнопки «ОК» диалоговое окно подключения к анализатору примет исходный вид, приведённый на рисунке 2.3. Нажатие кнопки «Отмена» закроет диалоговое окно подключения к анализатору.

Чтобы повторно открыть диалог подключения к анализатору, следует воспользоваться пунктом меню «Управление > Подключение к прибору СК4М».

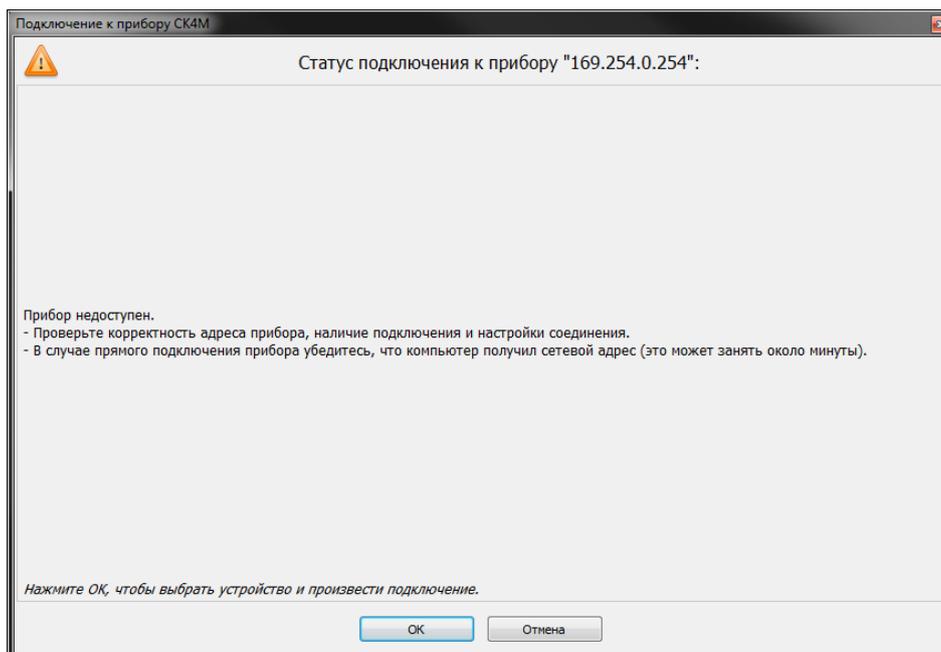


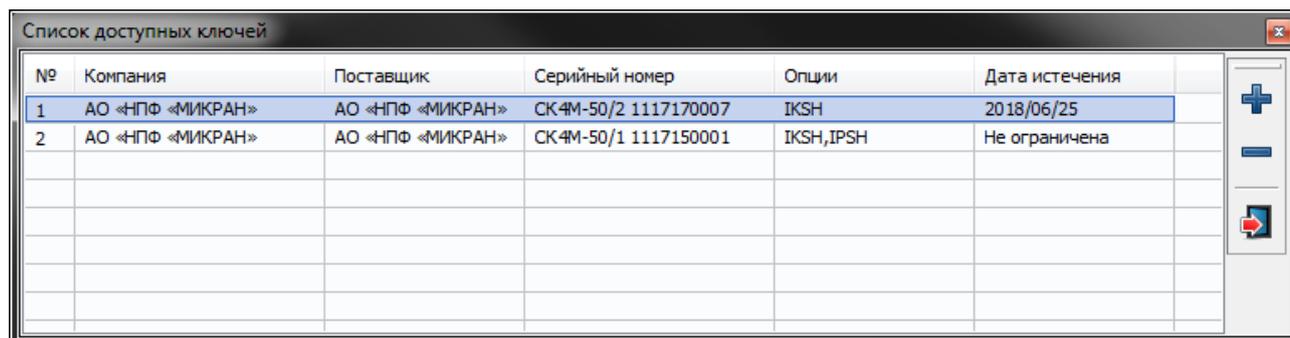
Рисунок 2.5 – Сообщение о неудачном подключении к анализатору

Функция «Повторить поиск...» позволяет повторить обнаружение доступных приборов. ПО обращается к *DNS*-серверу с просьбой преобразовать *IP*-адрес анализатора в сетевое имя. Если это удаётся, то в столбце «Адрес прибора» вместо *IP*-адреса отображается сетевое имя. Невозможность преобразования *IP*-адреса в сетевое имя не является ошибкой и связана, скорее всего, с тем, что не использовал автоматическую конфигурацию сетевых параметров (переключатель 2 на задней панели выключен, рисунок 1.3) и не зарегистрировал своё имя на сервере. Если поиск осуществлялся при выключенном переключателе «Все приборы», то из найденных устройств будут отображены только подходящие к текущей измерительной схеме анализаторы.

**❗ При возникновении проблем с подключением к анализатору воспользуйтесь информацией и рекомендациями, изложенными в Приложение Б.**

## 2.2 Активация программных опций

Для активации программной опции вызовите пункт меню «Управление > Список ключей...» и в появившемся окне нажмите на кнопку  для выбора файла-ключа лицензии с расширением *lk* (рисунок 4.11). Файл-ключ лицензии, поставляемой вместе с анализатором, находится в директории *Licenses* на *flash*-накопителе. После добавления лицензии активация опций происходит автоматически, перезагрузка ПО *Graphit* не требуется. Список доступных программных опций ПО *Graphit* приведён в таблице 2.1.



№	Компания	Поставщик	Серийный номер	Опции	Дата истечения
1	АО «НПФ «МИКРАН»	АО «НПФ «МИКРАН»	СК4М-50/2 1117170007	IKSH	2018/06/25
2	АО «НПФ «МИКРАН»	АО «НПФ «МИКРАН»	СК4М-50/1 1117150001	IKSH,IPSH	Не ограничена

Рисунок 2.6 – Окно управления ключами лицензий

Т а б л и ц а 2.1 – Программные опции ПО *Graphit*

Обозначение	Название	Описание
ИКШ (IKSH)	Измерение коэффициента шума	Позволяет проводить измерения коэффициента шума и коэффициента передачи устройств модуляционным методом. Для работы с данной опцией необходим генератор шума, рекомендуется использовать опцию «МУА».
ИФШ (IPSH)	Измерение фазовых шумов	Позволяет проводить измерения фазовых шумов источников гармонических сигналов.
АДП (ADP)	Аналоговая демодуляция	Содержит дополнительные инструменты для анализа амплитудно-, частотно- и фазомодулированных сигналов.
ГРП (GRP)	Градуировка генераторов шума	Позволяет проводить градуировку мер спектральной плотности мощности шумового радиополучения – генераторов шума – различными методами. Режим градуировки предусматривает допусковый контроль согласно заданным пределам суммарной среднеквадратической погрешности измерений, нестабильности КП тракта анализатора (с её исключением), сходимости результатов измерений; а также исключение вносимых потерь.
СРП (SRP)	Скрытый режим пользователя	Опция предназначена для предотвращения возможности считать из программы или измерить при помощи технических средств диапазона рабочих частот исследуемого устройства лицами, не имеющими права доступа к закрытой информации. <b>Доступна только в режимах АС и ИКШ.</b>

## 2.3 Описание элементов интерфейса пользователя

Окно ПО *Graphit* содержит главное меню, панели инструментов, а также одну или несколько диаграмм и панели управления. На рисунке 2.7 меню и панели инструментов расположены в верхней части окна, панели управления расположены внутри соответствующей области в правой части окна.

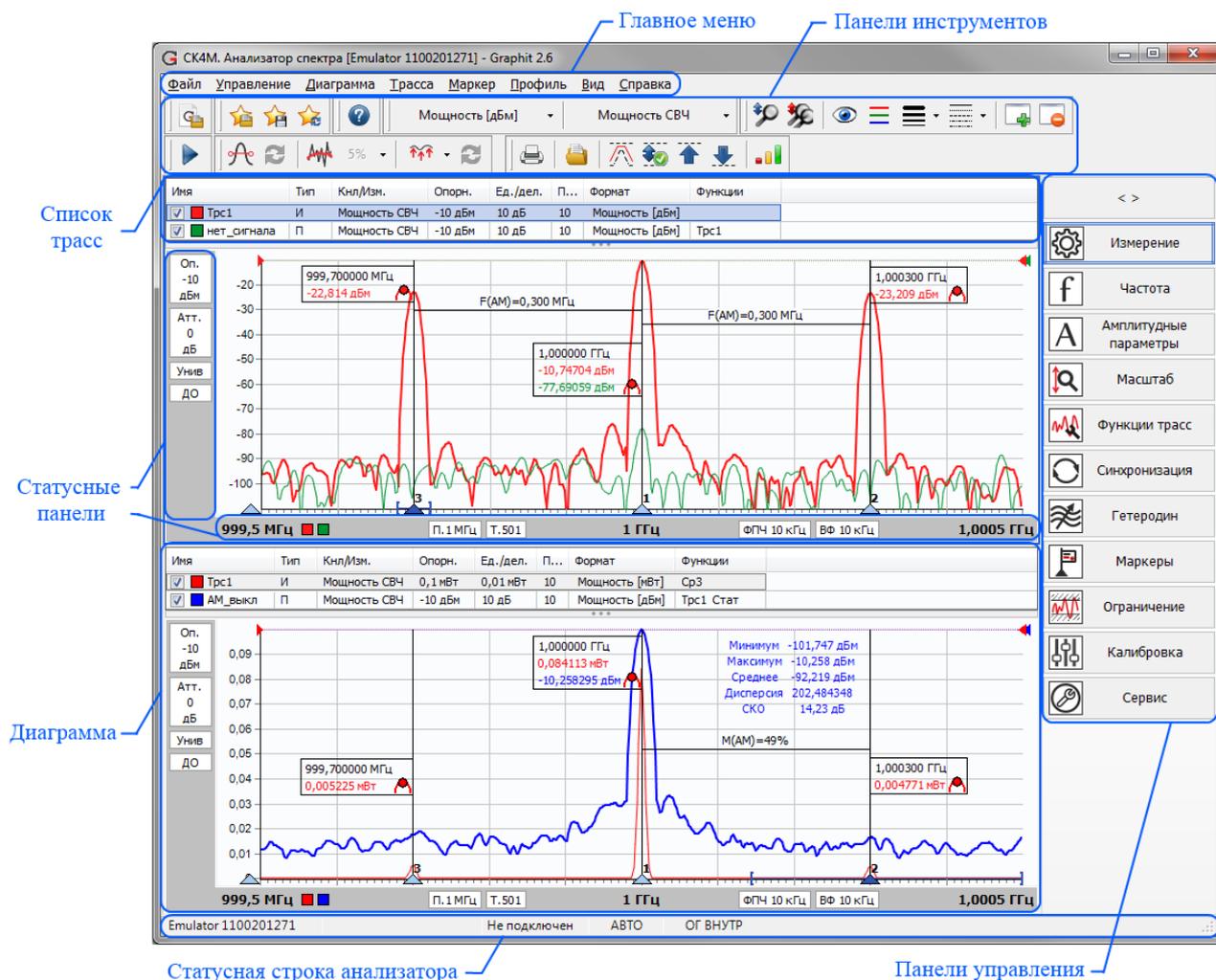


Рисунок 2.7 – Общий вид ПО *Graphit*

Боковая **статусная панель** отображает амплитудные параметры, список которых приведён в таблице 2.2. При наведении мыши на индикатор панели появится всплывающая подсказка с расшифровкой обозначения.

Нижняя **статусная панель** отображает следующие параметры измерения:

- Начальная частота **10 МГц**;
- Цветовые индикаторы трасс диаграммы (кликом мыши по любому из них выбирается трасса, обозначенная цветом индикатора);

- Полоса обзора ;
- Количество точек ;
- Центральная частота ;
- Полоса фильтра ПЧ ;
- Полоса видеофильтра ;
- Конечная частота .

**Статусная строка** содержит информацию о подключённом анализаторе:

- тип и серийный номер;
- IP-адрес или сетевое имя анализатора;
- статус подключения к анализатору;
- режим опорного генератора «ОГ».

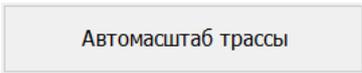
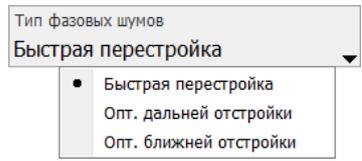
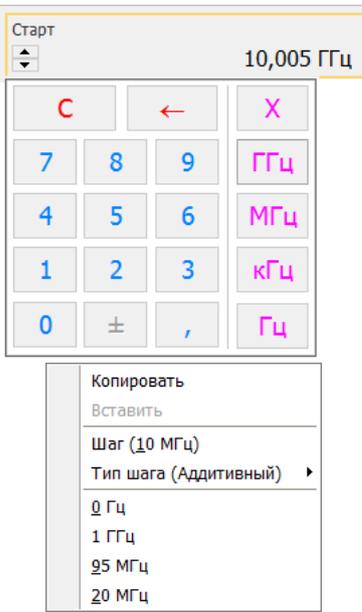
Т а б л и ц а 2.2 – Индикаторы боковой статусной панели

Наименование индикатора	Вид	Описание
Опорный уровень	<input type="text" value="Оп. -30 дБм"/>	Опорный уровень анализатора
Значение ВЧ аттенюатора	<input type="text" value="Атт. 20 дБ"/>	Значение ослабления входного ступенчатого ВЧ аттенюатора
Компенсация внешней цепи	<input type="text" value="КВЦ"/>	Включена компенсация внешней цепи
Тип детектора	<input type="text" value="Выб"/>	Детектор выборки
	<input type="text" value="Унив"/>	Универсальный детектор
	<input type="text" value="Максп"/>	Максимально-пиковый
	<input type="text" value="Минп"/>	Минимально-пиковый
	<input type="text" value="Сред"/>	Детектор среднего
Тип фазовых шумов	<input type="text" value="#БП"/>	Быстрая перестройка
	<input type="text" value="#ДО"/>	Оптимизация дальней отстройки
	<input type="text" value="#БО"/>	Оптимизация ближней отстройки
	<input type="text" value="#"/>	Ручной режим
Малошумящий усилитель	<input type="text" value="МШУ"/>	Включен малошумящий усилитель
Используется опорный сигнал	<input type="text" value="ОПОР СИГН"/>	Используется внутренний опорный сигнал 100 МГц

**Панели управления** являются основным средством задания параметров анализатора и измерений, позволяют изменять настройки отображения и операций над трассами. Область панелей управления можно «свернуть» или «раз-

вернуть», кликнув мышью по их заголовку или по значку «>>» или «<<», расположенному выше. Элементы управления, используемые на панелях ПО *Graphit*, представлены в таблице 4.5.

Т а б л и ц а 2.3 – Элементы панелей управления

Название	Вид	Описание
Кнопка		Кнопка для выполнения операции.
Переключатель		Переключатель (тумблер). Аналог классического флажка.
Поле со списком		Предназначено для выбора одного из элементов выпадающего списка.
Поле с регулировкой значения		Элемент задания значений с возможностью ввода с экранной клавиатуры (ЭК), либо перелистыванием с определённым шагом при помощи колеса прокрутки мыши или клавишами-стрелками «вверх»/«вниз». Вызов экранной клавиатуры происходит по нажатию левой кнопки мыши, контекстного меню для настроек шага или выбора одного из прошлых значений – по нажатию правой кнопки мыши.

**Диаграмма** – область экрана, содержащая графики (трассы), список трасс, координатные оси, боковую и нижнюю статусные панели, линии сетки и маркеры.

**Трасса** – последовательность измеренных, рассчитанных или запомненных точек данных «измерения», соединённых линией. Существуют следующие типы трасс:

- **измерительная трасса**, отображающая результаты измерений;
- **математическая трасса**, отображающая результат поточечной арифметической операции над трассами – сложение, вычитание, умножение, деление и другие;
- **трасса памяти**, представляющая собой статическую копию данных

любой другой трассы произвольного типа, либо данные, загруженные из файла.

**Маркеры** – индикаторы на диаграмме, содержащие численные значения заданных точек трасс. Благодаря широкому набору функций, описанных в п.2.10, маркеры способны находить по заданному критерию особые точки на трассе, вычислять вторичные измеряемые параметры (такие как полоса пропускания, коэффициент прямоугольности, добротности и т.п.), отображать статистические данные. Маркеры или их связи (**связные маркеры**) позволяют установить некоторые параметры измерения или настройки отображения трассы.

В окне ПО *Graphit* одновременно могут отображаться от 1 до 4 диаграмм, и в каждой диаграмме могут отображаться до 30 трасс (максимальное число измерительных трасс – 10). Пользователю разрешено отображать на одной диаграмме трассы в разных форматах. На рисунке 2.8 показан пример диаграммы с контекстным меню, появившемся после клика правой кнопкой мыши по области отображения трасс.

- i** Чтобы **создать или удалить диаграмму**, следует щёлкнуть правой кнопкой мыши по области отображения трасс и в появившемся контекстном меню выбрать соответствующий пункт. Удалить единственную диаграмму невозможно.*
- i** При **двух и более диаграммах** двойной щелчок мышью по горизонтальной шкале или нажатие клавиши «**F11**» **развернёт диаграмму** до максимальных размеров, скрыв соседние диаграммы. Повторный двойной клик мышью по горизонтальной шкале или нажатие клавиши «**F11**» **вернёт диаграмму** в прежнее состояние.*

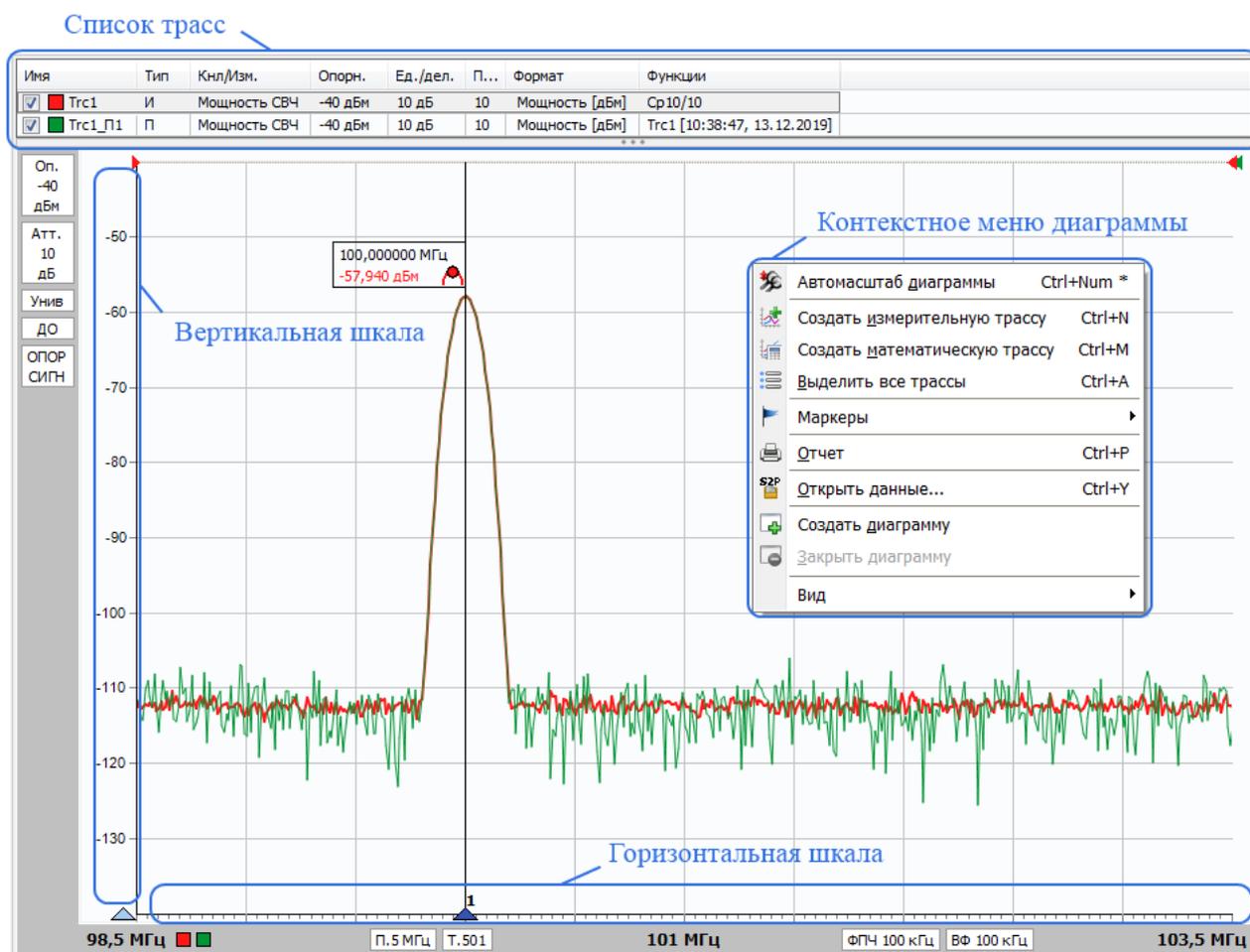


Рисунок 2.8 – Диаграмма и её контекстное меню

**Список трасс**, расположенный в верхней части диаграммы, представляет собой таблицу, содержащую перечень трасс и их атрибуты. В столбце «Имя» кроме названия трассы содержится флажок, позволяющий скрыть или отобразить трассу, и индикатор цвета трассы. Двойной щелчок мышью по индикатору цвета трассы позволит выбрать цвет в появившемся стандартном диалоге выбора цвета. Двойной щелчок мышью по названию трассы позволит переименовать трассу.

В столбце «Тип» отображается тип трассы: «И» – измерительная, «П» – памяти или «М» – математическая. В столбце «Кнл/Изм.» указано название измерения (в данном случае – «Мощность СВЧ»).

В столбцах «Опорн.», «Ед./дел.» и «Поз.» отображаются значения опорного уровня, масштаба (ед./дел.) трассы и позиции опорного уровня. Двойной клик мышью по любой из указанных ячеек позволит изменить значение соответствующего параметра во всплывающем поле. Более подробно эти параметры описаны в п. 2.7.1.

**Важно учесть, что опорный уровень является параметром, определяющим максимальный измеряемый уровень сигнала, и задающим различные аппаратные настройки прибора, поэтому для всех измерительных трасс опор-**

ный уровень одинаков и задаётся в панели управления «Амплитудные параметры» (см. п. 2.6), а позиция опорного уровня неизменна и равна 10. Также недоступен для измерительных трасс и выбор способа задания масштаба (кнопка исчезает с панели при выделении трассы).

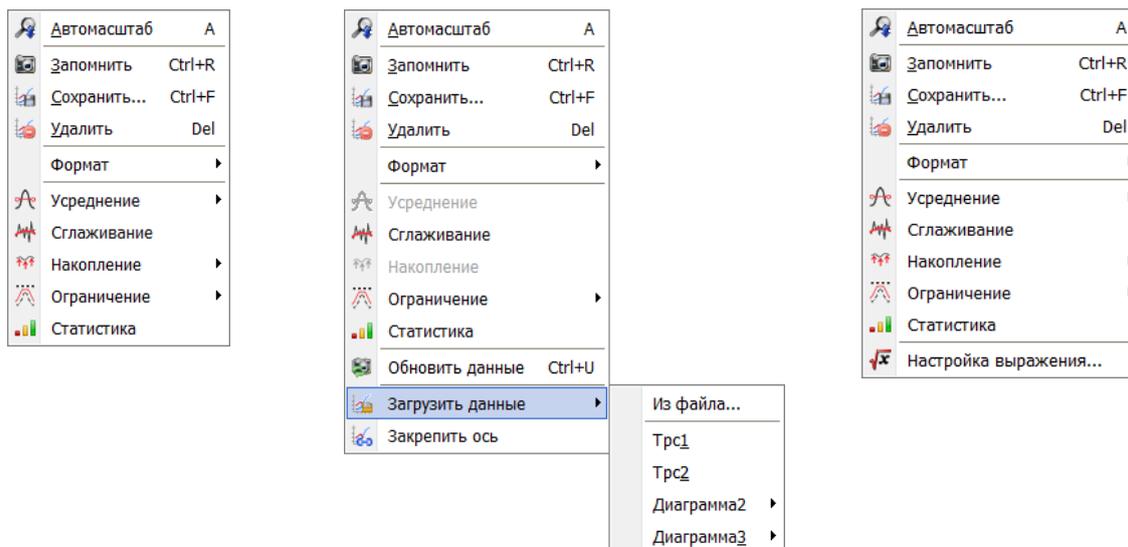
Столбец «Формат» отображает текущий формат данных трассы. Двойной клик мышью в этом поле откроет список доступных форматов.

В столбце «Функции» отображаются сокращения названий операций, применяемых к результатам измерений (подробнее в п. 2.7), а также дополнительная информация для математических и трасс памяти.

При наличии нескольких диаграмм активная диаграмма выделяется рамкой. Трассу можно выделить непосредственно в списке, либо щёлкнув левой кнопкой мыши по пиктограмме трассы с её цветом на нижней статусной панели канала. Можно выделить несколько трасс, удерживая клавишу «**Ctrl**» или «**Shift**», для того, чтобы управлять их атрибутами одновременно. Все пункты меню, а также элементы панелей управления и инструментов, касающиеся трасс, имеют отношение только к выделенным трассам и соответствующим им измерительным каналам.

-  Чтобы **создать измерительную трассу**, следует в контекстном меню области отображения трасс выбрать соответствующий пункт или нажать комбинацию клавиш «**Ctrl+N**». Затем в контекстном меню созданной трассы или в панелях управления и инструментов задать необходимые параметры.
-  Чтобы **удалить трассу**, следует выбрать в контекстном меню удаляемой трассы пункт «Удалить» или выделить трассу и нажать клавишу «**Del**».

Список трасс автоматически расширяется при добавлении новой трассы (если установлен флажок «Вид > Автовысота списка трасс» в меню диаграммы), если общее количество трасс не превышает 4. Также существует возможность изменения его высоты пользователем перемещением нижней границы. Можно немного сократить занимаемую списком площадь экрана, скрыв заголовки столбцов, очистив флажок «Вид > Заголовки столбцов» в меню диаграммы, или нажав клавишу «**F12**».



а) Меню измерительной трассы

б) Меню трассы памяти

в) Меню математической трассы

Рисунок 2.9 – Контекстные меню трасс

**Контекстные меню** (рисунок 2.9) предназначены для быстрого доступа к свойствам и функциям диаграмм, трасс и маркеров. Необходимо отметить, что некоторые операции (например, сохранение данных трассы в файл), доступны только из контекстных меню. Далее под термином «меню» понимается контекстное меню соответствующего объекта.

## 2.4 Главное меню программы

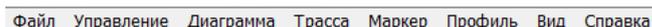


Рисунок 2.10 – Главное меню

Главное меню ПО *Graphit*, изображённое на рисунке 2.10, отображается в верхней части окна программы и состоит из следующих пунктов.

**Файл** – используется для смены режима измерения ПО *Graphit*, выхода из программы, а также содержит функции создания и отправки снимков окна программы на определённый адрес электронной почты (рисунок 2.11).

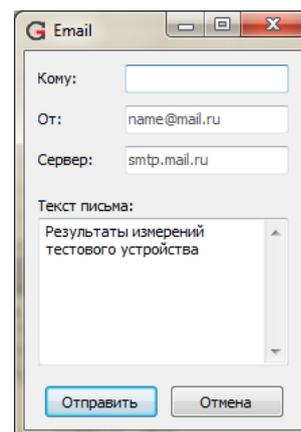
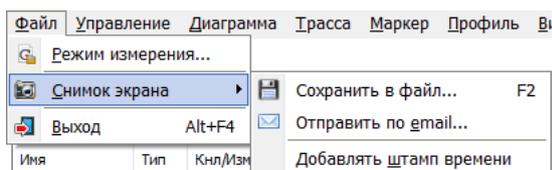


Рисунок 2.11 – Создание и отправка снимков экрана

**Управление** – содержит команды подключения/отключения к анализатору и запуска/остановки процесса измерений, а также запуска окна управления ключами лицензий ПО *Graphit*.

**Диаграмма** – дублирует контекстное меню активной диаграммы (рисунок 2.8).

**Трасса** – дублирует контекстное меню выделенной(-ых) трассы(трасс), изображённое на рисунке 2.9.

**Маркер** – дублирует контекстное меню управления активным маркером (рисунок 2.48).

**Профиль** – предназначено для сохранения/загрузки параметров измерений.

**Вид** – используется для включения или отключения панелей инструментов, панелей управления, а также содержит другие настройки графического оформления ПО *Graphit*, описанные в п. 2.5.

**Справка** – обеспечивает доступ к справочной системе и информации о текущей версии ПО *Graphit*.

**i** Существует возможность выбора пункта меню с помощью клавиатуры. Для этого достаточно нажать клавишу «**Alt**» или «**F10**» и клавишами управления курсором выбрать нужный пункт.

**i** После нажатия клавиши «**Alt**» или «**F10**» в тексте на многих пунктах меню появляются подчёркнутые символы. Последовательное нажатие клавиши «**Alt**», затем «подчёркнутый символ» эквивалентно выбору пункта меню.

## 2.5 Настройка графического интерфейса

В меню «Вид» пользователю предоставляется возможность настройки отображения объектов ПО *Graphit* (рисунок 2.12).

Цветовая схема задаётся в меню «Вид > Темы оформления». На выбор предлагается 3 темы оформления: «Стандартная», «Графит» и «Айсберг» (рисунок 2.13).

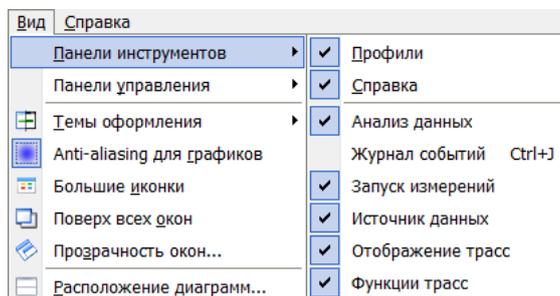
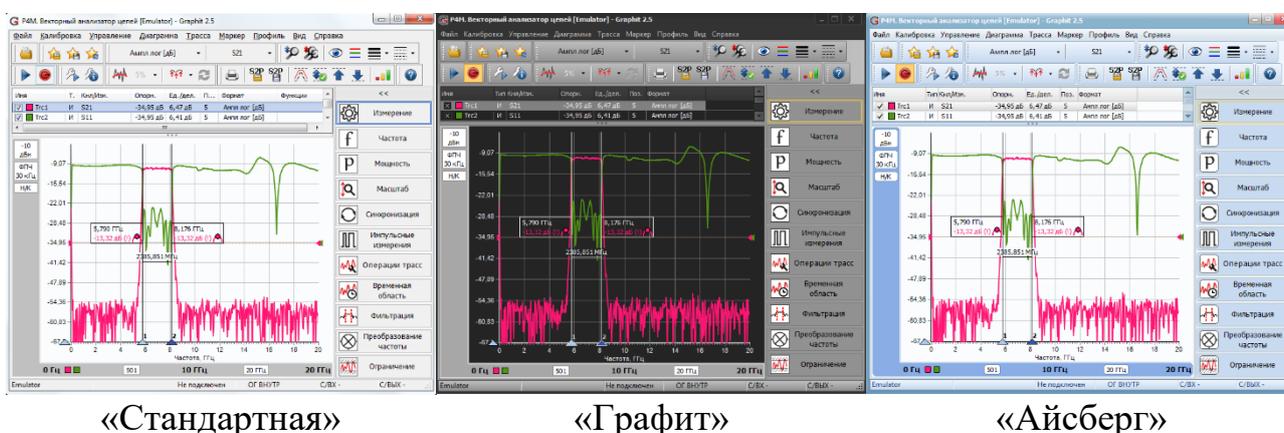


Рисунок 2.12 – Меню «Вид»



«Стандартная»

«Графит»

«Айсберг»

Рисунок 2.13 – Темы оформления

Эффект «*Anti-aliasing* для графиков» используется для визуального сглаживания линий трасс на диаграмме (не связан с функцией «Сглаживание» для трасс)<sup>1</sup>.

**i** Для «медленных» ПК рекомендуется отключать эффект «*Anti-aliasing* для графиков», а также использовать тему оформления «Стандартная».

Функция «Поверх всех окон» предназначена для фиксированного отображения ПО *Graphit* поверх остальных окон *Windows®* или других программ.

Настройка отображения «Большие иконки» подразумевает использование увеличенных значков кнопок панелей инструментов, в том числе и на дочерних окнах<sup>1</sup>.

Эффект «Прозрачность» может быть применён ко всем дочерним окнам программы ПО *Graphit* и отключён по умолчанию. Глубина эффекта прозрачности регулируется ползунком в соответствующем окне (рисунок 2.14).

<sup>1</sup> Настройка применяется только при следующем запуске программы.

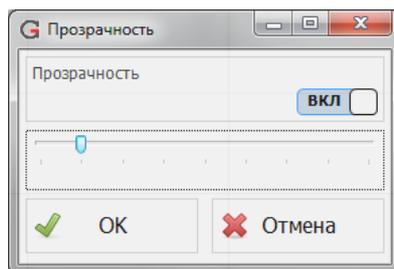


Рисунок 2.14 – Регулировка эффекта прозрачности

В окне «Расположение диаграмм» можно изменять их положение и размеры.

Панели инструментов, расположенные в верхней части главного окна программы, могут быть использованы для быстрого доступа к наиболее востребованным командам и функциям. Пользователь может перемещать панели инструментов мышью, отключать или включать их, используя меню «Вид > Панели инструментов». При наведении указателя мыши на определённый элемент панели появится всплывающая подсказка.

Для включения тех или иных панелей управления следует установить соответствующие флажки в соответствующем подменю «Вид» (рисунок 2.15-а), либо воспользоваться контекстным меню любой из кнопок переключения панелей управления (рисунок 2.15-б). Краткое описание содержимого панелей представлено в п. 2.6.

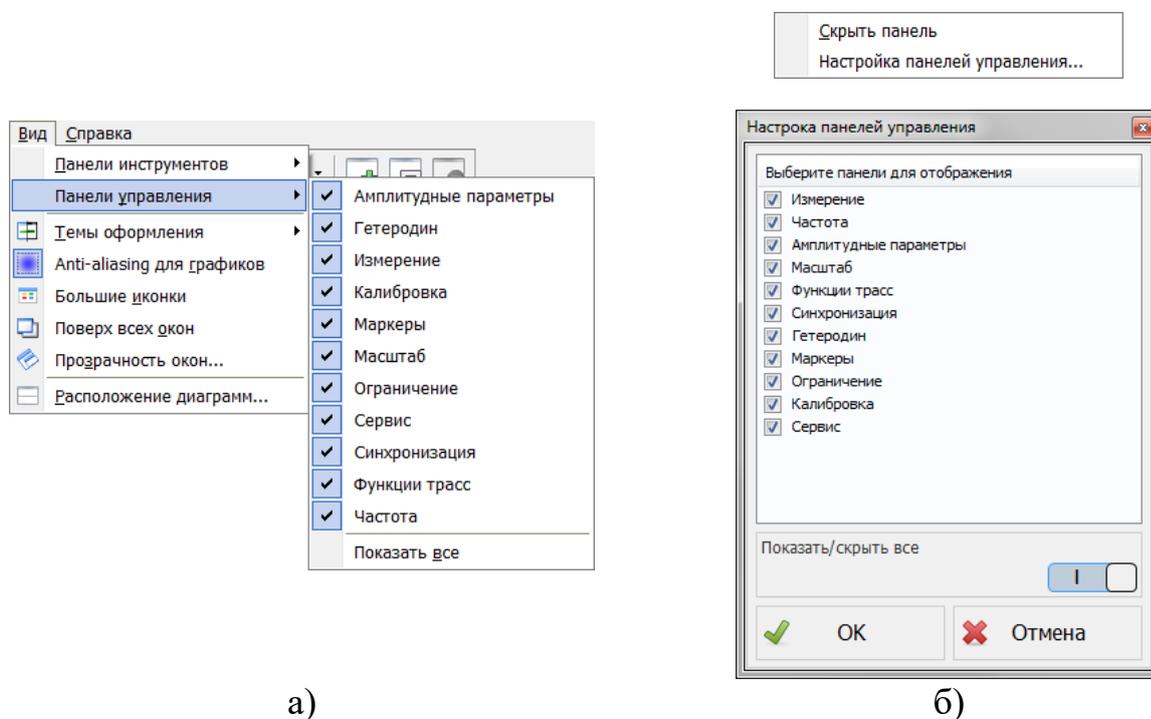


Рисунок 2.15 – Настройка панелей управления

## 2.6 Панели управления и параметры

Для установки параметров измерения и настройки функций трасс используются, в основном, панели управления.

Панели управления приведены на рисунках 2.16 – 2.19.

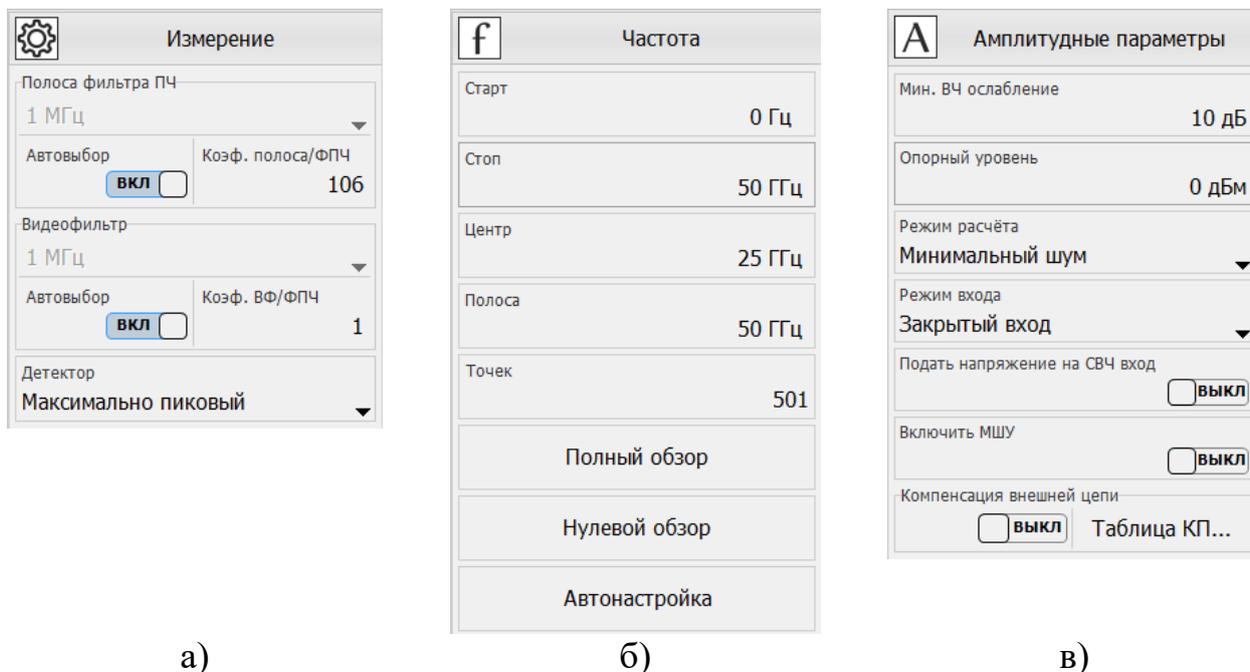


Рисунок 2.16 – Панели управления «Измерение» (а), «Частота» (б) и «Амплитудные параметры» (в)

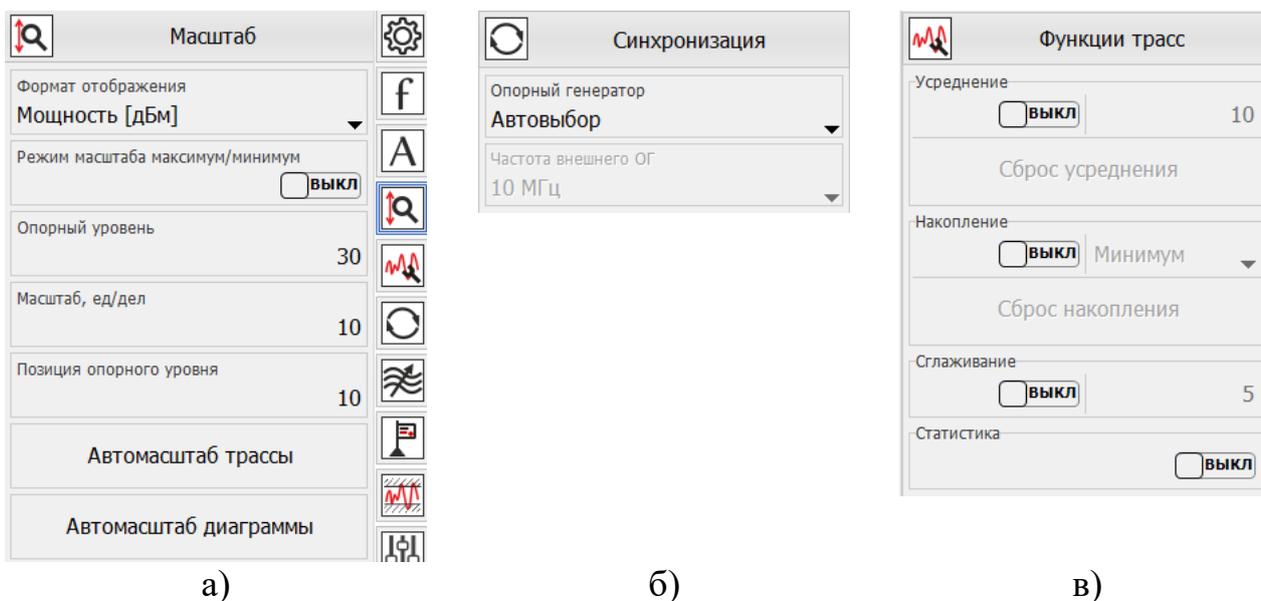


Рисунок 2.17 – Панели управления «Масштаб» (а), «Синхронизация» (б) и «Функции трасс» (в)

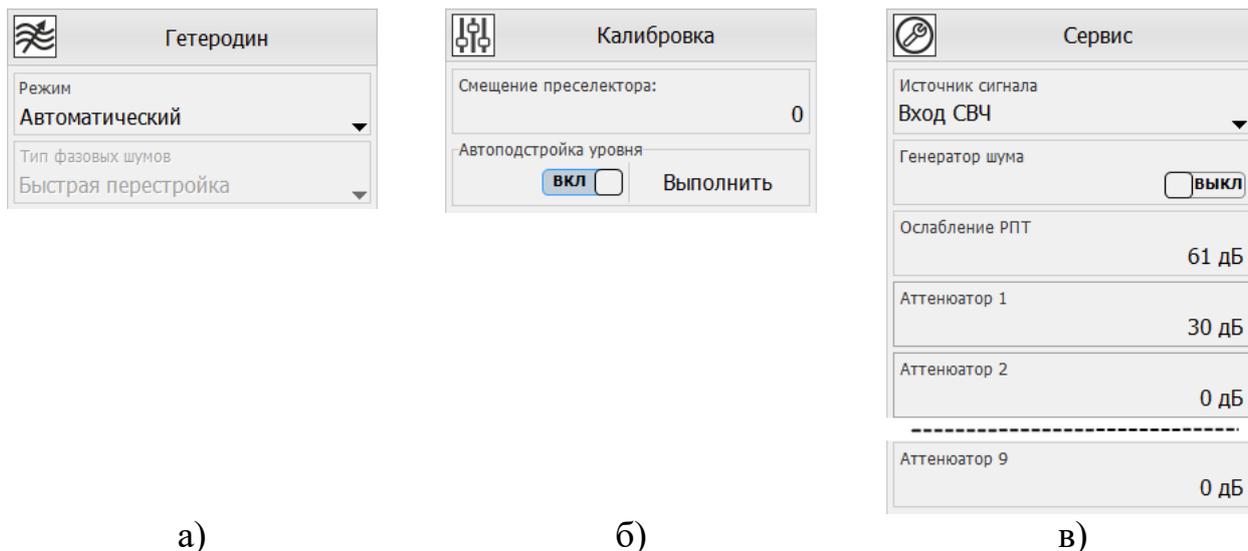


Рисунок 2.18 – Панели управления «Гетеродин» (а), «Калибровка» (б) и «Сервис» (в)

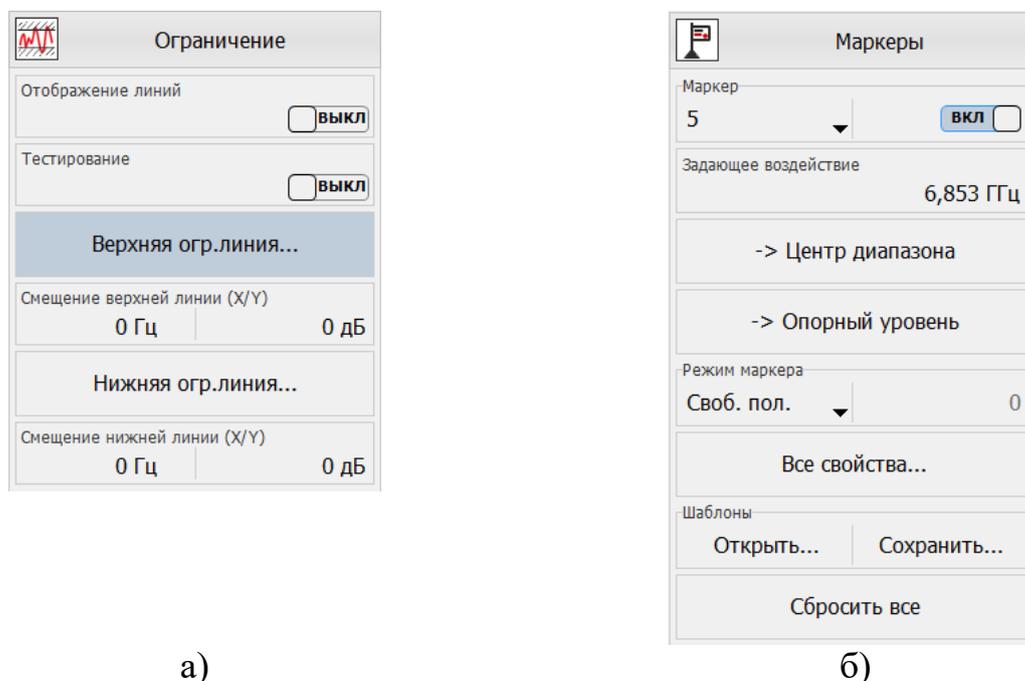


Рисунок 2.19 – Панели управления «Ограничение» (а) и «Маркеры» (б)

### 2.6.1 Панель «Измерение»

- «Полоса фильтра ПЧ» – полоса пропускания разрешающего фильтра ПЧ. Уменьшение фильтра ПЧ приводит к увеличению разрешающей способности по частоте, уменьшению отображаемого уровня шума и увеличению времени измерения. Доступен режим автоматического выбора фильтра – при включении тумблера «Автовыбор» активируется поле ввода параметра «Коэф. полоса/ФПЧ»,

- определяющего отношение полосы обзора к полосе фильтра ПЧ;
- «Видеофильтр» – полоса пропускания видеофильтра. Видеофильтрация эквивалентна усреднению значений мощности в Ваттах (что соответствует среднеквадратичному усреднению напряжения с детектора огибающей в каждой точке трассы), способствует уменьшению дисперсии отображаемого шума и приводит к увеличению времени измерения. Доступен режим автоматического выбора видеофильтра – при включении тумблера «Автовыбор» активируется поле ввода параметра «Коэф. ВФ/ФПЧ» определяющего отношение полосы видеофильтра к полосе фильтра ПЧ;
  - «Детектор» (детектор отображения) – алгоритм, определяющий значение в каждой отображаемой точке трассы в результате обработки нескольких значений, фактически измеренных в частотном интервале этой точки:
    - «максимально-пиковый» (или «минимально-пиковый») детектор в качестве отображаемого значения в точке выбирает максимальное (или минимальное) значение сигнала в частотном интервале данной точки;
    - «детектор среднего» рассчитывает среднее арифметическое значений линейной мощности (что соответствует среднеквадратичному усреднению напряжения с детектора огибающей) в частотном интервале данной точки;
    - более сложным является алгоритм «универсального детектора». Если амплитуда измерений в частотном интервале и поднимается и падает, то сигнал в пределах интервала можно классифицировать как шум. В этом случае точки с нечётными номерами отображают измерение с максимальной амплитудой, а точки с чётными номерами – измерения с минимальной амплитудой. Для предотвращения потери информации о сигнале, который проявляется только в чётных интервалах, максимальное значение в этом интервале также запоминается, а в следующем (нечётном) интервале отображается наибольшее из двух максимальных значений – либо запомненное из предыдущего интервала, либо максимальное из текущего;
    - «детектор выборки» в качестве отображаемого в точке значения выбирает мгновенное значение сигнала в конце частотного интервала данной точки.

## 2.6.2 Панель «Частота»

- «Старт» – начальная частота сканирования;
- «Стоп» – конечная частота сканирования;

- «Центр» – центральная частота сканирования;
- «Полоса» – полоса обзора;
- «Точек» – количество точек;
- «Полный обзор» – установка полного диапазона сканирования;
- «Нулевой обзор» – установка сканирования на фиксированной частоте, определяемой полем «центр», с заданным количеством точек.
- «Автонастройка» – автоматический поиск сигнала в рабочем диапазоне частот анализатора и настройка параметров сканирования (диапазон частот, опорный уровень) в соответствии с измеренными характеристиками сигнала (в случае его обнаружения).

### 2.6.3 Панель «Амплитудные параметры»

- «Мин. ВЧ ослабление» – значение ослабления ВЧ аттенюатора устанавливается автоматически, однако можно задать минимальное ВЧ ослабление аттенюатора, например, для улучшения КСВН входа анализатора, либо защиты от выхода из строя входных цепей;
- «Опорный уровень» определяет максимальную мощность, которую можно измерить. Заданная величина будет применяться в качестве опорного уровня всех измерительных трасс.

**!** *Внимание! Уровень сигнала на входе анализатора не должен превышать значение опорного уровня! Для защиты входных цепей анализатора рекомендуется устанавливать минимальное ВЧ-ослабление не менее 10 дБ*

- «Режим расчёта» – в зависимости от значений опорного уровня и минимального ВЧ ослабления автоматически рассчитывает и устанавливает нужные значения всех аттенюаторов и усилителей в соответствии с выбранным из списка режимом расчёта:
  - «оптимальный режим» обеспечивает оптимизацию, при которой уровень комбинационных искажений не превышает уровень шума;
  - «минимальный шум» – уровень шума является минимально возможным для анализатора. В данном режиме в полосе обзора возможно появление искажений;
  - «фиксированное ВЧ-ослабление» применяет ослабление ВЧ-аттенюатора равным минимальному значению, заданному вне зависимости от величины опорного уровня. Данный режим следует использовать осторожно, так как существует вероятность перегрузки входных цепей;
- «Режим входа» (доступно при наличии опции «РКА» или «АПА») – переключает состояние входных цепей между состояниями «открытый вход» и «закрытый вход» путём подключения/отключения

входного разделительного конденсатора. Закрытый вход обеспечивает защиту входных цепей анализатора от повреждения постоянным напряжением. Открытый вход нужен для измерения низкочастотных сигналов. При включении анализатора по умолчанию включается режим «закрытый вход». Об одном из включённых состояний также сигнализируют соответствующие светодиодные индикаторы на передней панели анализатора;

- «Подать напряжение на СВЧ вход» (доступно при наличии опции «АПА») – производится подключение сигнала, поданного на вход адаптера питания, к центральному проводнику СВЧ входа анализатора. О включённом питании также сигнализирует светодиодный индикатор на передней панели анализатора;
- «Включить МШУ» (доступен при наличии опции «МУА» и при значениях опорного уровня от минус 30 дБм и ниже) – включает малозумящий предусилитель. О включении предусилителя сигнализирует светодиодный индикатор «МШУ» на передней панели анализатора;
- «Компенсация внешней цепи» - позволяет задать частотные коэффициенты передачи внешних цепей, подключаемых к входу СВЧ анализатора, с целью учёта этих параметров и коррекции отображаемого уровня, например, для компенсации потерь сигнала в кабеле и т.п. Характеристика формируется путём кусочно-линейной аппроксимации заданных точек. Вне заданного диапазона значение корректирующего коэффициента экстраполируется путём сохранения уровня ослабления крайних заданных значений.

#### 2.6.4 Панель «Масштаб»

- «Формат отображения» – выбор формата отображения трассы;
- «Режим масштаба максимум/минимум» – включение или отключение режима задания масштаба трассы через минимум и максимум левой оси;
- «Опорный уровень»/«Максимум» – задание опорного уровня, либо задание верхней границы левой оси трассы при включённом режиме масштаба максимум/минимум;
- «Масштаб, ед/дел»/«Минимум» – задание масштаба трассы, либо задание нижней границы левой оси трассы при включённом режиме масштаба максимум/минимум;
- «Позиция опорного уровня» – установка позиции опорного уровня трассы (доступно только при отключённом режиме масштаба максимум/минимум);
- «Автомасштаб трассы» – автоматический выбор масштаба трассы;

- «Автомасштаб диаграммы» – автоматический выбор масштаба всех трасс диаграммы.

Подробное описание параметров и функций панели управления «Масштаб» (рисунок 2.17-а) представлено в п. 2.7.2.

### **2.6.5 Панель «Синхронизация»**

- «Опорный генератор» – ручной или автоматический выбор режима синхронизации частоты от внутреннего или внешнего источника опорного сигнала;
- «Частота внешнего ОГ» – выбор частоты внешнего опорного генератора.

### **2.6.6 Панель «Функции трасс»**

- «Усреднение» – настройка функции межкадрового усреднения данных трассы;
- «Накопление» – накопление максимумов, минимумов, либо отображение межкадровой статистики в точках трассы;
- «Сглаживание» – управление функцией сглаживания данных трассы с заданием размера апертуры;
- «Статистика» – включение и отключение отображения статистики трассы.

Подробное описание вышеперечисленных функций содержится в п. 2.7.

### **2.6.7 Панель «Гетеродин»**

- «Режим» – выбор режима управления гетеродином – ручной или автоматический;
- «Тип фазовых шумов» – позволяет выбрать режим работы гетеродина:
  - «Быстрая перестройка» – обеспечивает максимальную скорость перестройки при относительно высоком уровне фазового шума;
  - «Оптимизация ближней отстройки» – минимизирует уровень фазового шума на ближних отстройках;
  - «Оптимизация дальней отстройки» – минимизирует уровень фазового шума на дальних отстройках.

## 2.6.8 Панель «Ограничение»

- «Отображение линий» – включение или отключение отображения ограничительных линий;
- «Тестирование» – включение или отключение тестирования границ;
- «Верхняя огр. линия...» – редактор координат верхней ограничительной линии;
- «Смещение верхней линии (X/Y)» – смещение всех отрезков верхней ограничительной линии на постоянную величину по оси абсцисс и/или ординат;
- «Нижняя огр. линия...» – редактор координат нижней ограничительной линии;
- «Смещение нижней линии (X/Y)» – смещение всех отрезков нижней ограничительной линии на постоянную величину по оси абсцисс и/или ординат.

Информация по использованию ограничительных линий приведена в п. 2.7.7.

## 2.6.9 Панель «Маркеры»

Содержит часто употребляемые свойства и функции для работы с маркерами (полное описание приведено в п. 2.10):

- «Маркер» – выбор номера конфигурируемого маркера и его состояния;
- «Задающее воздействие» – горизонтальная позиция маркера на диаграмме в единицах измерения абсцисс трассы;
- «<-> Центр диапазона» – кнопка установки центра диапазона сканирования в позицию активного маркера;
- «<-> Опорный уровень» – кнопка установки опорного уровня трассы в соответствии со значением активного маркера;
- «Режим маркера» – режим маркера и фиксированный уровень для поиска в соответствующем режиме;
- «Все свойства...» – открытие окна со свойствами маркерами для тонкой настройки режимов поиска и отображения;
- «Открыть...» – загрузка шаблона маркеров диаграммы из файла;
- «Сохранить...» – сохранение шаблона маркеров диаграммы в файл;
- «Сбросить все» – сброс (удаление) маркеров на выделенной диаграмме.

### 2.6.10 Панель «Калибровка»

- «Смещение преселектора» – позволяет регулировать положение преселектора при наличии постоянного смещения, приводящего к систематической ошибке по уровню. Значения смещения задаются в единицах кода цифро-аналогового преобразователя;
- «Автоподстройка уровня» – после запуска питания анализатора в нём с определённой периодичностью осуществляется автоматическая калибровка тракта ПЧ с помощью встроенного высокостабильного источника сигнала и последующая подстройка отображаемого уровня. Данным переключателем можно отключить эту функцию. Нажатием кнопки «Выполнить» можно однократно запустить процедуру калибровки.

### 2.6.11 Панель «Сервис»

Параметры панели «Сервис» необходимы для проведения различного рода испытаний анализатора, а также отображают информацию о текущем состоянии аттенуаторов СВЧ и ПЧ трактов:

- «Источник сигнала» – позволяет переключиться на внутренний опорный сигнал частотой 100 МГц;
- «Генератор шума» – включение питания ГШ на соответствующем выходе, расположенном на передней панели анализатора. О включении питания ГШ сигнализирует расположенный рядом с соединителем светодиодный индикатор;
- «Ослабление РПТ» – отображает текущее суммарное ослабление СВЧ тракта;
- «Аттенуатор 1..9» – отображают текущее ослабление секций аттенуаторов.

## 2.7 Функции трасс

В ПО *Graphit* существует 3 типа трасс:

- измерительная;
- трасса памяти;
- математическая трасса.

Измерительная трасса представляет собой графическое представление результатов измерений анализатора. Источником данных измерительной трассы

является «измерение» – последовательность обработки данных, содержащая вычисление и коррекцию измеряемых величин из оцифрованных сигналов измерительных входов анализатора (здесь и далее термин «измерение» взят в кавычки, чтобы отличить от существительного *измерение*, означающего процесс). Например, ПО *Graphit* в режиме АС содержит единственное «измерение» – «Мощность СВЧ», а в режиме ИКШ четыре – «КП», «КШ», «Мощность (ГШ вкл)» и «Мощность (ГШ выкл)». Выбрать «измерение» трассы можно, используя панель инструментов «Источник данных» (рисунок 2.20), либо подменю трассы.



Рисунок 2.20 – Панель инструментов «Источник данных»

Функции трасс – средства дополнительной обработки и анализа результатов измерений. Элементы управления функций трасс расположены на панелях управления, а также частично продублированы на панелях инструментов (рисунок 2.21) и в контекстном меню трассы для быстрого доступа.



Рисунок 2.21 – Панели инструментов «Функции трасс» и «Анализ данных»

Порядок обработки и форматирования данных трассы представлен на рисунке 2.22.



Рисунок 2.22 – Блок-схема обработки данных в трассе

## 2.7.1 Формат отображения

Выбор формата отображаемых в трассе значений производится при помощи подменю «Формат» контекстного меню трассы (рисунок 2.9), либо на панели инструментов «Источник данных» (рисунок 2.20) или панели управления «Масштаб» (рисунок 2.23). В режиме анализа спектра переключение формата отображаемых данных сводится не только к изменению единиц измерения мощности (мВт, дБм, мкВ, дБмкВ и других), а также для включения альтернативных режимов представления данных – «Люминофор» (англ. «phosphor», спектр с постепенным фоновым затуханием), «Тепловая карта» (англ. «heatmap», выделение частоты появления спектральных составляющих цветом) и «Спектрограмма» (подробнее в п.2.7.10).

## 2.7.2 Масштабирование трасс

Расположение трассы в плоскости диаграммы определяется тремя параметрами – значением опорного уровня, его позицией и масштабом (ед./дел.).

Опорные уровни трасс отображаются на графиках пунктирными горизонтальными линиями с треугольниками на концах. Цвет пунктирной линии и треугольников совпадает с цветом трассы. Можно переместить мышью треугольник и, тем самым, изменить позицию опорного уровня (от 0 до 10, где 0 – нижнее положение). На область отображения трасс нанесена координатная сетка 10×10 делений, шаг сетки по вертикали задаётся параметром «Масштаб, ед/дел» (рисунок 2.23).

Опция «Режим масштаба максимум/минимум» (рисунок 2.23) во включённом состоянии позволяет задавать масштаб по вертикали, используя максимальное и минимальное отображаемые значения вместо значений опорного уровня и масштаба (ед./дел.). Параметры «Опорный уровень», «Масштаб, ед/дел» и «Позиция опорного уровня» для удобства всегда отображаются в соответствующих столбцах списка трасс.

- i** Пункт меню трассы «**Автомасштаб**» или нажатие клавиши «**A**» (латиница) позволят подобрать масштаб и опорный уровень выделенной трассы так, чтобы она занимала большую часть области построения трасс. Если предварительно выделить несколько трасс, то для них будет выбран одинаковый масштаб.
- i** «**Автомасштаб диаграммы**» выполняет аналогичное действие для всех отображаемых трасс на диаграмме (комбинация клавиш «**Ctrl+\***»). Данные функции также доступны на панели инструментов «Отображение трасс» (рисунок 2.24).

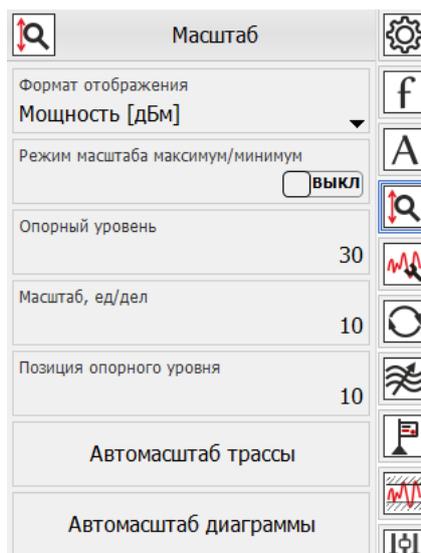


Рисунок 2.23 – Панель управления «Масштаб»



Рисунок 2.24 – Панель инструментов «Отображение трасс»

Следует заметить, что значения на вертикальной шкале соответствуют только выделенной трассе. Если ни одна из трасс не выделена, т.е. отображение выделенной трассы отключено, либо выделено несколько трасс с различающимися значениями шкалы, то вертикальная шкала не отображается.

**i** *Чтобы закрепить левую или правую вертикальную ось за одной из трасс, следует дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши по вертикальной правой или левой оси, или выбрать в меню диаграммы «Вид > Левая ось > [имя\_трассы]». Ось выделится цветом трассы. Правая ось выключена по умолчанию; если левая ось не закреплена за какой-либо трассой, то она соответствует осям выделенных (-ой) трасс(-ы).*

Каждая трасса может отображаться в собственном вертикальном масштабе, чего нельзя сказать о масштабе по горизонтали. **По горизонтальной оси** откладываются значения диапазона сканирования. Дополнительные **подписи нижней оси** включаются в меню диаграммы («Вид > Подпись нижней оси»), либо клавишей «**F9**». Для частотных характеристик, не включающих в себя абсциссу 0 Гц, можно использовать **логарифмическую шкалу нижней оси** («Вид > Логарифмическая шкала X» в меню диаграммы). «**Логарифмическая шкала Y**» может быть использована для более информативного просмотра графиков величин в линейных единицах измерения (например, мВт, мВ).

Абсциссы некоторых точек трасс памяти и математических трасс могут выходить за пределы диапазона сканирования. Такие трассы будут отображаться частично или не отображаться вовсе. При необходимости **зафиксировать ось трассы памяти** на экране используется функция «Закрепить ось» в меню

трассы. Данная функция может оказаться полезной при сравнении характеристик, измеренных в различных диапазонах частот.

В ПО *Graphit* реализован графический способ изменения масштаба отображения трасс и диапазона сканирования. Пользователь может выделить интересующий его фрагмент диаграммы, нажав левую кнопку мыши в углу выделяемого фрагмента и переместив курсор мыши в противоположный угол, как показано на рисунке. После отжимания кнопки мыши производится масштабирование осей по заданным (очерченным) границам.

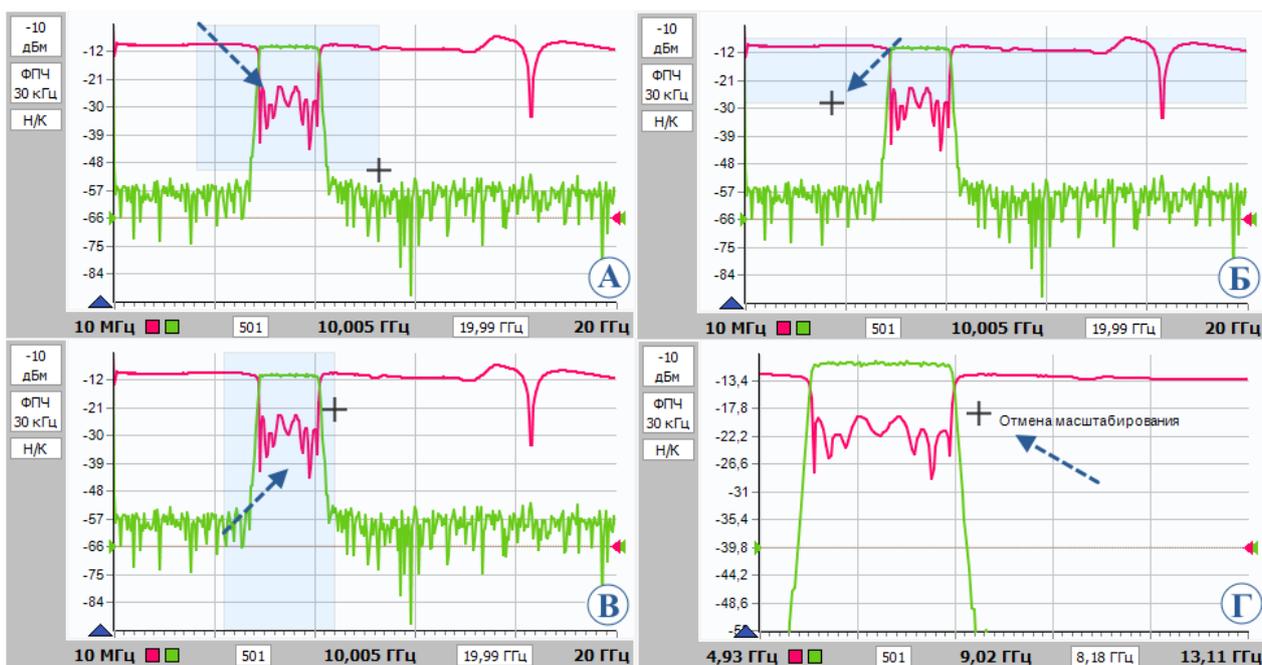


Рисунок 2.25 – Варианты графического задания масштаба и диапазона

Результат масштабирования осей зависит от направления движения мыши при выделении:

- «вправо-вниз» на диаграмме рисуется прямоугольник, как показано на рисунке 2.25-а. После отжимания кнопки мыши изменяется вертикальный масштаб выделенных трасс и изменяется диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналах.
- «влево-вниз» рисуются горизонтальные линии выделения по всей ширине диаграммы (рисунок 2.25-б). После отжимания кнопки мыши изменяется только вертикальный масштаб выделенных трасс.
- «вправо-вверх» рисуются вертикальные линии выделения по всей высоте диаграммы (рисунок 2.25-в). После отпускания кнопки мыши изменяется только диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналах.
- «влево-вверх» отменяется последнее масштабирование (рисунок 2.25-г). Можно последовательно отменить несколько опе-

раций масштабирования, если между ними не использовались функции «автомасштаба».

Существует возможность сдвинуть диапазон сканирования. Для этого следует взять манипулятором мышью горизонтальную шкалу и переместить в нужном направлении, как показано на рисунке 2.26.

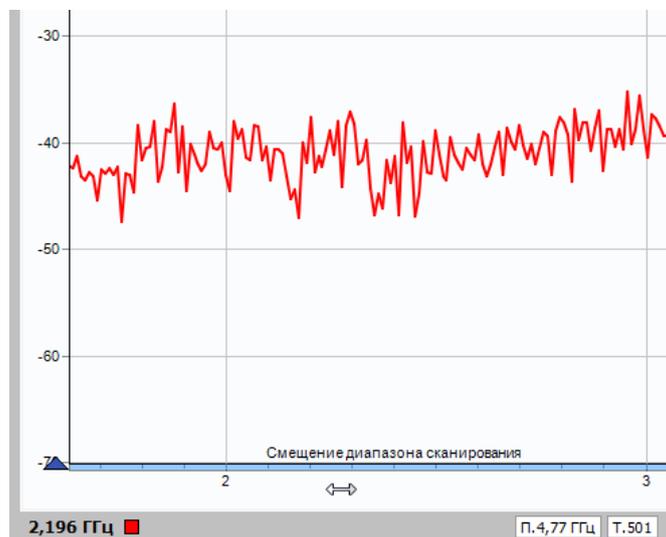


Рисунок 2.26 – Смещение диапазона сканирования

После отжимания кнопки мыши изменится диапазон сканирования в соответствующих выделенным трассам измерительных каналов.

Аналогичная операция с вертикальной осью приводит к смещению опорного уровня выделенных трасс.

### 2.7.3 Трассы памяти

Трассы памяти позволяют создавать снимок любой другой (непустой) трассы на диаграмме, а также загружать данные из файла, используя пункт меню трассы «Загрузить данные...» или пункт меню диаграммы «Открыть данные...». Следует отметить, что после чтения диапазон значений, откладываемых по горизонтальной оси, в трассе памяти может не совпадать с текущим диапазоном сканирования. В этом случае трасса памяти будет отображаться частично (не во всём диапазоне) или не отображаться вовсе. Меню трассы памяти изображено на рисунке 2.9-б.

- i** *Чтобы создать трассу памяти, следует в контекстном меню запоминаемой трассы выбрать пункт «Запомнить» или нажать комбинацию клавиш «Ctrl+R». В столбце «Функции» списка трасс будет отображено название трассы-источника.*
- i** *Чтобы обновить данные в трассе памяти (если трасса-источник существует), необходимо использовать пункт меню «Обновить» или комбинацию клавиш «Ctrl+U».*

цию клавиш «**Ctrl+U**».

При открытии файлов трасс (расширения *tr*, *trc*), характеристик ИОШТ (*enr*, *ngd*) при помощи функции «Открыть данные...» в меню диаграммы пользователю может быть предложено выбрать измерение для привязки создаваемой трассы памяти (рисунок 2.27). Это необходимо для того, чтобы корректно сопоставить формат данных файла и измерения трассы в режимах измерения КШ и градуировки ГШ.

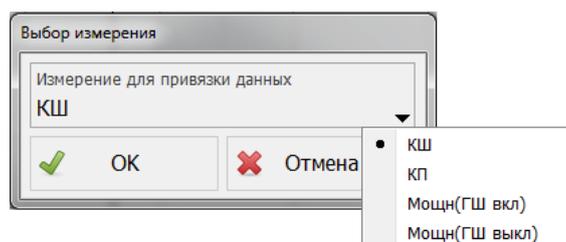


Рисунок 2.27 – Выбор измерения при загрузке данных из файла

**!** *Считанные из файла в трассу памяти значения будут отображаться неверно, если при сохранении использовался один формат отображения, а при чтении трасса памяти отображалась в другом формате.*

## 2.7.4 Накопление

Накопление минимальных, максимальных значений или отображение межкадровой статистики трассы включается нажатием кнопки со списком  на панели инструментов «Функции трасс» и выбором из соответствующего пункта из списка. Вместо измеренных значений в каждой точке трассы будут отображаться максимум, минимум, среднее значение, дисперсия или среднеквадратичное отклонение (СКО) значений, накопленных за истекшие кадры (циклы измерений). Если необходимо совместно отображать измеряемые и накопленные значения, следует создать дополнительную измерительную трассу. Крайняя правая кнопка  на панели инструментов «Функции трасс» позволяет сбросить накопленные данные и начать процесс накопления заново. Существует возможность управления функцией накопления с панели управления «Функции трасс» (рисунок 2.28), либо из контекстного меню трассы.

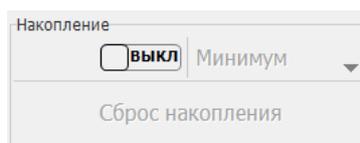


Рисунок 2.28 – Управление накоплением с панели «Функции трасс»

## 2.7.5 Сглаживание

Сглаживание трассы включается кнопкой  на панели инструментов «Функции трасс» (рисунок 2.21). Поле ввода с регулировкой значения 5% задаёт размер апертуры сглаживания в процентах от количества точек в трассе:

$$\text{Сглаживание}[\%] = (N + 1) / \text{Количество точек}, \quad (1)$$

где  $N + 1$  – размер апертуры;

*Количество точек* задаётся на панели управления «Частота».

Процедура сглаживания вычисляет среднее арифметическое (в единицах отображаемых значений) соседних точек трассы:

$$S'_i = \frac{1}{N + 1} \cdot \sum_{n=-N/2}^{N/2} S_{i+n}, \quad (2)$$

где  $S_i$  – исходные значения в трассе;

$S'_i$  – значения после применения функции сглаживания;

$N + 1$  – размер апертуры.

Функция сглаживания применяется, в общем случае, для подавления случайной составляющей в трассе. Аналогичную задачу подавления шумов решает процедура межкадрового усреднения и видеофильтр (рисунок 2.29).

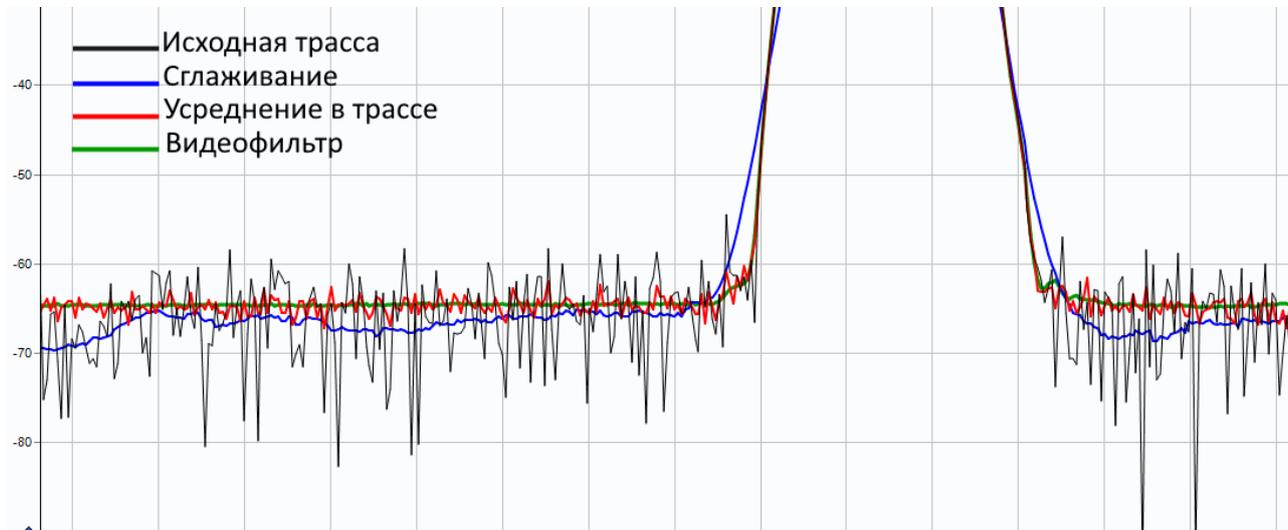


Рисунок 2.29 – Сглаживание и усреднение трасс

Уменьшение дисперсии шума видеофильтром снижает скорость измерений. Усреднение в трассе (пункт 2.7.6) производится в линейном формате и приводит к постепенному уменьшению дисперсии шума. В отличие от усреднения сглаживание выдаёт результат «мгновенно» – сразу после измерения.

**!** *Следует осторожно применять сглаживание. Вместе с подавлением шумовых выбросов сглаживание искажает форму характеристик. Всплеск сигнала может существенно изменить амплитуду или исчезнуть совсем.*

### 2.7.6 Усреднение

Для уменьшения дисперсии отображаемого шума (рисунок 2.29) можно использовать межкадровое усреднение данных трассы. Межкадровое усреднение производится в значениях линейной мощности (что соответствует среднеквадратичному усреднению напряжения с детектора огибающей). Функция включается в меню трассы, на панели инструментов при помощи кнопки , либо на панели управления «Функции трасс» (рисунок 2.30). Поле ввода «Коэффициент усреднения» задаёт число кадров усреднения  $K$ ; при  $K > 1$  вместо результатов измерений отображаются средние значения в каждой частотной точке, вычисленные по формуле:

$$S'_i = \begin{cases} \frac{1}{k} \cdot S_i + \frac{k-1}{k} \cdot S'_{i-1}, & k < K \\ \frac{1}{K} \cdot S_i + \frac{K-1}{K} \cdot S'_{i-1}, & k \geq K \end{cases}, \quad (4)$$

где  $S_i$  – исходные значения в трассе;

$S'_i$  – значения после применения функции усреднения;

$k$  – количество накопленных кадров;

$K$  – коэффициент усреднения.

При нажатии кнопки «Сброс усреднения» или кнопки  на панели инструментов накопленные значения обнуляются, и усреднение начинается заново.

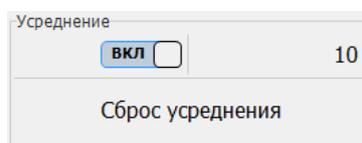


Рисунок 2.30 – Управление усреднением с панели «Функции трасс»

### 2.7.7 Ограничительные линии

Ограничительные линии применяются при тестировании и отбраковке изготавливаемых серийно изделий. Функция проверяет пересечение трассой ограничительных линий, означающие пределы допуска измеряемого параметра изделия.

Редактирование линий вызывается кнопками «Верхняя огр. линия» или «Нижняя огр. линия» на панели управления «Ограничение» (рисунок 2.31) или соответствующими кнопками на панели инструментов «Анализ данных» (рисунок 2.21).

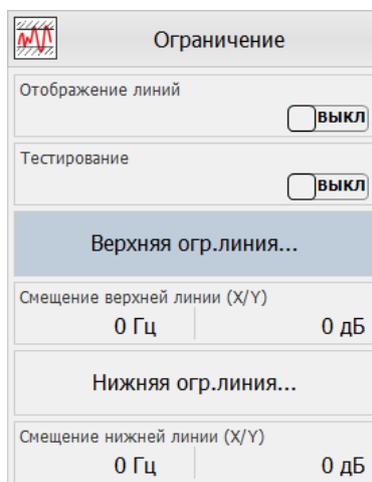


Рисунок 2.31 – Панель управления «Ограничение»

Ограничительные линии задаются отрезками в диалоговом окне (рисунок 2.32).

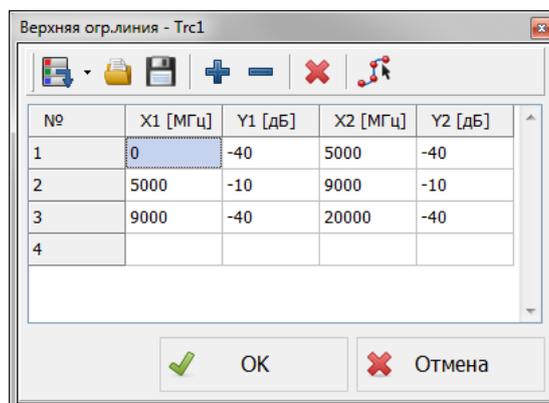


Рисунок 2.32 – Окно табличного задания ограничительной линии

В столбцах «X» задаются абсциссы отрезков, в столбцах «Y» – ординаты. Кнопки панели инструментов, расположенной над таблицей, позволяют манипулировать строками таблицы, а также сохранять или загружать из файла ранее сохранённые ограничительные линии. Используя кнопку , можно сформировать ограничительную линию из данных какой-либо трассы диаграммы.

При нажатии на кнопку  управление ограничительными линиями переходит в **режим графического редактирования**, в котором точки линий задаются нажатием мыши на диаграмме, при этом отображение таблицы временно блокируется (рисунок 2.33). В режиме графического редактирования кнопкой  включается режим добавления точек, кнопкой  – режим удаления: при нажатии левой кнопки мыши удаление точек (узлов), а правой кнопки мыши – раз-

рыв линии между соседними точками. Значок перекрестия  включает режим перемещения точек, при этом предыдущий вариант ограничительной линии (табличный) на диаграмме отображается тонкой штрихованной линией, а фактическая линия крупным пунктиром. Чтобы переместить точку, нужно нажать на неё (выбранная для перемещения точка становится более крупной) и, не отпуская левую кнопку мыши, переместить в желаемую область диаграммы. Кнопка  очищает нарисованные отрезки. При повторном нажатии кнопки  режим графического редактирования завершается, а координаты точек заносятся в таблицу.

**i** Если ограничительная линия, образованная отрезками, имеет разрывы, то результаты измерений в точках разрыва не контролируются. Отрезки ограничительной линии не должны пересекаться или иметь общих абсцисс!



Рисунок 2.33 – Режим графического редактирования ограничительной линии

Переключатель «Тестирование» на панели управления «Ограничение» (рисунок 2.31) или кнопка на панели инструментов включают проверку на пересечение трассой ограничительных линий. Результат проверки отображается на диаграмме, как показано на рисунке 2.34. Переключатель «Отображение линий» позволяет включить, либо отключить отображение ограничительных линий.

Поля «Смещение верхней линии (X/Y)» предназначены для быстрого смещения всех отрезков верхней ограничительной линии на постоянную величину по оси абсцисс и/или ординат. Данная функция может оказаться полезной при изменении частотного диапазона сигнала или опорного уровня анализатора, избавляя пользователя от необходимости редактирования всей таблицы ограничительной линии. Аналогичная функция также продублирована для нижней ограничительной линии.

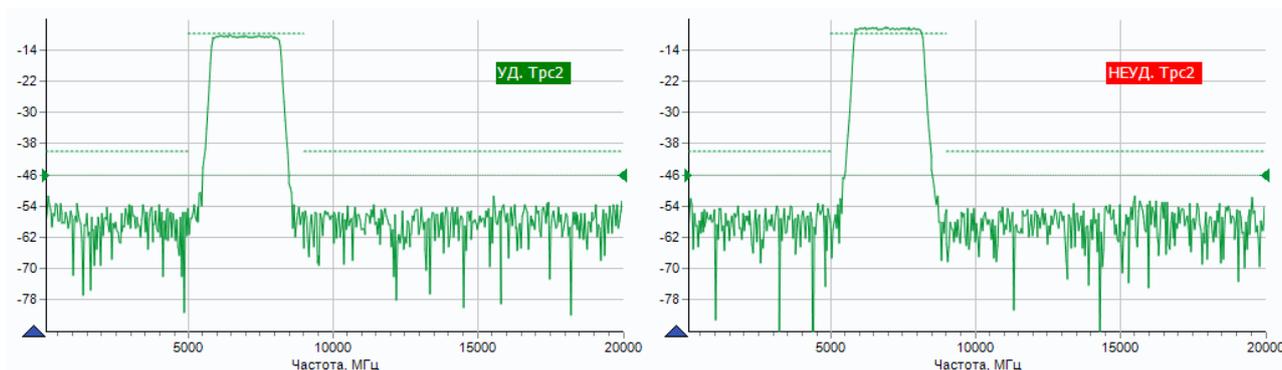


Рисунок 2.34 – Проверка ограничительными линиями

## 2.7.8 Статистика

Функция «Статистика» вычисляет и отображает статистические характеристики числовой выборки, составленной из отображаемых точек трассы. Результаты расчётов выводятся в области построения трасс, как показано на рисунке 4.38.

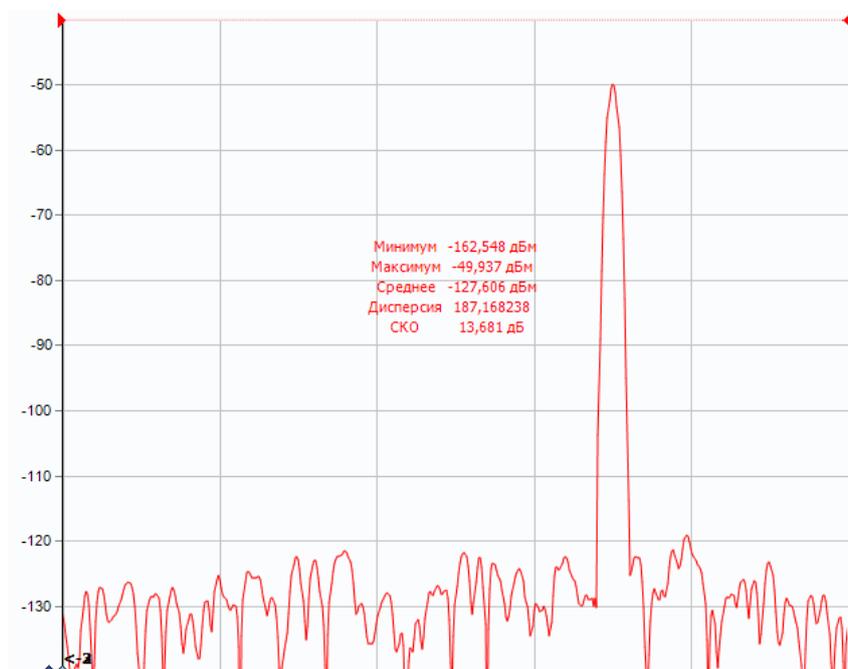


Рисунок 2.35 – Отображение статистики трассы

Отображение статистических данных включается и выключается кнопкой  на панели инструментов «Анализ данных» (рисунок 2.21). Текст со статистическими данными может быть перемещён мышью в пределах области построения трасс в более удобное для пользователя положение.

## 2.7.9 Математические трассы

Чтобы создать математическую трассу, следует в меню диаграммы выбрать соответствующий пункт или нажать комбинацию клавиш «**Ctrl+M**». Далее, используя пункт меню «Настройка выражения...» созданной трассы (рисунок 2.9-в), открыть окно настройки операндов и математической операции над ними (рисунок 2.36).

Математическая трасса и её операнды («Трасса А» и «Трасса В») должны иметь одинаковое количество точек и принадлежать одному и тому же «измерению». В пункте «Список доступных выражений» выбирается арифметическая операция, поточечно выполняемая над трассами. Под поточечной операцией, например, разностью, понимается следующее: из  $Y$ -значения (откладываемого по оси ординат) первой точки трассы  $A$  вычитается  $Y$ -значение первой точки трассы  $B$ . Полученная разность записывается в первую точку математической трассы. В качестве  $X$ -значения (откладываемого по оси абсцисс) в первую точку математической трассы записывается  $X$ -значение первой точки трассы  $A$ . И так далее для всех остальных точек.

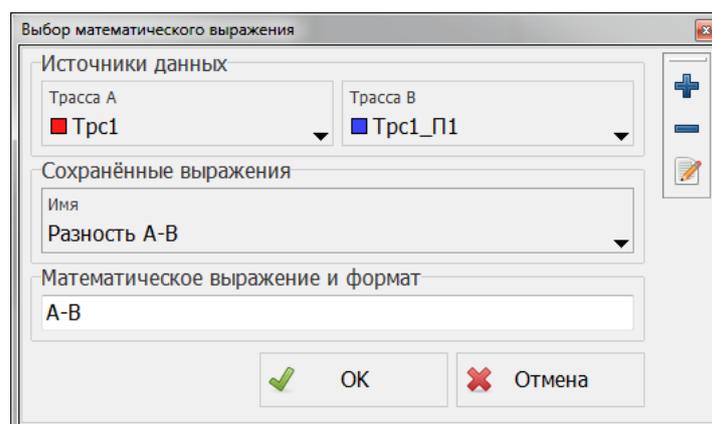


Рисунок 2.36 – Окно «Выбор математического выражения»

Кнопки на панели справа позволяют сохранить набранное выражение в списке, изменить текущее или ранее сохранённое выражение, используя расширенный редактор (рисунок 2.37), или удалить выражение из списка сохранённых.

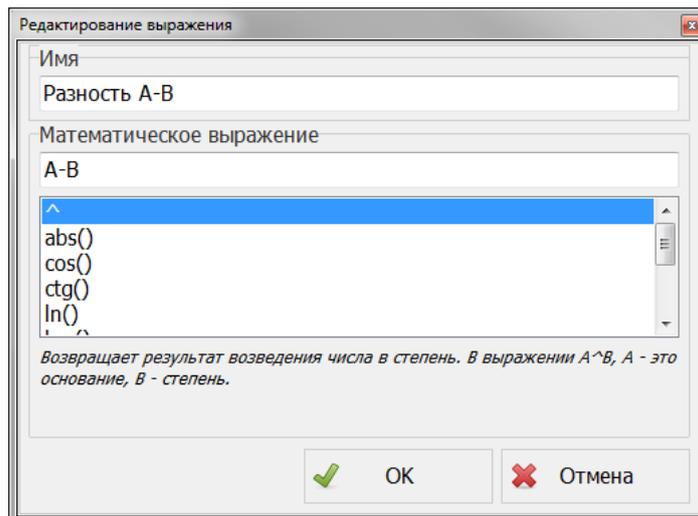


Рисунок 2.37 – Редактирование математического выражения

### 2.7.10 Спектрограмма

В режиме анализа спектра для измерительной трассы доступно построение **спектрограммы** – зависимости спектральной плотности мощности от времени. Для её построения необходимо выбрать формат измерительной трассы «Спектрограмма [дБм]» (см. п. 2.7.1).

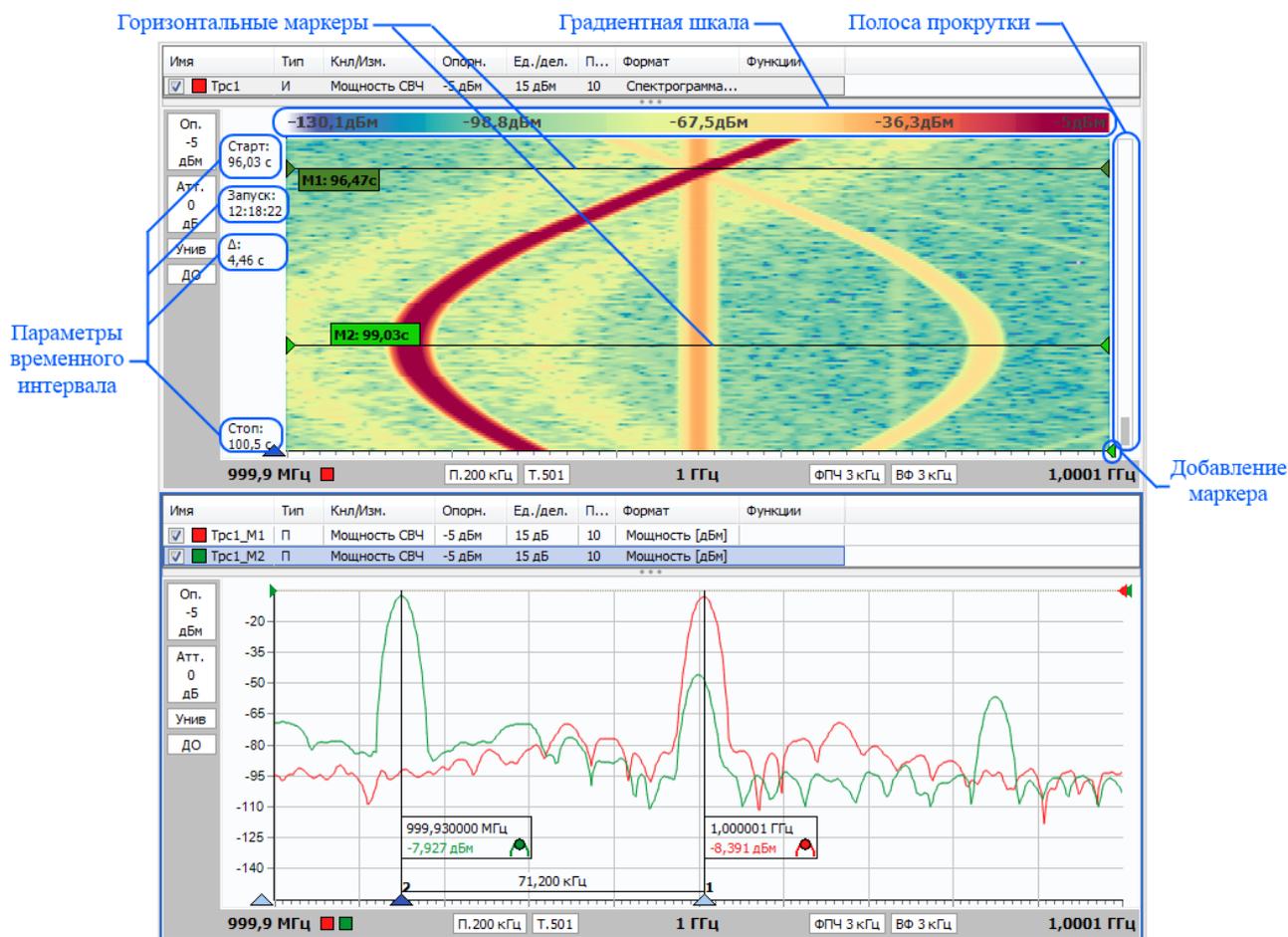


Рисунок 2.38 – Построение спектрограммы

На рисунке 2.38 в верхнем окне отображена спектрограмма ЧМ сигнала (девиация частоты 70 кГц), горизонтальной осью которой является частотная ось, вертикальной – ось времени, а цвет пикселя соответствует уровню мощности в соответствии с **градиентной шкалой** над областью построения графиков. Для просмотра спектральной характеристики в определённый момент времени используются **горизонтальные маркеры**, обозначенные на рисунке 2.38 горизонтальными линиями с флажками «M1» и «M2» и связанные с трассами памяти «Trс1\_M1» и «Trс1\_M2» соответственно на нижней диаграмме. Данные в этих трассах автоматически обновляются при измерении или перемещении горизонтальных маркеров пользователем и соответствуют характеристике мощности в определённые отсечки времени (96,47 с и 99,03 с на рисунке 2.38). Время во флажке горизонтального маркера отсчитывается относительно момента начала построения спектрограммы, который указан на левой оси графика под текстом «Запуск». Значения «Старт», «Δ» и «Стоп» характеризуют отображаемый временной интервал спектрограммы, который может быть изменён при помощи **полосы прокрутки**, расположенной правее области построения графиков.

- i** *Добавление горизонтального маркера на спектрограмму производится «вытягиванием» мышью зелёного ползунка маркера из правого нижнего угла диаграммы.*
- i** *Чтобы удалить горизонтальный маркер или связать его с трассой памяти, необходимо вызвать контекстное меню, кликнув правой кнопкой мыши в области флажка с номером маркера, а затем выбрать нужный пункт меню.*

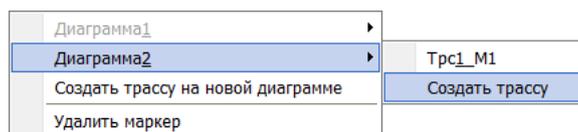


Рисунок 2.39 – Меню горизонтального маркера диаграммы

В процессе измерения рекомендуется использовать функцию «Автомасштаб» (см. п. 2.7.2) для оптимальной настройки градиентной шкалы в соответствии с минимальным и максимальным значением уровнем мощности. Пользователь может изменить цветовую схему спектрограммы в окне «Настройка спектрограммы» (рисунок 2.40), открыв его при помощи меню диаграммы. Изменение кривой распределения цвета производится регулировкой вершин кривой Безье второго порядка. В качестве вспомогательных инструментов настройки кривой на заднем фоне отображается гистограмма распределения уровней мощности (линейчатый график серого цвета), а также зона предварительного просмотра в верхней части окна. «Цветовая палитра» определяет диапазон цветов, в котором будет происходить распределение уровней мощности.

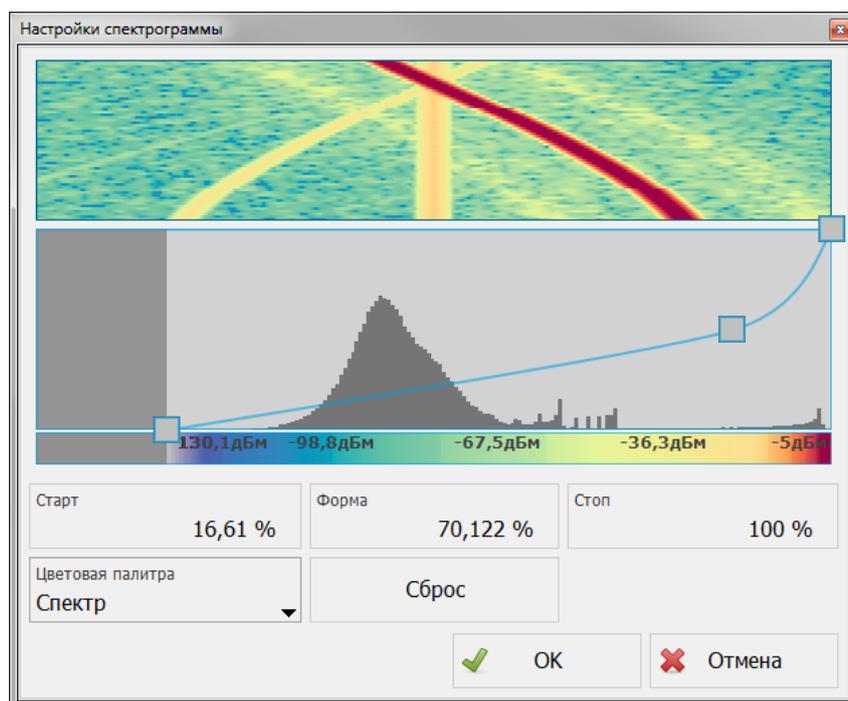


Рисунок 2.40 – Регулировка градиентной шкалы спектрограммы

## 2.8 Запуск и остановка измерений

Запуск и остановка измерения осуществляются выбором пункта меню «Управление > Запуск измерений» (рисунок 2.41), либо нажатием кнопок  и  соответственно на панели инструментов, либо «горячей» клавишей «**F5**». Запуск однократного измерения осуществляется кнопкой  («**Alt+F5**»).

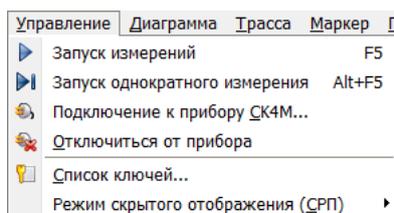


Рисунок 2.41 – Запуск и остановка измерений из меню

## 2.9 Использование профилей пользователя

Процесс измерений обычно сопровождается заданием множества параметров. При завершении ПО *Graphit* текущие значения всех параметров диаграмм, трасс, маркеров, а также настройки измерения сохраняются на диск. При старте ПО *Graphit* все сохранённые параметры восстанавливаются.

Существует возможность сохранения параметров в отдельный файл, называемый профилем. На рисунке 2.42 изображены панель «Профили», меню «Профиль» и окно «Список профилей», позволяющие загрузить параметры из профиля, сохранить параметры в профиль или восстановить исходные значения всех параметров. В меню «Профиль» дополнительно отображаются ссылки на недавно использованные профили.

В окне «Список профилей» отображаются все доступные пользовательские профили (шрифт несовместимых с текущим режимом измерения профилей окрашен в светло-серый цвет). При выборе профиля и нажатии кнопки  «Открыть профиль (*Enter*)» загружается выбранный профиль, при нажатии на кнопку  «Удалить (*Del*)» происходит удаление выделенного профиля. Нажатие кнопки  «Импортировать профиль из файла...» добавляет профиль в список и загружает его. Кнопка  «Экспортировать профиль в файл...(*F4*)» позволяет сохранить файл выбранного профиля в произвольную директорию. Кнопка  «Выход (*Esc*)» закрывает окно «Список профилей».

 Чтобы вызвать окно «Список профилей», следует в меню «Профиль» выбрать пункт «Открыть...» или нажать клавишу «**F3**». В этом окне можно импортировать, экспортировать, удалять и открывать профили.

 Чтобы сохранить профиль в список или файл, следует в меню «Профиль» выбрать пункт «Сохранить...» или нажать клавишу «**F4**».

- Чтобы **восстановить настройки по умолчанию**, необходимо в меню «Профиль» выбрать пункт «Восстановить начальные параметры» или нажать кнопку на панели инструментов «Профили».

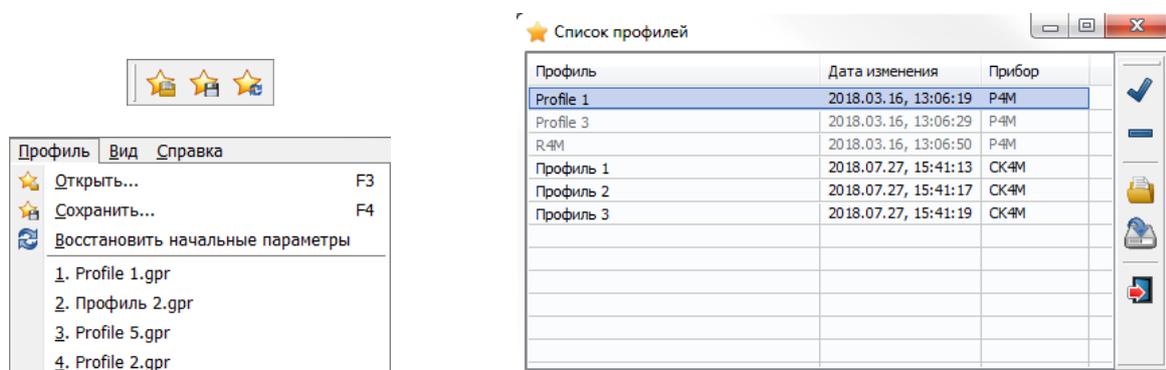
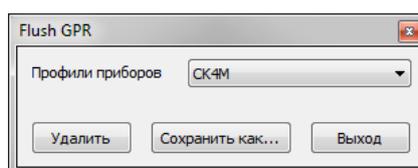


Рисунок 2.42 – Элементы управления профилями

- Утилита *FlushGPR.exe*, находящаяся в директории с установленной программой, позволяет удалять или экспортировать текущие настройки ПО *Graphit* (рисунок 2.43) в случае сбоя в процессе его загрузки

Рисунок 2.43 – Окно утилиты *Flush GPR*

## 2.10 Маркерные измерения

**Маркеры** – это дополнительное средство анализа результатов измерений. Маркеры отображают в численном виде значения некоторых точек трассы. Какая именно точка трассы будет отображена маркером, зависит от типа и параметров маркера. Для своевременного обновления отображаемой информации и/или поиска по заданному критерию точек на трассе в маркерах задаётся привязка (соответствие) к одной или нескольким трассам.

Маркеры отображаются в виде треугольника с номером на нижней оси графика, вертикальной линии и окна индикации (рисунок 2.44). Если маркер не активен, то отображается только треугольник с номером. Между двумя маркерами может отображаться связь – горизонтальная черта с текстом над ней, называемая **связным маркером**. Связные маркеры служат для расчёта и отображения дополнительных параметров исследуемых устройств.

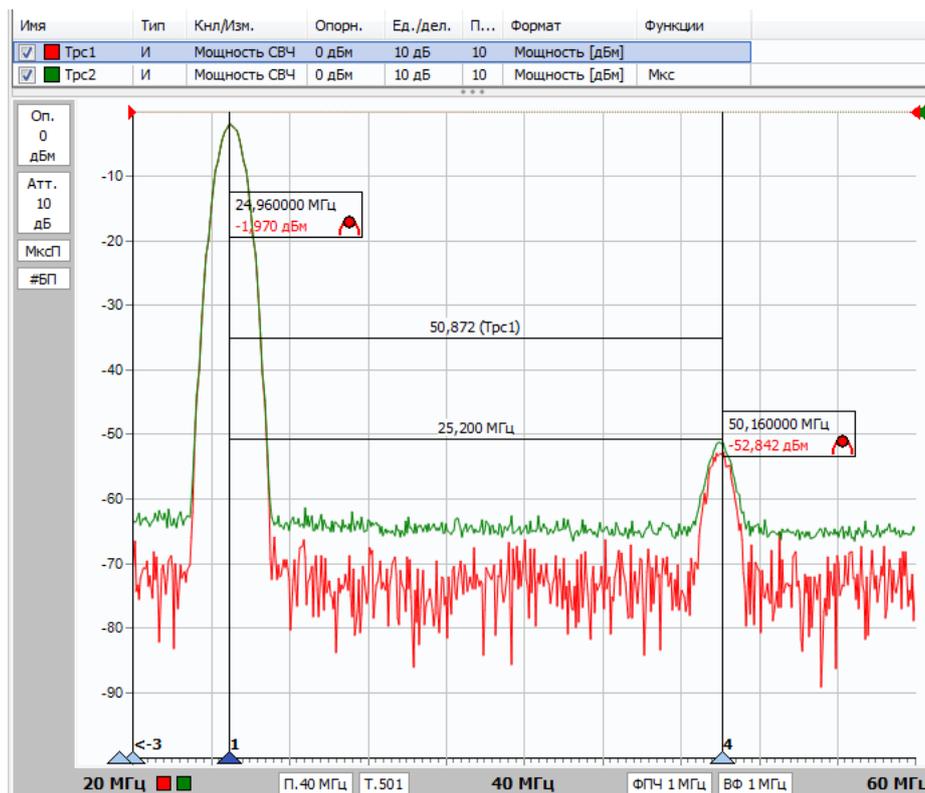


Рисунок 2.44 – Использование маркеров

### 2.10.1 Добавление и удаление маркеров

Каждая диаграмма может содержать до 30 маркеров и до 10 связей между ними.

- i** Чтобы **создать маркер**, необходимо взять мышью треугольник в левом нижнем углу диаграммы или нажать «**Ctrl+J**» и переместить его в желаемую позицию.
- i** Чтобы **скрыть или отобразить маркер** достаточно дважды щёлкнуть мышью по треугольнику или нажать «**V**».
- i** Чтобы **удалить маркер**, необходимо вызвать контекстное меню маркера и выбрать пункт «Удалить маркер». Пункт контекстного меню диаграммы «Маркеры > Сбросить все» или комбинация клавиш «**Ctrl+E**» удаляют все маркеры на диаграмме.

Параметры маркеров сохраняются в профиле и восстанавливаются при старте ПО *Graphit* или при загрузке профиля. Кроме того, существует возможность сохранить конфигурацию (так называемый **шаблон маркеров**) в отдельный файл, выбрав пункт меню диаграммы «Маркеры > Сохранить...» (рисунок 2.45), а также загрузить её, используя пункт меню «Маркеры > Загрузить...».

При выборе пункта меню диаграммы «**Маркеры > Компактный режим отображения**» маркеры будут отображаться, как показано на рисунке 2.45, без окна индикации. Данный режим удобен в случае отображения большого количества трасс на диаграмме (тогда значения маркеров отображаются только для выделенной трассы в виде таблицы в верхнем левом углу окна), либо при небольших размерах окна ПО *Graphit*. Свойство «**Крупный шрифт**» увеличивает размер шрифта отображаемых числовых значений в маркерах.

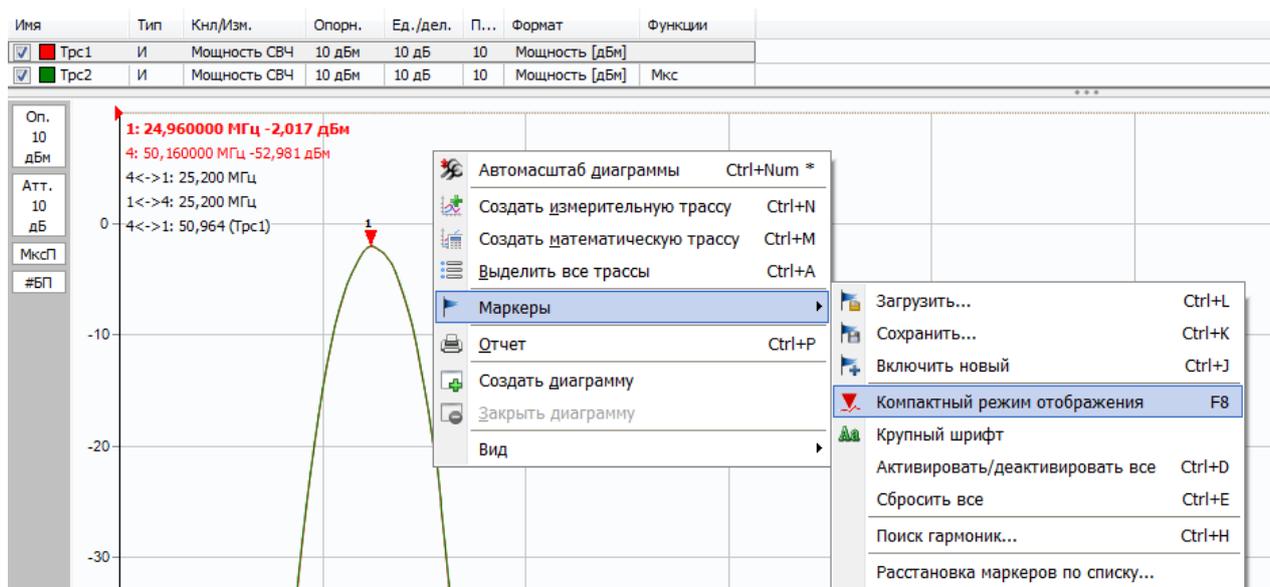


Рисунок 2.45 – Компактный режим отображения маркера

**Функция «Поиск гармоник...»** (рисунок 2.45) предназначена для автоматического выделения локальных максимумов (гармоник) в спектре с заданным допуском (рисунок 2.46) и последующей привязки маркеров в режиме слежения к найденным экстремумам (см. пункт 2.10.3). В качестве значения допуска амплитуды по умолчанию при первом использовании функции используется значение, равное  $1,645 \cdot \text{СКО}$ , что обеспечивает наибольшую выборку сигналов при нормальной плотности распределения шума. Необходимо заметить, что настройка существующих на диаграмме маркеров будет утеряна.

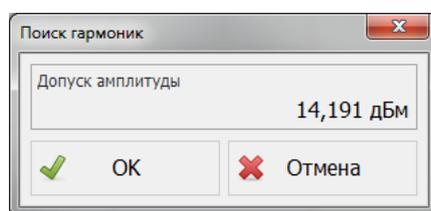


Рисунок 2.46 – Поиск гармоник

**Функция «Расстановка маркеров по списку...»** (рисунок 2.45) позволяет пользователю расположить маркеры на диаграмме в соответствии с заранее созданным списком частот, загрузив его из файла или создав непосредственно в таблице (рисунок 2.47). Необходимо заметить, что настройка суще-

ствующих на диаграмме маркеров будет утеряна.

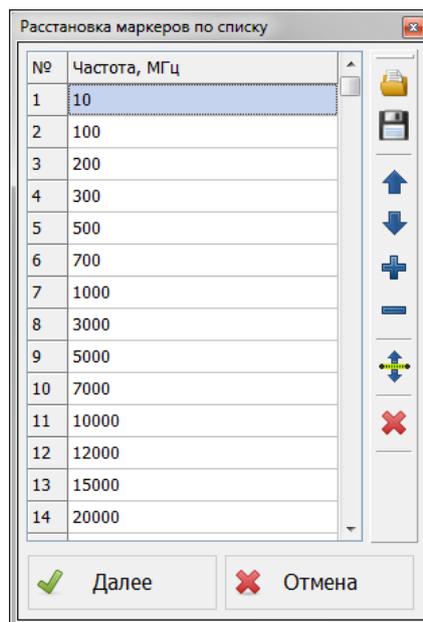
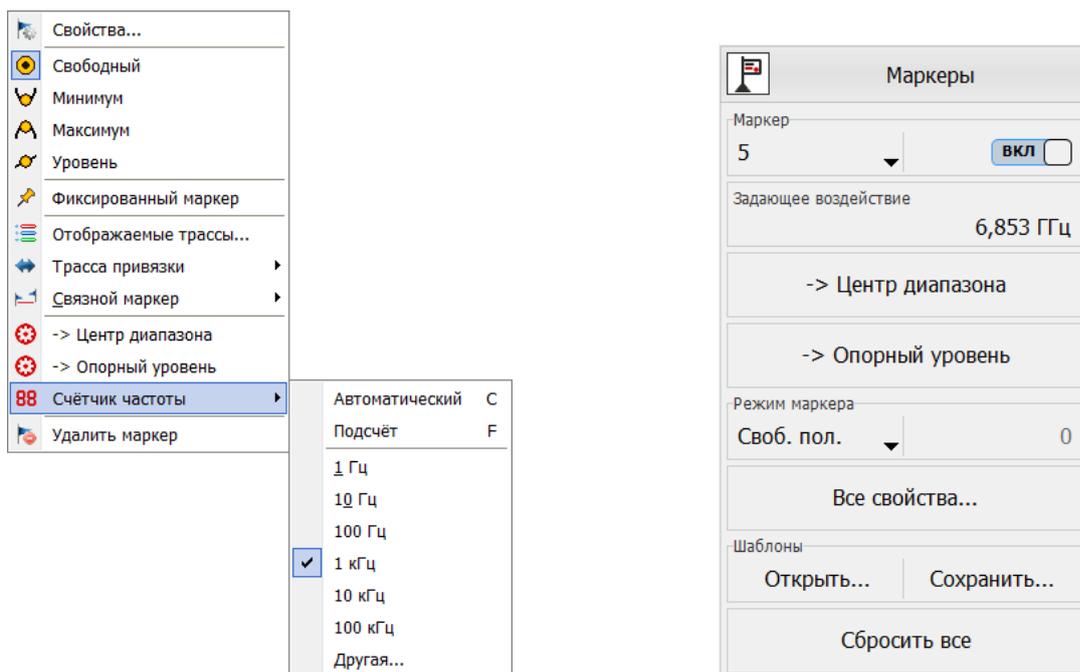


Рисунок 2.47 – Расстановка маркеров по списку частот

После нажатия кнопки «Далее» необходимо выбрать трассы, значения которых будут отображаться в маркерах (рисунок 2.49).

### 2.10.2 Настройка параметров маркера

На рисунке 2.48-а показано контекстное меню маркера, появляющееся после щелчка правой кнопки мыши по номеру маркера или по окну индикации маркера; на рисунке 2.48-б – соответствующая панель управления, содержащая наиболее часто используемые функции и настройки маркеров. Пункт меню «Свойства...» и кнопка панели управления «Все свойства...» вызывают окно, содержащее полный набор параметров маркера (рисунок 2.50).



а) контекстное меню

б) панель управления

Рисунок 2.48 – Контекстное меню и панель управления маркера

Из отображаемых значений в маркере можно исключить (или добавить) данные тех или иных трасс. Для этого достаточно изменить состояние флажков в соответствующем окне (рисунок 2.49), используя пункт меню «**Отображаемые трассы...**». Отобразить или скрыть все трассы можно при помощи переключателя, расположенного под списком. Заблокированные записи данного списка означают, что трасса выключена, либо имеет отличный от трассы привязки диапазон нижней оси. При включённой настройке «**Отображать новые трассы**» во всех маркерах диаграммы будут автоматически добавляться значения создаваемых трасс.

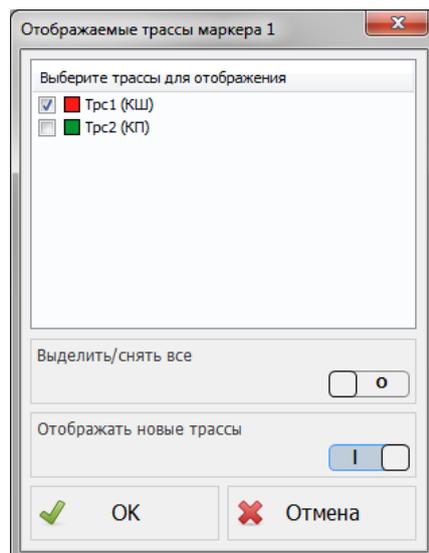


Рисунок 2.49 – Выбор отображаемых в маркере трасс

Подменю **«Связной маркер»** предназначено для быстрого создания связного маркера между текущим и маркером из списка. Описание связных маркеров приведено в п. 2.10.4.

Выбор пункта меню маркера **«-> Центр диапазона»** изменяет диапазон сканирования измерительного канала так, чтобы маркер оказался в середине диапазона. Диапазон сканирования изменяется только в измерительном канале, которому принадлежит трасса привязки маркера. Выбор пункта **«-> Опорный уровень»** изменяет опорный уровень анализатора в соответствии со значением маркера (в частности, функция используется для маркера, настроенного на поиск максимального значения в трассе).

**! Внимание!** *Уровень сигнала на входе анализатора не должен превышать значение опорного уровня! Для защиты входных цепей анализатора рекомендуется устанавливать минимальное ВЧ-ослабление не менее 10 дБ*

**Функция «Счётчик частоты»** служит для точного вычисления частоты сигнала на частоте установки маркера (аналог цифрового частотомера). При использовании этой функции происходит дополнительное измерение в некоторой окрестности частоты маркера (оцифровка и обработка сигнала ПЧ, вычисление частоты наибольшей по уровню гармоники). Измеренное значение выводится в окне маркера ниже номинального значения частоты шкалы. Выполнить измерение частоты можно однократно (пункт **«Подсчёт»**) или нажатие клавиши **«F»**), либо в каждом кадре (пункт **«Автоматический»**) или нажатие клавиши **«С»**). Из списка можно выбрать требуемую точность определения частоты (1 Гц, 10 Гц и т.д.) или задать её вручную, нажав пункт **«Другая...»**.

Для выделенного маркера, отличающегося более тёмным фоном номера, могут быть использованы следующие **«горячие» клавиши:**

- ←/→** перемещение в дискретном и режиме автопоиска;
- C** вкл./выкл. счётчика частоты;
- D** вкл./выкл. дискретный режим;
- E** вкл./выкл. режим автопоиска экстремума;
- F** однократный подсчёт частоты (для счётчика частоты);
- T** вкл./выкл. режим слежения;
- U** обновление значений фиксированного маркера;
- V** вкл./выкл. активный маркер;
- S** вкл./выкл. статистики;
- Ctrl+1÷9** привязать маркер к соответствующей трассе.

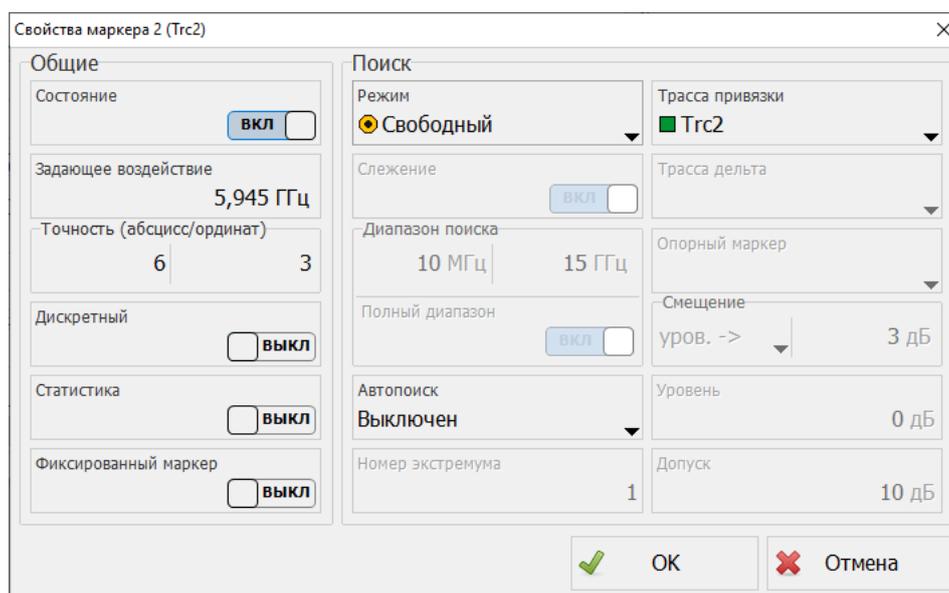


Рисунок 2.50 – Свойства маркера

Переключателем «Состояние» (рисунок 2.50) можно активировать или деактивировать выбранный маркер.

«Задающее воздействие» дублирует аналогичный параметр на панели управления «Маркеры» и доступен для редактирования только в режиме слежения «Свободный» (см. п. 2.10.3).

Параметры «Точность (абсцисс/ординат)» определяют количество отображаемых знаков дробной части значений задающего воздействия и отклика трасс соответственно.

«Дискретный» маркер может быть установлен только в позиции, соответствующие точкам измерения в трассе привязки. При отключённом свойстве «Дискретный» (по умолчанию) промежуточные значения трасс рассчитываются методом линейной интерполяции и помечаются символом восклицательного знака (!) (рис. 2.51).

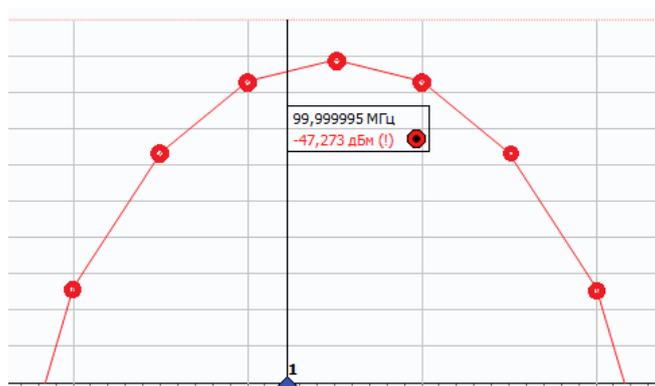


Рисунок 2.51 – Интерполяция при отображении значений в маркерах

При включённом свойстве «Статистика» производится накопление данных в маркере от кадра к кадру, а вместо текущих значений задающего воздействия и отклика трасс отображаются их статистические показатели в формате «минимальное значение/среднее/максимальное значение/среднеквадратическое отклонение». Сбросить и начать повторный набор статистики можно кликом по окну индикации или перемещением маркера.

Свойство «Фиксированный маркер» (доступно также из меню маркера) переводит маркер в режим «памяти»:

- фиксируются и отображаются последние значения откликов трасс;
- отключается слежение маркера (см. п. 2.10.3) и блокируется его перемещение, в углу окна индикации отображается значок 📌;
- блокируется изменение списка отображаемых трасс;
- в меню маркера появляется команда «Обновить значения», позволяющая обновить значения трасс из текущего кадра.

### 2.10.3 Режимы слежения маркера

В правом нижнем углу окна индикации маркера отображается значок, обозначающий режим маркера:

- 📍 – **свободный** (свободное положение маркера);
- 📉 – **минимум** (слежение за минимальным уровнем);
- 📈 – **максимум** (слежение за максимальным уровнем);
- 📊 – **уровень** (слежение за заданным уровнем);
- 📏 – **дельта-минимум** (слежение за минимальной разностью уровней);
- 📏 – **дельта-максимум** (слежение за максимальной разностью уровней);
- 📏 – **дельта-уровень** (слежение за заданной разностью уровней);
- 📍 – **дельта-маркер** (слежение за опорным маркером).

Цвет значка соответствует цвету трассы привязки.

**Свободное положение маркера.** При установке нового маркера создаётся маркер со свободным (произвольным) положением на горизонтальной оси. Частота может задаваться тремя способами: перемещением маркера мышью; двойным щелчком по отображаемому значению частоты и редактированием, или в диалоге «Свойства маркера». Если требуется переместить окно индикации маркера только по вертикали или расположить с другой стороны от вертикальной линии, то следует нажать клавишу «**Shift**» на клавиатуре и переместить окно с помощью мыши.

**Следящие маркеры** от кадра к кадру меняют своё положение по горизонтальной оси – следят по заданному критерию. Для слежения используются значения одной или двух трасс, к которым привязан маркер. В окне «Свойства маркера» (рисунок 2.50) задаётся привязка к основной трассе («**Трасса привязки**») и дополнительной (так называемой «**Трассе дельта**»), а также выбирается режим слежения: поиск минимума, максимума, заданного значения в указанной трассе или разницы между трассами («дельта»-измерения). Привязка маркера отображается и может быть изменена в контекстном меню маркера. Поиск точки, удовлетворяющей критерию, выполняется по всей трассе или в заданном диапазоне в зависимости от состояния переключателя «Полный диапазон». Диапазон поиска, ограниченный пользователем, обозначается на оси абсцисс в виде синего отрезка, ограниченного прямоугольными скобками (рисунок 2.53-а).

При поиске минимума или максимума в трассе существует возможность поиска точки, отличающейся от найденного экстремума на заданное число (обычно децибел) или смещённой на заданную отстройку по частоте слева или справа от экстремума. В частности, это свойство позволяет контролировать уровни гармонических составляющих относительно несущей. Выбор типа смещения производится в выпадающем списке «**Смещение**» из значений «<- уров.», «уров. ->» (для смещения по уровню) и «<- поз.», «поз. ->» (для смещения на значение отстройки).

 *Следящий в неполном диапазоне маркер может исчезать или «прилипать» к краю диаграммы, оказавшись вне диапазона значений оси абсцисс. Это может произойти, например, при смене частотного диапазона.*

При выборе смещения маркера относительно найденного экстремума может возникнуть некоторый дополнительный сдвиг, обусловленный включённым свойством «Дискретный» (см. п. 2.10.2), которое блокирует установку маркера на позиции между точками измерения. Сдвиг и разница показаний маркеров будет тем больше, чем меньше установлено количество точек и круче частотная характеристика исследуемого устройства.

Параметры смещения также необходимы при использовании режима слежения «**Дельта-маркер**», в котором вместо экстремума трассы привязки объектом слежения является позиция так называемого **опорного маркера**. При

изменении позиции опорного маркера вследствие действия пользователя или включённой функции слежения синхронно будет перемещаться и **дельта-маркер** (в соответствии с установленным типом и значением смещения). Данная функция может быть удобной при анализе АЧХ или спектра сигналов различных устройств. При включении режима «дельта-маркера» между ним и опорным будет автоматически создан связной маркер (см. п.2.10.4), по умолчанию отображающий разницу частот в МГц.

Свойство «**Слежение**» в окне «Свойства маркера» по умолчанию включено. Это означает, что после задания необходимых параметров (критерия слежения и трассы) маркер перейдёт в режим слежения. Если задать параметры слежения при выключенном свойстве «Слежение», то маркер выполнит однократный поиск в текущем кадре, переместится на новую позицию и перейдёт в режим «Свободный».

При включении «**Автопоиска**» в окне «Свойства маркера» (значения «Локальный экстремум» или «Экстремум с номером») изменяется его поведение при перемещении мышью. Нажав левую кнопку мыши, можно подвести маркер к другому экстремуму и отжать кнопку – отпустить маркер. При перемещении маркера мышью на трассе появляются жёлтые треугольники, обозначающие локальные минимумы и максимумы, как показано на рисунке 4.49-б. После отпускания маркер найдёт ближайший к новому положению экстремум и, если включён режим слежения, перейдёт в режим слежения за ним. Следящий маркер при необходимости поменяет критерий слежения на поиск минимума или максимума, изменит диапазон поиска экстремума, чтобы исключить более значимые экстремумы, и продолжит слежение за экстремумом. Для перемещения маркера в режиме «Автопоиск» можно использовать клавиши «←», «→» на клавиатуре. Стрелка влево переместит к левому ближайшему экстремуму, стрелка вправо – к правому.

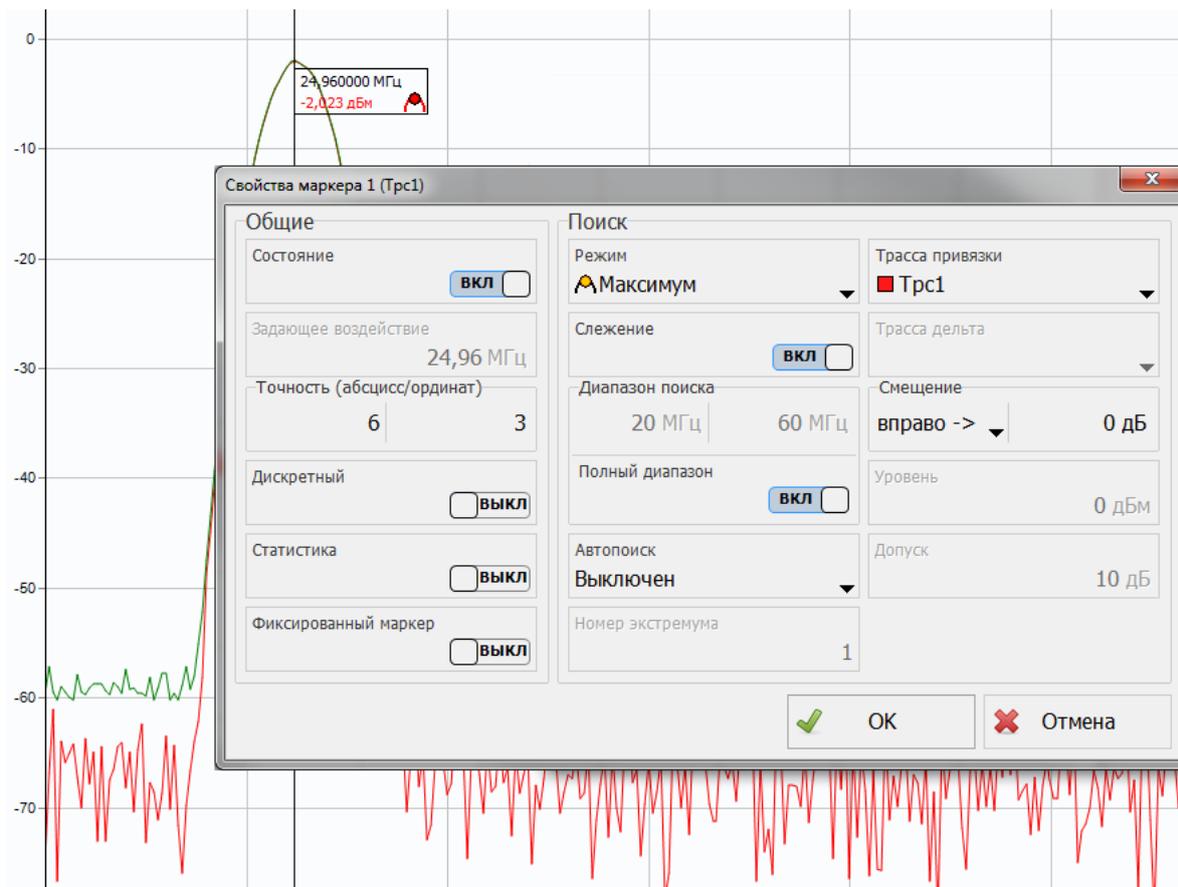


Рисунок 2.52 – Демонстрация особенностей работы маркера при поиске экстремума

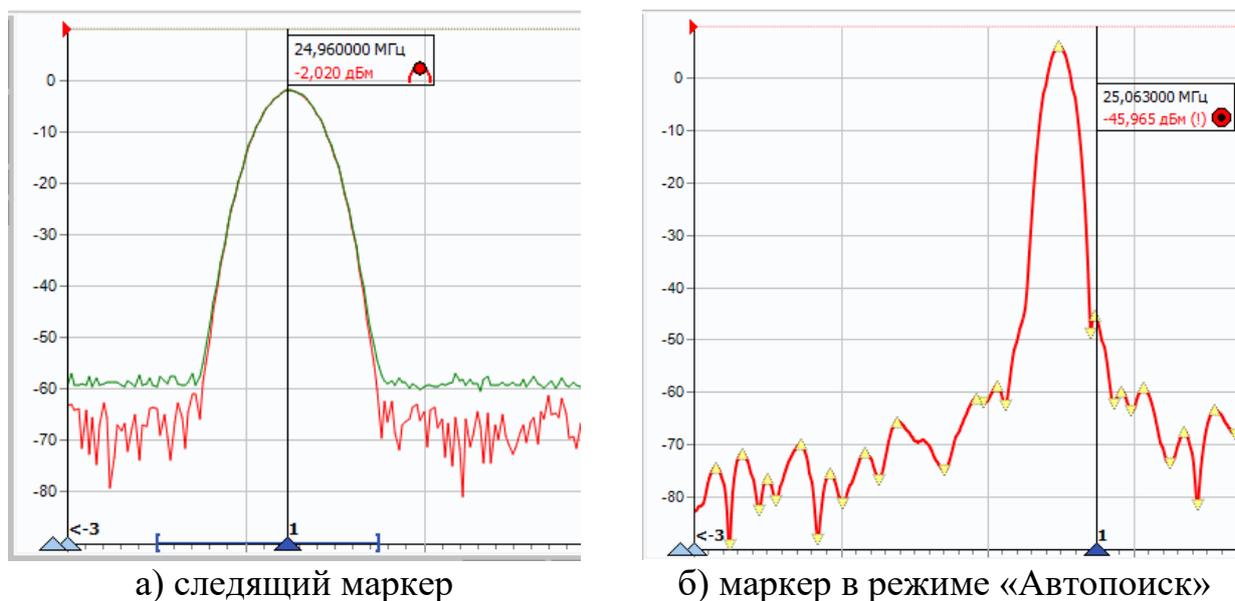


Рисунок 2.53 – Виды маркеров

Маркер в режиме «Автопоиск» может пропускать экстремумы, отличающиеся от соседних на небольшую величину. В окне свойства маркера в поле

«Допуск» можно задать минимальную величину, на которую должны отличаться значения в экстремумах. Следует уменьшить её, чтобы исключить пропуск экстремумов, или увеличить, если вместо экстремумов выделяются шумовые выбросы. Дополнительно существует возможность поиска экстремумов по их порядковому номеру (нумерация слева направо в пределах диапазона), данный режим включается выбором значения «Экстремум с номером».

#### 2.10.4 Связные маркеры

Если нажать левую кнопку мыши над значком, обозначающим режим маркера, перевести курсор к другому маркеру и отпустить кнопку мыши, то создастся связной маркер – горизонтальная черта, показанная на рисунке 2.44, над которой отображается некоторое значение, которое по умолчанию соответствует разнице абсцисс связанных маркеров (шаблон «Полоса»). После щелчка правой кнопкой мыши по связному маркеру появляется контекстное меню (рисунок 2.54), позволяющее изменить свойства, скопировать значение, установить в качестве диапазона сканирования частоты связанных маркеров или удалить связной маркер.

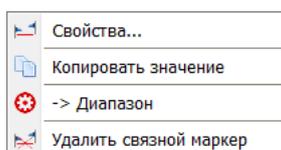


Рисунок 2.54 – Контекстное меню связных маркеров

Окно свойств связного маркера, приведённое на рисунке 2.55, позволяет задавать арифметическое выражение, вычисляющее отображаемое над связью значение.

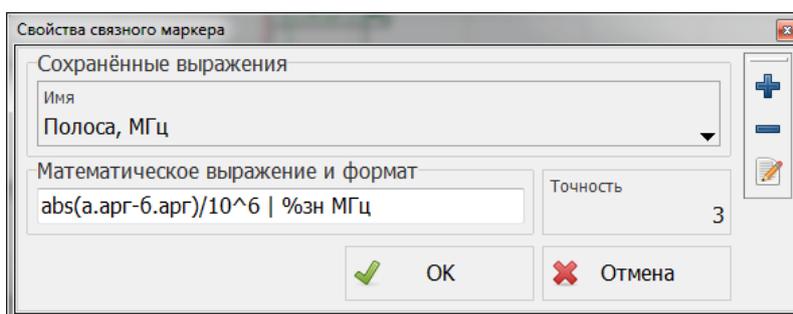


Рисунок 2.55 – Свойства связного маркера

Арифметическое выражение можно набрать в поле ввода «Математическое выражение» или выбрать из списка сохранённых формул в верхней части диалога. Кнопки справа от списка позволяют сохранить набранное выражение в списке, изменить ранее текущее или ранее сохранённое выражение, используя расширенный редактор (рисунок 2.56), или удалить выражение из списка со-

хранённых.

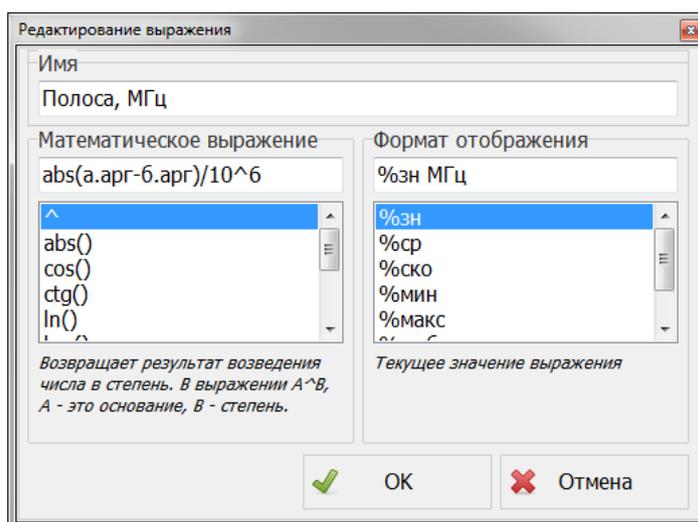


Рисунок 2.56 – Редактирование математического выражения

Текст арифметического выражения не должен содержать пробелов. Допускается использование следующих операторов (в порядке убывания приоритета):

- $\wedge$  – возведение в степень;
- $*$ ,  $/$  – умножение и деление (имеют равный приоритет, выполняются слева направо);
- $+$ ,  $-$  – сложение и вычитание.

Для изменения последовательности выполнения операций используются круглые скобки. Для изменения знака (унарный минус) следует использовать следующую конструкцию:

$0$  – выражение.

Т а б л и ц а 2.4 – Поддерживаемые операнды математических выражений

Операнд	Значение
<i>abs</i> (выражение)	Абсолютное значение (модуль числа)
<i>sin</i> (выражение)	Синус
<i>cos</i> (выражение)	Косинус
<i>tg</i> (выражение)	Тангенс
<i>ctg</i> (выражение)	Котангенс
<i>ln</i> (выражение)	Натуральный логарифм
<i>log</i> (выражение)	Десятичный логарифм
<i>sqrt</i> (выражение)	Вычисление квадратного корня
<i>sqr</i> (выражение)	Вычисление квадрата

В качестве операндов в выражении могут использоваться:

- численные константы (неотрицательные, дробная часть отделена

- точкой);
- значения из связанных маркеров или любых других.

Маркеры обозначаются в соответствии с их номерами: «м1» (буква «м» кириллицей), «м2», «м3» и т.д.

К маркерам, состоящим в связи, можно обратиться по именам «а» и «б». Причём «а» – это маркер с меньшим номером, а «б» – с бóльшим. У каждого маркера доступны для чтения следующие поля:

- *арг* – значение по оси абсцисс;
- *НазваниеТрассы* – значение по оси ординат из указанной трассы.

При возникновении ошибки в вычислениях – деление на ноль или отсутствие данных, выражение примет значение «Н/Д» (нет данных), которое отобразится над связью.

После арифметического выражения, отделённые вертикальной чертой «|», могут следовать спецификаторы и комментарии. Определены следующие спецификаторы:

- %зн – текущее значение выражения;
- %ср – среднее за время измерения;
- %ско – среднеквадратическое отклонение от среднего;
- %мин – минимальное значение;
- %макс – максимальное значение;
- %выб – выборка (номер кадра);
- %врм – длительность кадра.

Весь текст, не совпадающий с перечисленными выше спецификаторами, считается комментариями, который выводится без изменений. Выводимая спецификаторами статистика сбрасывается после щелчка мыши по связи.

Рассмотрим несколько примеров арифметических выражений.

Пример 1: а.арг-б.арг | Полоса: %зн МГц

Вычисляется разность частот связанных маркеров. Полученное значение выводится между словами «Полоса:» и «МГц». В этом примере разность частот может оказаться отрицательной. В следующем примере вычисляется абсолютное значение разности.

Пример 2: а.Трс1-а.Пам1 | %мин; %ср; %макс; %ско дБ

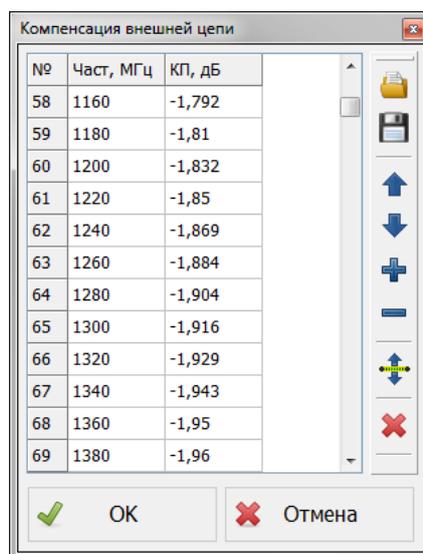
В этом примере накапливается и отображается статистика отличий значений в трассе «Трс1» от запомненного в трассе памяти «Пам1».

При помощи связанного маркера можно установить диапазон сканирования,

выбрав соответствующую команду в подменю «Управление», при этом границы диапазона сканирования будут соответствовать абсциссам связанных маркеров.

## 2.11 Компенсация внешней цепи

Функция позволяет задавать частотные коэффициенты передачи внешних цепей, подключаемых к входу СВЧ анализатора, с целью учёта этих параметров и коррекции отображаемого уровня, например, для компенсации потерь сигнала в кабеле и т.п.



№	Част, МГц	КП, дБ
58	1160	-1,792
59	1180	-1,81
60	1200	-1,832
61	1220	-1,85
62	1240	-1,869
63	1260	-1,884
64	1280	-1,904
65	1300	-1,916
66	1320	-1,929
67	1340	-1,943
68	1360	-1,95
69	1380	-1,96

Рисунок 2.57 – Окно характеристики КП внешней цепи

Характеристика внешней цепи задаётся в таблице окна (рисунок 2.57), открывающегося при нажатии кнопки «Таблица КП...» в группе «Компенсация внешней цепи» панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 2.16-в). Характеристика формируется путём кусочно-линейной аппроксимации заданных точек. Вне заданного диапазона значение корректирующего коэффициента экстраполируется путём сохранения уровня ослабления крайних заданных значений. Сортировка характеристики по значениям частот происходит автоматически после закрытия окна.

Используя кнопки в правой части окна, можно сохранить сформированную таблицу в файл, а также загрузить характеристику из файла трассы (формат \*.tr), параметра  $S_{21}$  файла Touchstone® (\*.s2p), либо другого текстового файла, содержащего два столбца значений, разделённых символами табуляции или запятыми (\*.csv). С помощью кнопок на боковой панели инструментов можно редактировать таблицу – добавлять или удалять строки, вставлять сегмент (интервал) частот, либо производить полную очистку данных.

Активировать учёт коэффициента передачи внешней цепи можно при по-

мощи переключателя в группе «Компенсация внешней цепи» панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 2.16-в). На боковой статусной панели отобразится индикатор .

## 2.12 Сохранение результатов измерений и формирование отчётов

Для сохранения результатов измерений существуют следующие возможности:

- сохранение трассы;
- формирование и сохранение отчёта.

**Чтобы сохранить трассу** на диск, следует выбрать пункт «Сохранить» в меню трассы или нажать комбинацию клавиш «**Ctrl+F**». В выбранный текстовый файл с расширениями *tr* или *csv* сохраняются форматированные данные – последовательность пар чисел. Каждая пара – это соответствующие одной точке трассы значения по осям абсцисс и ординат. Данный вариант экспорта данных рекомендуется использовать при необходимости импортировать значения в приложения для работы с таблицами или вычислениями.

**Чтобы создать отчёт**, следует выбрать пункт меню «Диаграмма > Отчёт», либо нажать кнопку  на панели инструментов «Анализ данных» или воспользоваться комбинацией клавиш «**Ctrl+P**». В появившемся окне «Параметры отчёта» (рисунок 2.58) выбрать шаблон отчёта, настроить отображение маркеров и настроить печать. Опция «Белый фон диаграммы» доступен только для темы оформления «Графит».

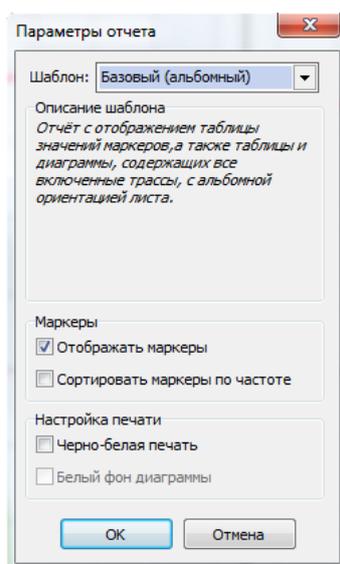


Рисунок 2.58 – Создание отчёта

Мастер отчётов предложит ввести заголовок и краткое описание к отчёту

и отобразит окно предварительного просмотра, приведённое на рисунке 2.59.

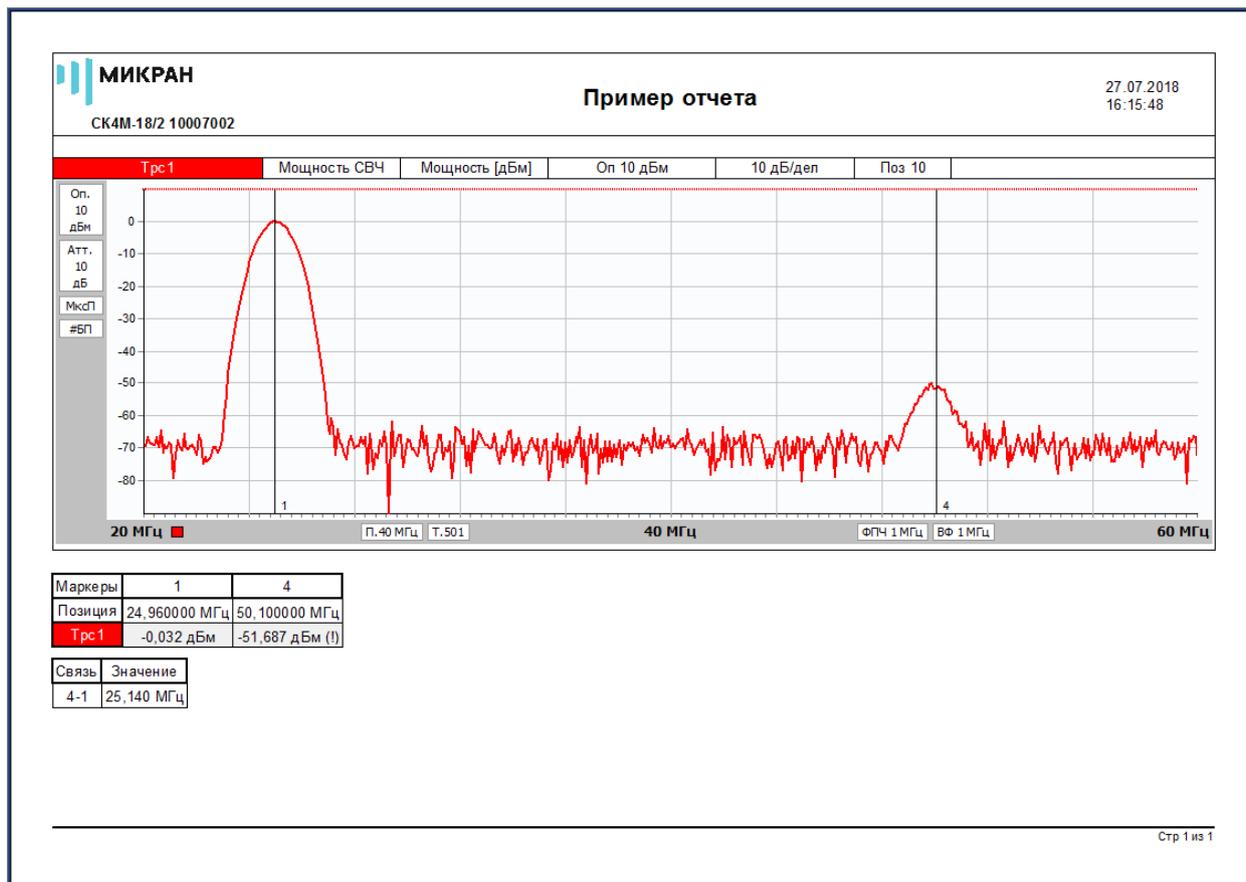


Рисунок 2.59 – Окно просмотра отчёта

Подготовленный отчёт можно напечатать (нажатием кнопки «Печать») или экспортировать (кнопкой с изображением листа со стрелкой) в файл форматов: *pdf*, *html*, *rtf* (документ *Word*), *odt* (документ *Open Office*) и рисунок *jpeg*.

### 2.13 Сообщения для пользователя и журнал событий

В процессе работы анализатора в нём могут фиксироваться определённые события, о которых необходимо уведомлять пользователя (рисунок 2.60). К таким событиям относятся:

- операции, выполняемые анализатором автоматически (автоподстройка уровня, восстановление подключения и некоторые другие);
- определённые возможные события, влияющие на работу анализатора или правильность результата измерения (перегрузка, нарушение соединения, ожидание синхронизации и т.д.);
- ошибки и неисправности, приводящие к нарушению работы анализатора (отсутствие захвата гетеродина, различные нарушения передачи данных в измерительном блоке и т.п.).

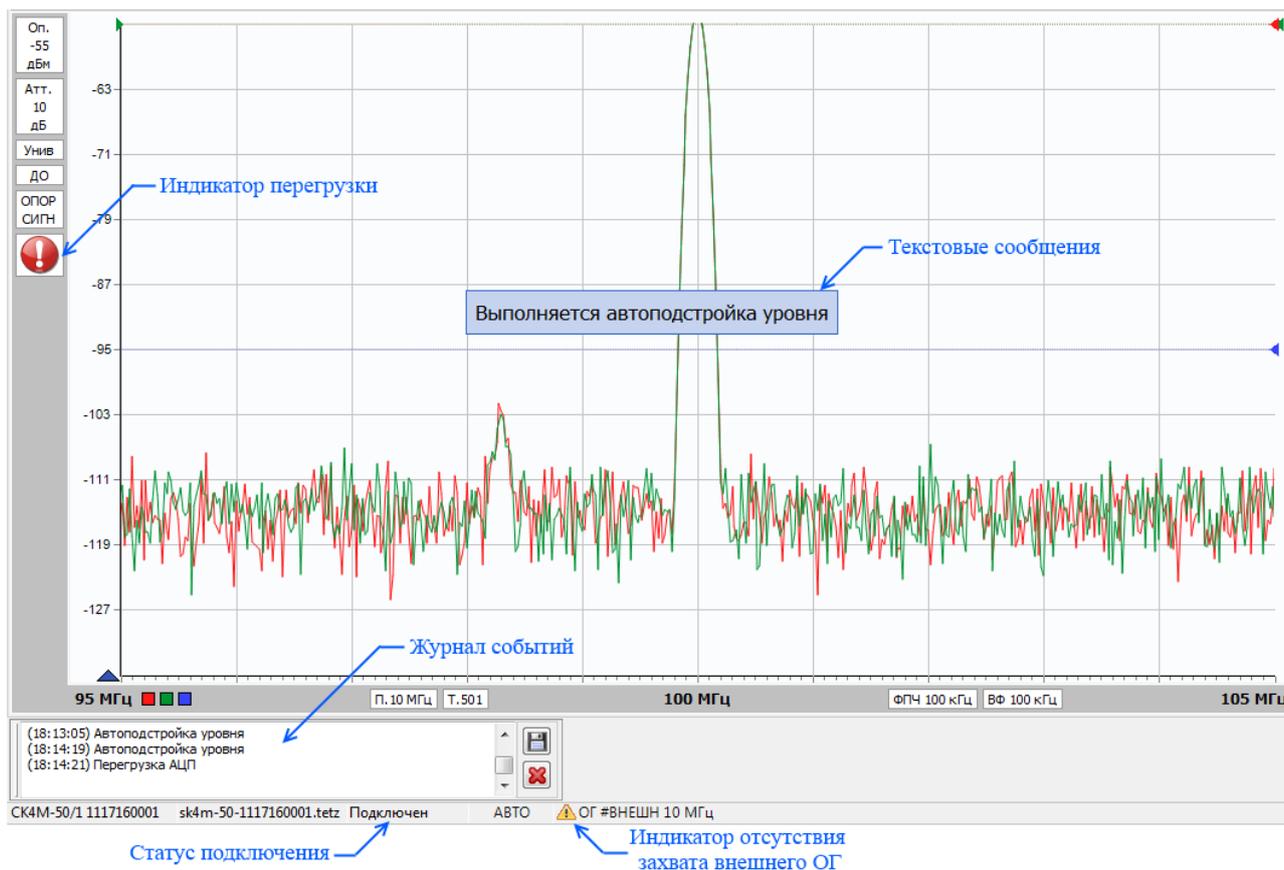


Рисунок 2.60 – Сообщения для пользователя

Возникновение событий, имеющих, как правило, временный характер, сопровождается короткими текстовыми сообщениями, выводимыми в центре монитора. Сообщение о перегрузке анализатора появляется в верхней части вертикальной шкалы диаграммы в виде красного сигнализатора. При наведении курсора на индикатор появляется поясняющее сообщение. Кроме того, индикатор перегрузки расположен на передней панели анализатора. Об отсутствии синхронизации опорного генератора анализатора от внешнего источника сигнализирует значок в статусной строке программы.

Об ошибках и неисправностях сообщают диалоговые окна, при появлении которых измерение прекращается (рисунок 2.61). Скопировать текст ошибки в буфер обмена можно, используя комбинацию клавиш «**Ctrl+C**».

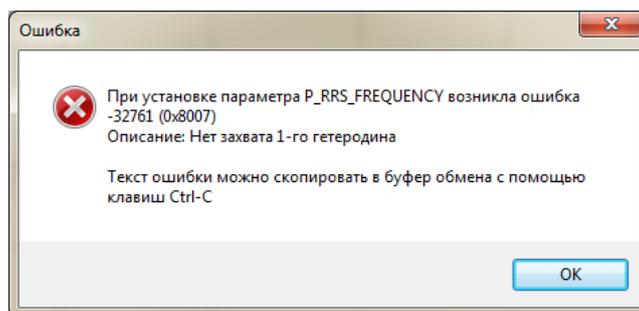


Рисунок 2.61 – Сообщение об ошибке

Для обеспечения возможности фиксирования таких событий в процессе измерения предусмотрено окно «**Журнал событий**». Скрытие и отображение окна осуществляется выбором пункта «Журнал событий» в меню «Вид > Панель инструментов» или нажатием клавиш «**Ctrl+J**». Окно можно открепить от панели и переместить мышью в любую область экрана. В журнал событий автоматически заносятся описанные выше сообщения с указанием времени их возникновения. Текст окна можно сохранять (в текстовый файл с расширением *log*) или удалять с помощью соответствующих кнопок в правой части окна.

## 2.14 Список «горячих» клавиш

Т а б л и ц а 2.5 – Список «горячих» клавиш

Горячая клавиша	Функция
 Клавиша «Контекст»	Отобразить контекстное меню для выделенных трасс
<i><b>Главное окно программы</b></i>	
F1	Вызов справки
F2	Сохранение снимка окна программы в файл
F3	Открыть профиль пользователя
F4	Сохранить профиль пользователя
F5	Запуск изменения / повторить поиск приборов
F6	Запуск мастера калибровки (режим ИКШ)/запуск мастера градуировки (режим градуировки ГШ)
Alt + F4	Выход из программы
Alt + F5	Однократное измерение
Параметры отображения окна диаграммы	
F9	Показать/скрыть дополнительные подписи нижней оси
F10	Вызов меню главного окна (системная функция)
F11	Развернуть окно диаграммы
<i><b>Диаграммы</b></i>	
CTRL + P	Отчёт
<i><b>Список трасс</b></i>	
Delete	Удаление выделенных трасс(-ы)
Ctrl + A	Выделить все трассы в списке
Ctrl + F	Сохранить данные трассы в файл
Ctrl + R	Запомнить текущую трассу (П)
Ctrl + M	Создать математическую трассу (М)
Ctrl + N	Создать измерительную трассу (И)

Ctrl + U	Обновить данные в трассе памяти
Ctrl + Z	Отмена последнего масштабирования
A	Автоматическое масштабирование выделенных трасс
<b>Маркеры</b>	
<i>Применяются к выделенному маркеру</i>	
C	Вкл./выкл. счётчика частоты
D	Вкл./выкл. дискретный режим
E	Вкл./выкл. режим автопоиска экстремума
F	Однократный подсчёт частоты (для счётчика частоты)
T	Вкл./выкл. режим слежения
U	Обновление значений фиксированного маркера
V	Вкл./выкл. активный маркер
S	Вкл./выкл. статистики
Ctrl + (1~9)	Привязать маркер к соответствующей трассе
Стрелка влево	Перемещение влево к следующему экстремуму (в режиме автопоиска), либо на соседнюю точку (в дискретном режиме)
Стрелка вправо	Перемещение вправо к следующему экстремуму (в режиме автопоиска), либо на соседнюю точку (в дискретном режиме)
<i>Применяются ко всем маркерам</i>	
Ctrl + J	Включить новый маркер
Ctrl + E	Сброс всех маркеров
Ctrl + L	Открыть профиль маркеров из файла
Ctrl + K	Сохранить профиль маркеров в файл
Ctrl + D	Активировать все маркеры на диаграмме (исключая припаркованные) / деактивировать все активные маркеры
F8	Вкл./выкл. компактный режим
Ctrl + H	Поиск гармоник с заданным допуском
<b>Ограничительные линии</b>	
Ctrl + S	Сохранить данные в файл
Ctrl + O	Открыть данные из файла
Ctrl + Up	Сдвинуть строку вверх
Ctrl + Down	Сдвинуть строку вниз
Ctrl + Ins	Вставить строку
Ctrl + Del	Удалить строку
Ctrl + R	Очистить список
<b>Список частот</b>	
Ctrl + Up	Сдвинуть строку вверх

Ctrl + Down	Сдвинуть строку вниз
Ctrl + Ins	Вставить строку
Ctrl + Del	Удалить строку

## 2.15 Описание режима «Градуировка генераторов шума»

Запуск ПО *Graphit* в режиме «Градуировка генераторов шума» производится, используя соответствующий ярлык рабочего стола или меню «Пуск» *Windows®*, либо сменой режима измерения в меню «Файл > Режим измерения...» (см. п. 2.1).

### 2.15.1 Основные формулы

ИОШТ генератора шума можно выразить следующим образом

$$ENR = \frac{T_h - T_c}{T_0}, \quad (2.3)$$

где  $ENR$  – ИОШТ ГШ, ед. (т.к. ИОШТ измеряется в отн. ед., а далее будут вводиться относительные ПГ также в отн. ед., то далее в этом подразделе, для различения этих единиц, единицы для ИОШТ будем обозначать «ед.», а относительные величины, производные от ИОШТ, будем обозначать «отн. ед.» рассматриваться относ);

$T_0 = 290$  – стандартная температура, К;

$T_c$ ,  $T_h$  – номинальные шумовые температуры соответственно «холодного» ГШ (для твердотельных ГШ соответствует выключенному состоянию) и «горячего» ГШ (для твердотельных ГШ соответствует включённому состоянию), К.

$$ENR[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg(ENR[\text{ед.}]), \quad (2.4)$$

$$ENR[\text{ед.}] = 10^{0,1 \cdot ENR[\text{дБ}]}.$$

Исходными данными для вычислений являются введённые значения ИОШТ эталонного ГШ  $ENR_1$  (берётся из свидетельства о поверке или сертификата калибровки), ед. Расчёт ИОШТ градуируемого (исследуемого) ГШ  $ENR_2$ , ед., производится по формуле:

$$ENR_2 = ENR_1 \frac{ГШ_2^{ВКЛ} - ГШ_2^{ВЫКЛ}}{ГШ_1^{ВКЛ} - ГШ_1^{ВЫКЛ}}, \quad (2.5)$$

где  $ГШ_2^{ВКЛ}$  и  $ГШ_2^{ВЫКЛ}$  – измеренные уровни выходной мощности исследуемого ГШ соответственно во включённом и выключенном состояниях, Вт;  
 $ГШ_1^{ВКЛ}$  и  $ГШ_1^{ВЫКЛ}$  – измеренные уровни выходной мощности эталонного

ГШ соответственно во включённом и выключенном состояниях, Вт.

### 2.15.1.1 Метод дополнительной калибровки

Суть метода заключается в том, что измерение мощностей эталонного ГШ проводятся в начале и в конце каждого цикла измерений. Разность между результатами этих измерений позволяет оценить нестабильность КП измерительного тракта анализатора и ввести соответствующую поправку. Итоговые измеренные значения  $ENR$ , ед., в каждом цикле измерений рассчитываются по формуле:

$$ENR_2 = ENR_1 \frac{ГШ_2^{ВКЛ} - ГШ_2^{ВЫКЛ}}{\frac{ГШ_1^{ВКЛ} + ГШ_1^{ВКЛ'}}{2} - \frac{ГШ_1^{ВЫКЛ} + ГШ_1^{ВЫКЛ'}}{2}}, \quad (2.6)$$

где  $ГШ_1^{ВКЛ'}$  и  $ГШ_1^{ВЫКЛ'}$  – измеренные уровни выходной мощности эталонного ГШ соответственно во включённом и выключенном состояниях во время повторной (дополнительной) калибровки (последнее измерение в цикле), Вт.

По завершении всех циклов измерений вычисляется среднее значение ИОШТ из тех, которые были получены в каждом цикле.

### 2.15.1.2 Градуировка согласно методике поверки ГШМ2

Особенность данного метода заключается в наборе статистики и расчёте суммарной средней квадратической погрешности измеренной ИОШТ, учитывающей ПГ эталонного ГШ, погрешность измерения КП устройств, вносящих потери, ПГ метода градуировки и флюктуации во время измерений. Суммарная средняя квадратическая погрешность (ССКП), дБ, для каждой частотной точки вычисляется по формуле:

$$S_{\Sigma, дБ} = 10 \cdot \lg \left( 1 + \frac{S_{\Sigma}}{\bar{N}} \right), \quad (2.7)$$

где  $S_{\Sigma}$  – ССКП, ед.

$\bar{N}$  – оценка среднего измеренного значения ИОШТ градуируемого ГШ, ед.

В свою очередь  $\bar{N}$ , ед., для каждой частотной точки вычисляется по формуле:

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n N_i, \quad (2.8)$$

где  $n$  – количество циклов измерений;  
 $N_i$  – измеренное ИОШТ градуируемого ГШ на некоторой частоте, ед.  
 ССКП, ед., вычисляется по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{РЭ}^2 + S_{\text{кал}}^2 + S_{\text{изм}}^2 + S_{\text{м}}^2 + \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n-1}}, \quad (2.9)$$

где  $S_{РЭ}$  – среднее квадратическое отклонение ИОШТ рабочего эталонного ГШ, ед.;

$S_{\text{кал}}$  – среднее квадратическое отклонение КП по мощности ( $S_{21}^{\text{кал}}$ )<sup>2</sup> устройства, которое вносит потери (аттенюатор и/или переход) и которое прикручено на выход рабочего эталона, ед.;

$S_{\text{изм}}$  – среднее квадратическое отклонение КП по мощности ( $S_{21}^{\text{изм}}$ )<sup>2</sup> устройства, которое вносит потери (аттенюатор и/или переход) и которое прикручено на выход исследуемого ГШ во время измерения его характеристики, ед.;

$S_{\text{м}}$  – среднее квадратическое отклонение ПГ метода градуировки, ед.

Расчёт  $S_{РЭ}$ ,  $S_{\text{кал}}$ ,  $S_{\text{изм}}$  и  $S_{\text{м}}$ , ед., производится из соответствующих пределов абсолютных ПГ  $\Delta_{РЭ}^+$ ,  $\Delta_{РЭ}^-$ ;  $\Delta_{\text{кал}}^+$ ,  $\Delta_{\text{кал}}^-$ ;  $\Delta_{\text{изм}}^+$ ,  $\Delta_{\text{изм}}^-$  и  $\Delta_{\text{м}}^+$ ,  $\Delta_{\text{м}}^-$  (в предположении равномерности закона распределения этих ПГ) по формуле

$$S_x = \frac{(\Delta_x^+ - \Delta_x^-)}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (2.10)$$

где «x» – соответствующий индекс – «РЭ», «кал», «изм» или «м».

Пределы  $\Delta_{РЭ}^{\pm}$ ,  $\Delta_{\text{кал}}^{\pm}$ ,  $\Delta_{\text{изм}}^{\pm}$  и  $\Delta_{\text{м}}^{\pm}$ , ед., определяются соответственно из пределов ПГ (знаковые величины) рабочего эталона  $\delta_{РЭ}$ , пределов ПГ измерения КП по напряжению  $S_{21}^{\text{кал}}$ ,  $S_{21}^{\text{изм}}$ , и предела ПГ метода градуировки  $\delta_{\text{м}}$ , в дБ, по формуле

$$\Delta_x^{\pm} = K \cdot (10^{\pm 0,1 \cdot |\delta_x|} - 1), \quad (2.11)$$

где  $K$  – оценка среднего значения ИОШТ  $\overline{ENR}_x$  для эталонного ГШ ( $\overline{ENR}_x$  в ед. и  $\overline{ENR}_x$  в дБ связаны по формуле (2.4)), т.е. значения, приводимые в сертификате калибровки или в свидетельстве о поверке (если рассчитывается  $\Delta_{РЭ}^{\pm}$ ), или ИОШТ для градуируемого ГШ (если рассчитывается  $\Delta_{\text{м}}^{\pm}$ ), или  $K[\text{ед.}] = (S_{21}^{\text{кал}}[\text{отн. ед.}])^2$  (если рассчитывается  $\Delta_{\text{кал}}^{\pm}$ ), или  $K[\text{ед.}] = (S_{21}^{\text{изм}}[\text{отн. ед.}])^2$  (если рассчитывается  $\Delta_{\text{изм}}^{\pm}$ ), ед.

**i** Формулу (2.11) можно получить из формулы (2.7), если вместо  $S_{\Sigma}$ ,  $S_{\Sigma, \text{дБ}}$  и  $\bar{N}$  соответственно подставить  $\Delta_x^{\pm}$ ,  $\delta_x$  и  $K$ .

### 2.15.1.3 Компенсация потерь

В ПО *Graphit* имеется возможность компенсации потерь, вносимых на этапах калибровки и измерения переходами и другими устройствами. Для этого можно загрузить соответствующие файлы с *S*-параметрами устройства формата *Touchstone® S2P*. Для переходов вместо *S2P*-файла можно выбрать соответствующий тип перехода (см. п. 2.15.2.2); в этом случае зависимость величины потерь (в децибелах) от частоты аппроксимируется функцией:

$$Loss(F) = L_0 + (L_1 - L_0) \cdot \sqrt{\frac{F}{F_1}}, \quad (2.12)$$

где  $L_0$  – ослабление на частоте  $F = 0$  Гц;  
 $L_1$  – ослабление на частоте  $F$ ;  
 $F$  – частота, Гц.

Величины  $L_0$  и  $L_1$  отображаются в полях с регулировкой значения «ослабление»; частоты, на которых задаются потери, отображаются справа от этих полей (рисунок 2.62).

Если совместно с эталонным ГШ используются переходы и аттенюаторы, то его характеристика  $ENR_1$ , ед., корректируется по формуле

$$ENR'_1(f) = ENR_1(f) \cdot |S_{21}^{кал}(f)|^2 \cdot 10^{-0,1 \cdot Loss_{кал}(f)}, \quad (2.13)$$

где  $S_{21}^{кал}(f)$  – коэффициент передачи устройства, вносящего потери на этапе калибровки, отн. ед. (задаются в полях ввода «Потери:» путем указания полного пути к файлу *S2P* с *S*-параметрами и установки флажка напротив этого поля, см. п. 2.15.2.2).

$Loss_{кал}(f)$  – потери, рассчитанные по формуле (2.12) для этапа калибровки (величина положительная), дБ;

Далее в формуле (2.5) значения  $ENR'_1(f)$  используются вместо  $ENR_1(f)$ .

Если дополнительно на этапе измерения совместно с исследуемым ГШ применяются аттенюаторы и переходы, то окончательный результат измерения ИОШТ, ед., выводимый на экран, получается путём следующей компенсации

$$ENR'_2(f) = \frac{ENR_2(f)}{|S_{21}^{изм}(f)|^2 \cdot 10^{-0,1 \cdot Loss_{изм}(f)}}, \quad (2.14)$$

где  $ENR_2(f)$  – измеренная величина ИОШТ градуируемого ГШ (до компенсации), ед.;

$S_{21}^{изм}(f)$  – коэффициент передачи устройства, вносящего потери на этапе измерения, отн. ед. (задаются в полях ввода «Потери:» путем указания полного пути к файлу *S2P* с *S*-параметрами и установки флажка напротив этого поля, см. п. 2.15.2.2).

$Loss_{\text{изм}}(f)$  – потери, рассчитанные по формуле (2.12) для этапа измерения, дБ;

Таким образом, потери, вносимые на этапе калибровки, в отличие от потерь на этапе измерений, не компенсируются, а учитываются в характеристике эталона.

## 2.15.2 Описание мастера градуировки ГШ

Градуировка ГШ проводится с помощью мастера градуировки, для запуска которого необходимо в главном меню выбрать «Управление > Мастер градуировки ГШ...» или нажать кнопку «градуировка ГШ» на соответствующей панели инструментов.

### 2.15.2.1 Первый этап мастера

На первом этапе мастера можно выбрать метод градуировки: метод дополнительной калибровки (позволяет компенсировать нестабильность собственного КП измерительного тракта анализатора, см. п. 2.15.1.1) или метод согласно методике поверки (см. п. 2.15.1.2). Также на этом этапе устанавливается количество циклов измерений, которое определяет количество подключений градуируемого ГШ.

### 2.15.2.2 Второй этап мастера

На втором этапе мастера (рисунок 2.62) в группе «Градулируемый генератор шума (ГШ)» можно ввести потери и указать переход в том случае, если в ходе всей градуировки к исследуемому ГШ (или эталонному ГШ) прикручен, например, аттенюатор и/или переход. Потери в переходах можно учитывать двумя способами – параметрически (см. 2.15.1.3) или с помощью файла  $S2P$  с  $S$ -параметрами (рекомендуется). В случае параметрического учёта потерь параметры перехода можно задавать вручную, для этого в поле со списком «Используемый переход:» необходимо выбрать «пользовательский».

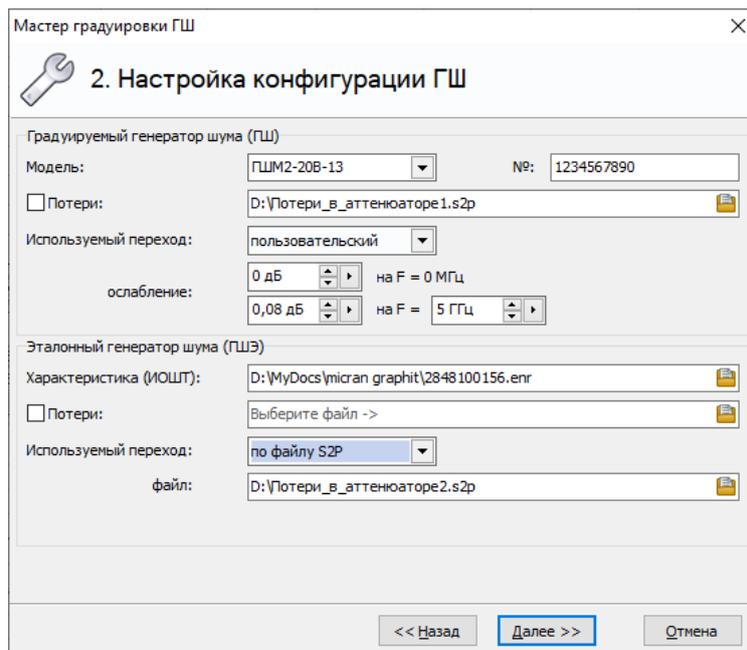


Рисунок 2.62 – Пример заполнения полей на втором этапе мастера градуировки

### 2.15.2.3 Третий этап мастера

На следующем этапе задаются условия окружающей среды и даты, а также отображается информация об эталонном ГШ, считанная из файла (при её наличии).

### 2.15.2.4 Четвёртый этап мастера

На четвёртом этапе мастера можно задать параметры, которые необходимо контролировать в ходе градуировки в случае проведения допускового контроля; также можно задать вид и каталоги сохраняемых результатов измерений (рисунок 2.63).

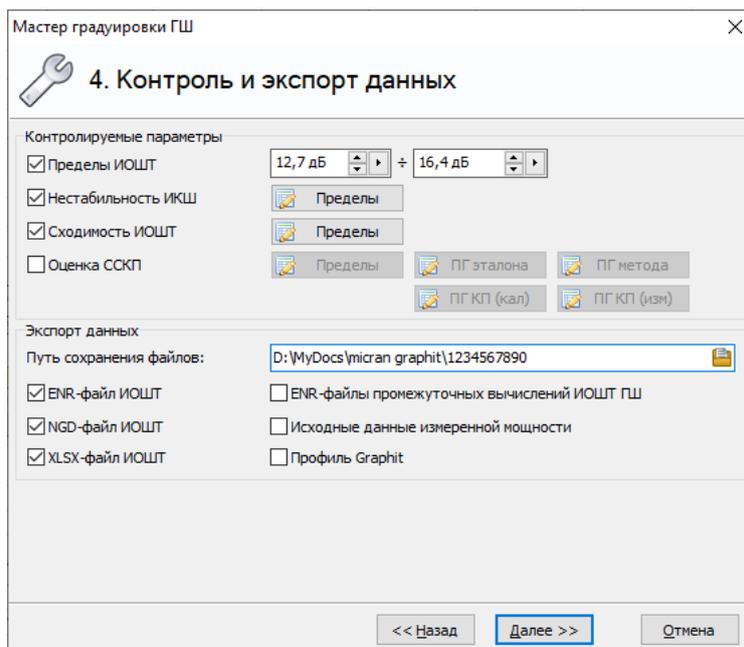


Рисунок 2.63 – Четвёртый этап мастера градуировки

Пределы допускаемых значений можно задать, нажав соответствующие кнопки «Пределы».

Если в ходе градуировки контролируемые величины выходят за установленные пределы, появится предупреждение. Если флажки для контролируемых параметров не установлены, то эти величины в ходе градуировке не отслеживаются.

«Нестабильность ИКШ» позволяет контролировать КП измерительного тракта анализатора путём сравнения измеренного значения ИОШТ эталонного ГШ либо в начале градуировки и по её окончании (т.е. ИОШТ ГШЭ и ГШЭ\*), либо в начале и в конце каждого цикла (в зависимости от выбранного метода градуировки). Если контроль нестабильности не установлен, то измерение эталонного ГШ на последнем шаге (т.е. ГШЭ\*) не проводится.

«Сходимость ИОШТ» представляет собой разность в дБ между измеренными значениями ИОШТ градуируемого ГШ в двух разных циклах. Для метода дополнительной калибровки она считается удовлетворительной, если хотя бы для одной пары циклов это значение не выходит за установленные пределы. В этом случае результатом измерения будет среднее значение ИОШТ из этой пары, а процесс градуировки может быть завершён преждевременно.

При установке флажка «Оценка ССКП» по итогам градуировки контролируется суммарная средняя квадратическая погрешность. Этот флажок по умолчанию устанавливается при градуировке согласно методике поверки (см. п. 2.15.1.2)

В поле ввода «Путь сохранения файлов:» указывается каталог для сохранения результатов измерения. После завершения работы мастера будут помещены файлы с данными, для которых были установлены флажки в группе

«Экспорт данных».

### 2.15.2.5 Результаты измерений

Результирующие значения ИОШТ градуируемого ГШ будут сохранены в файлы *\*.enr* и *\*.ngd* в каталог, указанный на четвёртом этапе мастера (если на этом шаге были установлены соответствующие флажки, рисунок 2.63), а также будет находиться в трассе «ГШ\_итог» верхней диаграммы. Значения в этой трассе, в свою очередь, представляют собой средние значения ИОШТ трасс (в отн. ед.), полученных в отдельных циклах измерений; т.е. трасса «ГШ\_итог» является средним между трассами «ГШ\_ц1», «ГШ\_ц2» и т.д.

Если был установлен флажок «Оценка ССКП», то на диаграмме помимо трассы «ГШ\_итог» трасса «ССКП» также будет заполнена данными (в противном случае трасса не будет заполнена данными), которые будут представлять собой суммарную среднюю квадратическую погрешность (см. п. 2.15.1.2).

Если на четвёртом этапе мастера (рисунок 2.63) были установлены все флажки в группе экспорта данных, а также флажок «Оценка ССКП», то указанный каталог должен содержать следующие файлы:

- файлы с итоговым значением ИОШТ градуируемого ГШ: *серийный\_номер\_ГШ.enr*, *серийный\_номер\_ГШ.ngd* и *серийный\_номер\_ГШ.xlsx*;
- файлы с ИОШТ, полученными отдельно в каждом цикле: *серийный\_номер\_ГШ\_stage1.enr*, *серийный\_номер\_ГШ\_stage2.enr* ... и *серийный\_номер\_ГШ\_stage1.ngd*, *серийный\_номер\_ГШ\_stage2.ngd* ...;
- файлы с измеренными мощностями исследуемого ГШ во включённом («hot») и выключенном («cold») состояниях: *cycle1\_dut\_cold.tr*, *cycle1\_dut\_hot.tr*, *cycle2\_dut\_cold.tr*, *cycle2\_dut\_hot.tr*, ...;
- файлы с измеренными мощностями эталонного ГШ во включённом («hot») и выключенном («cold») состояниях: *cycle1\_ref1\_cold.tr*, *cycle1\_ref1\_hot.tr*, *cycle1\_ref2\_cold.tr*, *cycle1\_ref2\_hot.tr*, *cycle2\_ref1\_cold.tr*, *cycle2\_ref1\_hot.tr* ...;
- файл со значениями суммарной средней квадратической погрешности в дБ: *серийный\_номер\_ГШ\_RMS.trc*;
- профиль ПО *Graphit: min\_ГШ.gpr*.

## 3 Измерения

### 3.1 Анализ спектра

Запуск ПО *Graphit* в режиме «СК4М. Анализатор спектра» производится, используя соответствующий ярлык рабочего стола или меню «Пуск» *Windows*®, либо сменой режима измерения в меню «Файл > Режим измерения...» (см. п. 2.1).

Настройка параметров и запуск измерений при анализе спектра производятся в следующем порядке:

- Шаг 1.** Проверить готовность анализатора к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в п. 4.10 части I РЭ, и включить его.
- Шаг 2.** Подключить источник сигнала на вход СВЧ анализатора спектра, предварительно убедившись в том, что уровень сигнала не превышает максимально допустимое значение (указано, в том числе, на передней панели прибора).
- Шаг 3.** Выполнить автоматический поиск и настройку параметров измерения при помощи функции «Автонастройка» на панели «Частота» (рисунок 2.16-б). В случае успешного выполнения данной функции ПО *Graphit* автоматически установит диапазон частот и амплитудные параметры анализатора. При отсутствии сигнала или его недостаточном уровне на входе анализатора отобразится сообщение "Автонастройка: сигнал не обнаружен", следовательно, пользователю необходимо задать параметры измерения вручную (шаги 4-5).
- Шаг 4.** Установить диапазон сканирования и количество точек на панели «Частота» (рисунок 2.16-б). При изменении центральной частоты значение полосы обзора остаётся неизменным, если граничные частоты «Старт» и «Стоп» находятся в рабочем диапазоне частот анализатора.

**i** Шаг элемента управления «**Центр**» по умолчанию установлен в режим «автоматический», что позволяет смещать центральную частоту на значение текущей полосы сканирования. Шаг элемента управления «**Полоса**» по умолчанию является мультипликативным со значением 2, то есть прокрутка колесом мыши увеличивает или уменьшает данный параметр вдвое.

- Шаг 5.** Задать амплитудные параметры анализатора на одноимённой панели управления (рисунок 2.16-в) в соответствии с ожидаемым значением уровня входного сигнала. При необходимости воспользоваться функцией «Компенсация внешней цепи» (см. п. 2.11).
- Шаг 6.** Запустить измерение (см. п. 2.8).

## 3.2 Измерение коэффициента шума (опция ИКШ)

### 3.2.1 Общая информация

Измерение КШ делится на два этапа – калибровка и измерение. На первом этапе измеряется собственный КШ и собственный КП СК4М (пп. 3.2.2 и 3.2.4), а на втором – КШ и КП исследуемого устройства, при условии, что коррекция включена (т.е. осуществляется учёт результатов калибровки).

**i** Для ИУ с коэффициентом передачи более 20 дБ проведение калибровки не обязательно вследствие малого влияния собственного КШ анализатора.

Измерения КШ и КП исследуемого устройства (ИУ) доступны только для анализаторов с программной опцией ИКШ и производятся двумя методами.

**i** Для активации программной опции ИКШ необходимо однократно добавить файл-ключ лицензии (см. раздел 2.2).

**Модуляционный метод** (режим «СК4М. Модуляционный метод ИКШ») рассчитан, в основном, на использование твердотельных ГШ, которые во включённом состоянии (т.е. при подаче на них постоянного напряжения +28 В) имитируют тепловой шум «горячей» 50-омной резистивной нагрузки, а в выключенном состоянии представляют собой ту же нагрузку, но при «холодной» температуре (точнее температуре окружающей среды, при которой проводятся измерения). Включение и выключение ГШ, находящегося под управлением анализатора, осуществляется автоматически. Возможно использование ГШ других типов.

**Метод двух отсчётов** (режим «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ») предназначен, как правило, для использования с низкотемпературными ГШ, при этом функцию «горячего» источника выполняет согласованная нагрузка (СН) при комнатной температуре. Управление подачей шумового сигнала от «горячего» или «холодного» источников осуществляется вручную. Возможно использование ГШ других типов, например твердотельных.

Измерения КШ и КП для определённого ИУ производятся по методу Y-фактора; при этом прямыми измерениями являются измерения мощностей, подаваемых на АЦП анализатора, при «горячем» и «холодном» источниках шума на входе измерительной системы. По умолчанию в качестве стандартной температуры используется  $T_0 = 290 \text{ K}$ . Непосредственный расчёт КШ и КП основан на предположении идеального согласования устройств измерительной системы и производится в ПО *Graphit* в соответствии с теорией и формулами, приведёнными в Приложение Д. Пример расчёта погрешности измерения КШ приведён в Приложение А.

Для измерения КШ необходимо запустить ПО *Graphit*, используя соответствующий выбранному режиму ярлык рабочего стола или меню «Пуск»

Windows®, либо сменить режим измерения в меню «Файл > Режим измерения...» (см. п. 2.1).

Стоит отметить, что ПО *Graphit* в режимах ИКШ содержит некоторые отличия в наборе доступных функций и параметров анализатора, обусловленные спецификой измерений.

«Степень усреднения» задаёт показатель степени с основанием 2, определяющей число усредняемых отсчётов в каждой точке измерения. Увеличение степени усреднения снижает СКО результатов измерения, но увеличивает время сканирования.

«Время установления ГШ» – задержка перед началом измерения после подачи напряжения на ГШ, необходимая для установления выходной мощности при подаче / отключении напряжения питания ГШ (инерционность).

«Инверсия ГШ» изменяет принцип программного управления питанием ГШ: состоянию «включён» соответствует напряжение 0 В, а состоянию «выключен» – плюс 28 В.

### 3.2.2 Калибровка в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»

Процедура калибровки производится в следующем порядке:

**Шаг 1.** Подготовить к работе ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него.

**Шаг 2.** Подключить ГШ к анализатору (рисунок 3.1):

- подключить ГШ к входу СВЧ анализатора;
- разъем питания ГШ соединить с разъёмом ГЕНЕРАТОР ШУМА анализатора при помощи кабеля питания ГШ. В случае если тип соединителя ГШ не совпадает с типом соединителя входа СВЧ анализатора, необходимо воспользоваться соответствующими дополнительными переходами.

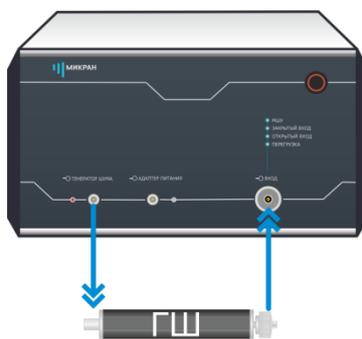
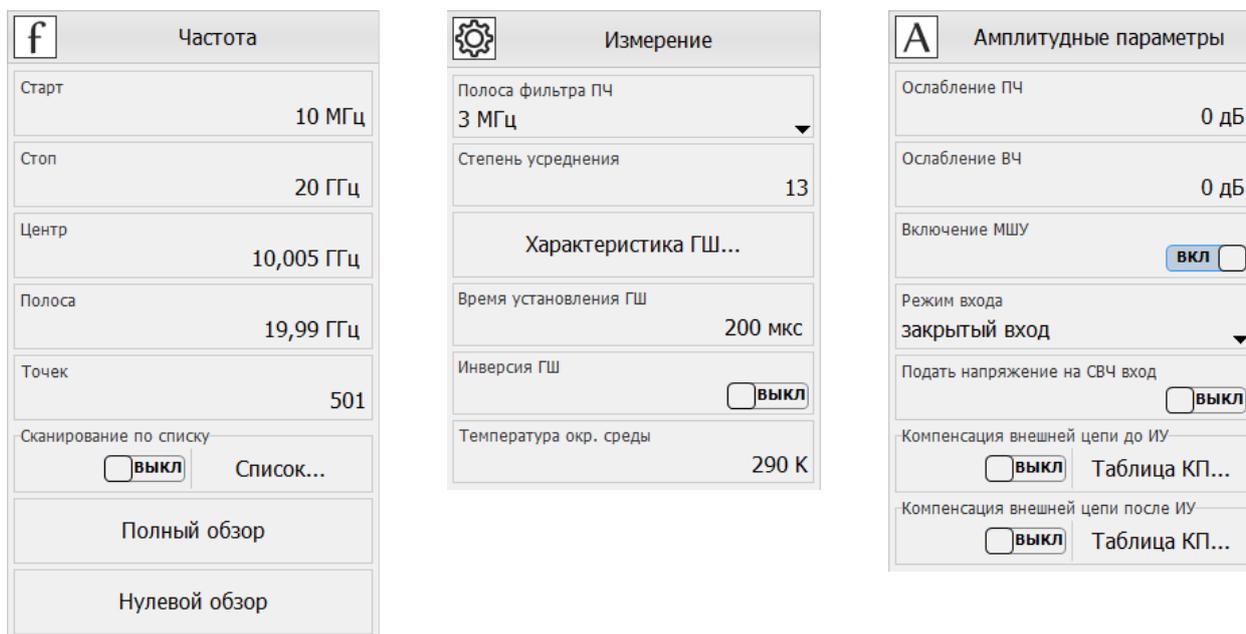


Рисунок 3.1 – Схема калибровки в модуляционном методе

**Шаг 3.** Установить параметры измерения:

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- установить нижнюю и верхнюю границы частотного диапазона из-

мерений, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (рисунок 3.2-а);



а)

б)

в)

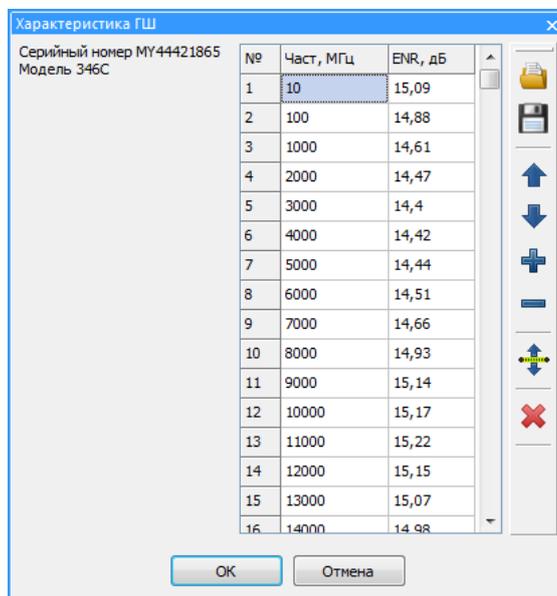
Рисунок 3.2 – Панели управления «Частота» (а), «Измерение» (б) и «Амплитудные параметры» (в) в модуляционном методе

**!** *Внимание! Калибровку и измерение необходимо проводить в одном и том же частотном диапазоне! Несоответствие любого из параметров (начальная, конечная частота и количество точек) при калибровке и измерении приведёт к появлению дополнительной погрешности в результатах измерения, обусловленной интерполяцией калибровочных данных (индикация «Кор(!)» на статусной панели).*

- на панели управления «Измерение» (рисунок 3.2-б) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения, задать время установления ГШ и температуру окружающей среды (температура «холодного» источника);
- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 3.2-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;
- при необходимости измерения устройств с преобразованием частоты (см. п. 3.2.4) установить параметр «Тип гетеродина» в значение «Нет» и убедиться, что значения ПЧ полностью включены в установленный ранее диапазон частот.

**Шаг 4.** На панели управления «Измерение» нажать кнопку «Характеристика ГШ...». При этом должна появиться таблица со значениями ИОШТ ГШ, зависящей от частоты (рисунок 3.3). Сравнить эти зна-

чения со значениями, приведёнными в сертификате калибровки, либо в свидетельстве о поверке используемого ГШ. При необходимости исправить таблицу или занести в неё значения из свидетельства о поверке (сертификата калибровки) ГШ. Если значение нормированной величины введено лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.



№	Част, МГц	ENR, дБ
1	10	15,09
2	100	14,88
3	1000	14,61
4	2000	14,47
5	3000	14,4
6	4000	14,42
7	5000	14,44
8	6000	14,51
9	7000	14,66
10	8000	14,93
11	9000	15,14
12	10000	15,17
13	11000	15,22
14	12000	15,15
15	13000	15,07
16	14000	14,98

Рисунок 3.3 – Редактирование характеристики ГШ

**Шаг 5.** Открыть мастер калибровки в соответствующем меню программы, либо на панели управления «Калибровка». Далее, следуя указаниям мастера, провести калибровку. При этом индикатор состояния ГШ должен мигать. Этап калибровки завершается нажатием «Готово» в окне мастера калибровки.

### 3.2.3 Измерение в режиме «СК4М. Модуляционный метод ИКШ»

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

- Шаг 1.** Проверить готовность анализатора к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в п. 4.10 части I РЭ, и включить его.
- Шаг 2.** Подготовить к работе ГШ и ИУ, пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.
- Шаг 3.** Собрать измерительную схему (рисунок 3.4):

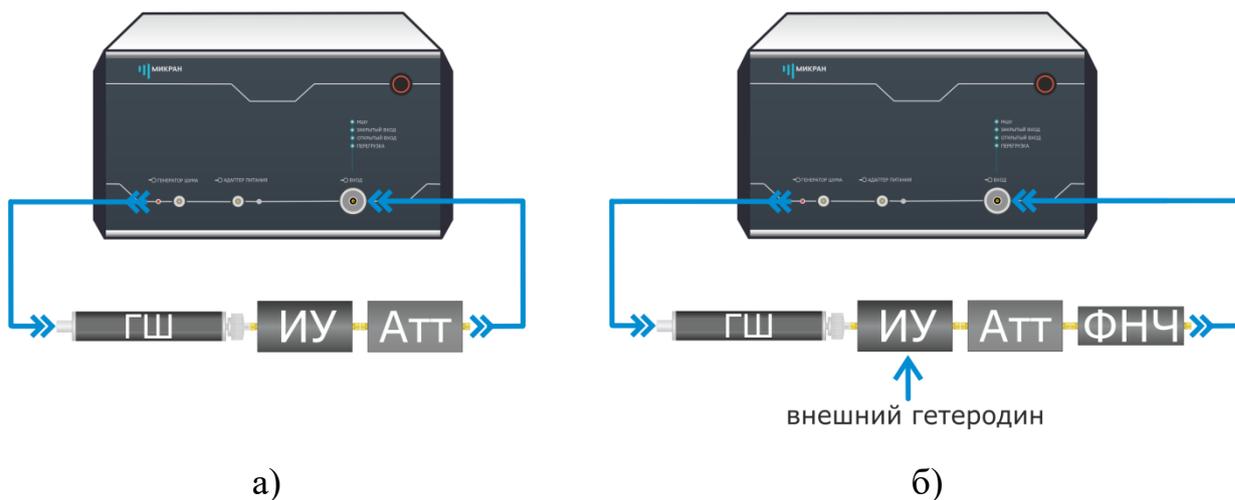


Рисунок 3.4 – Схема измерений ИУ без преобразования по частоте или с внутренним генератором и ФНЧ (а), преобразованием по частоте, не имеющего внутреннего генератора и ФНЧ (б)

- подключить ГШ к входу ИУ; в случае если тип соединителя ГШ не совпадает с типом соединителя входа ИУ, необходимо воспользоваться соответствующими дополнительными переходами;
- соединить ИУ: при измерении КШ и КП приёмно-усилительных устройств без преобразования частоты или с преобразованием, но имеющих внутренний генератор (гетеродин) и ФНЧ – как показано на рисунке 3.4-а; при тестировании устройств с преобразованием частоты, не имеющих внутреннего генератора и ФНЧ – в соответствии с рисунком 3.4-б. Если выходная мощность ИУ превышает допустимые входные значения, указанные в ТХ, или вызывает срабатывание индикатора перегрузки, то необходимо использовать соответствующий аттенюатор А;
- разъем питания ГШ соединить с разъёмом ГЕНЕРАТОР ШУМА анализатора при помощи кабеля питания ГШ.

#### Шаг 4. Установить параметры измерения:

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- установить нижнюю и верхнюю границы частотного диапазона измерений, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (рисунок 3.2-а);
- на панели управления «Измерение» (рисунок 3.2-б) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения, задать время установления ГШ и температуру окружающей среды (температура «холодного» источника);
- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 3.2-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;

- для ИУ с преобразованием частоты задать параметры гетеродина и отображения частот (см. п. 3.2.4);
- в случае если проводилась калибровка, то необходимо отметить пункт меню «Калибровка > Коррекция», либо использовать переключатель на панели управления «Калибровка».

**i** *Контролировать наличие калибровочных данных и состояние коррекции можно при помощи индикатора на статусной панели: «Н/К» – калибровочные данные отсутствуют или коррекция отключена, «Кор» – коррекция включена, «Кор(!)» – коррекция с применением интерполяции калибровочных данных.*

- если при измерении используется дополнительный внешний аттенюатор для уменьшения интегральной мощности входного сигнала<sup>1)</sup>, то требуется ввести значения ослабления данного аттенюатора в таблицу «Компенсация внешней цепи» (соответственно для включения ДО или ПОСЛЕ ИУ) на панели управления «Амплитудные параметры» (если ослабление введено только для одного значения частоты, то это ослабление будет использовано во всем диапазоне частот); если в измерительную схему включены дополнительные переходы и ФНЧ, то возникающие при этом потери необходимо учесть таким же образом; подключение внешнего аттенюатора расширяет диапазон измерения КП; при измерении устройств с КП, превышающим 30 дБ, без использования внешнего аттенюатора требуется установить необходимое ослабление ПЧ на панели управления «Амплитудные параметры»<sup>2)</sup> и проверить отсутствие перегрузки входного усилителя анализатора.

**Шаг 5.** На панели управления «Измерение» нажать кнопку «Характеристика ГШ...». При этом должна появиться таблица со значениями избыточной относительной шумовой температуры (ИОШТ или ENR) ГШ, зависящей от частоты (рисунок 3.3). Сравнить эти значения со значениями, приведёнными в сертификате калибровки, либо в свидетельстве о поверке используемого ГШ. При необходимости исправить таблицу или занести в неё значения из свидетельства о поверке (сертификата калибровки) ГШ. Если значение нормированной величины введено лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.

**Шаг 6.** Запустить измерения командой меню «Управление > Запуск измерений», либо кнопкой .

<sup>1)</sup> Встроенным аттенюатором ПЧ можно устранить перегрузку измерительного канала по промежуточной частоте, что отображается индикатором ПЕРЕГРУЗКА на передней панели анализатора. При перегрузке входных цепей необходимо применять дополнительный внешний аттенюатор, либо воспользоваться ослаблением по ВЧ.

<sup>2)</sup> При этом изменение входной мощности наблюдаться не должно, т.к. будет осуществляться ее автоматический пересчет.

### 3.2.4 Калибровка в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»

Процедура калибровки производится в следующем порядке:

- Шаг 1.** Подготовить к работе ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на него.
- Шаг 2.** Собрать схему калибровки согласно рисунку 3.5-а. Для улучшения качества развязки (СН и НГШ) рекомендуется использовать вентиль.

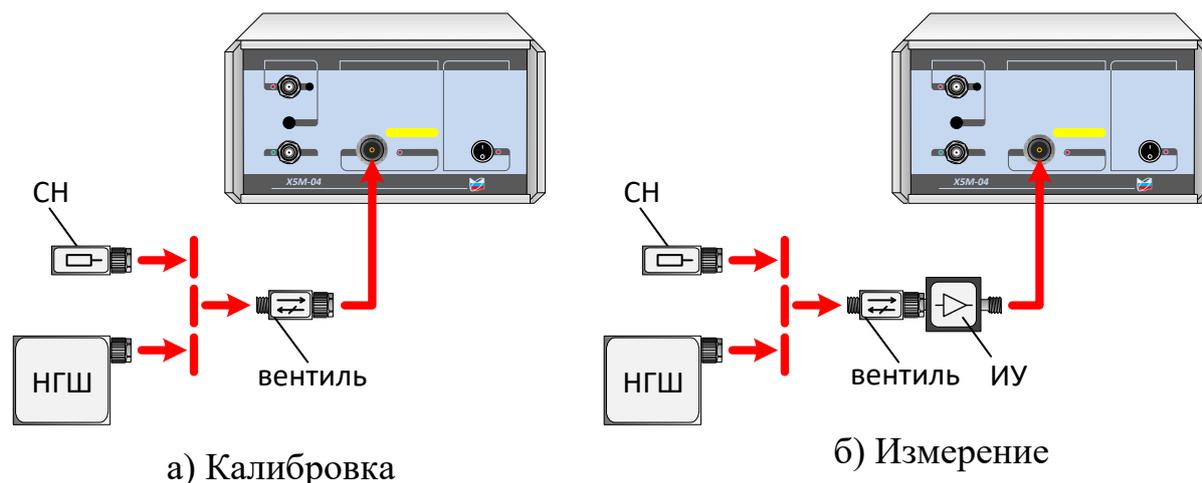


Рисунок 3.5 – Схема калибровки и измерения в режиме «Метод двух отсчётов»

**Шаг 3.** Установить параметры измерения:

- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
- установить нижнюю и верхнюю границы частотного диапазона измерений, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (рисунок 3.6-а);

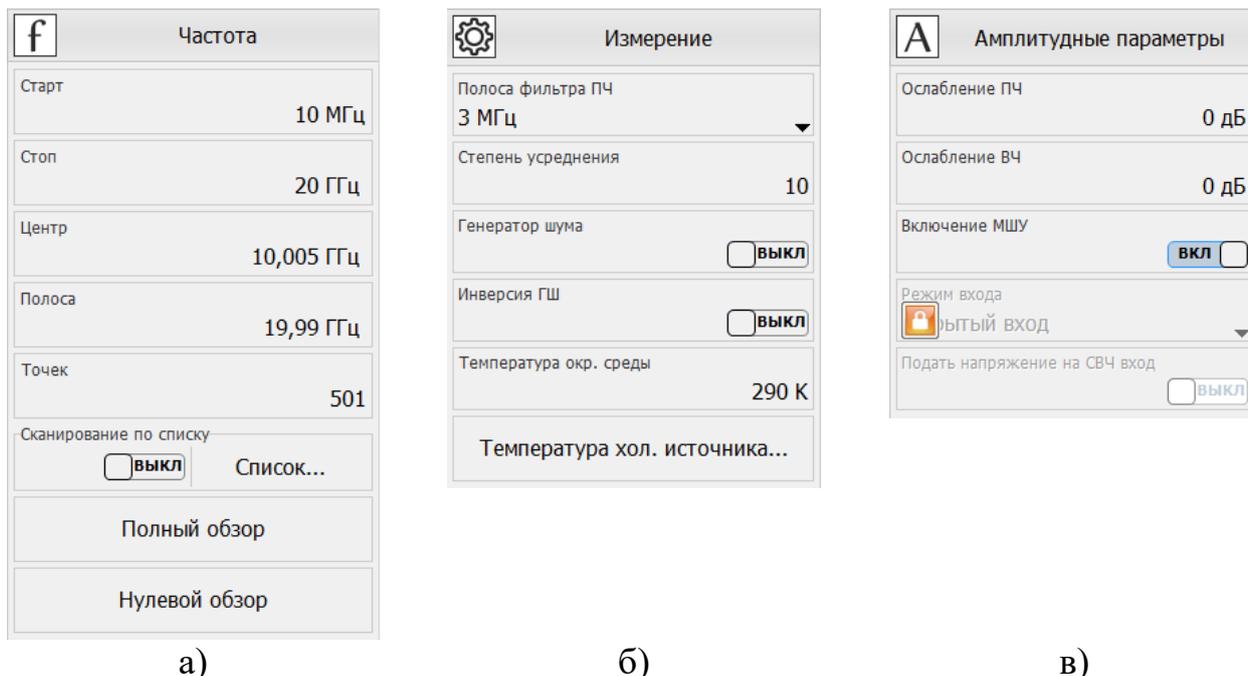


Рисунок 3.6 – Панели управления «Частота» (а), «Измерение» (б) и «Амплитудные параметры» (в) в режиме «Метод двух отсчётов ИКШ»

**!** *Внимание! Калибровку и измерение необходимо проводить в одном и том же частотном диапазоне! Несоответствие любого из параметров (начальная, конечная частота и количество точек) при калибровке и измерении приведёт к появлению дополнительной погрешности в результатах измерения, обусловленной интерполяцией калибровочных данных (индикация «Кор(!)» на статусной панели).*

- на панели управления «Измерение» (рисунок 3.6-б) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения и температуру окружающей среды (температура «горячего» источника или СН);
- на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 3.6-в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;

**Шаг 4.** На панели управления «Измерение» нажать кнопку «Температура хол. источника...». При этом должна появиться таблица со значениями шумовой температуры, зависящими от частоты. Сравнить эти значения со значениями, приведёнными в сертификате калибровки, либо в свидетельстве о поверке используемого ГШ. При необходимости исправить таблицу или занести в неё значения из свидетельства о поверке (сертификата калибровки) ГШ. Если значение нормированной величины введено лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.

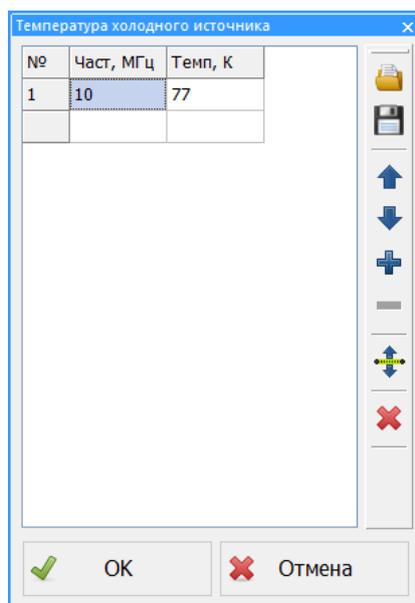


Рисунок 3.7 – Редактирование температуры «холодного» источника

**Шаг 5.** Открыть мастер калибровки в соответствующем меню программы, либо на панели управления «Калибровка». Далее, следуя указаниям мастера, провести калибровку, в процессе которой индикатор ГШ должен однократно изменить своё состояние. Этап калибровки завершается нажатием «Готово» в окне мастера калибровки.

### 3.2.5 Измерение в режиме «СК4М. Метод двух отсчётов ИКШ»

Порядок проведения простейшего измерения следующий.

- Шаг 1.** Проверить готовность анализатора к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в п. 4.10 части I РЭ, и включить его.
- Шаг 2.** Подготовить к работе ГШ и ИУ, пользуясь указаниями, приведёнными в соответствующих РЭ.
- Шаг 3.** Собрать измерительную схему согласно рисунку 3.5-б. Для улучшения качества развязки (СН и НГШ) рекомендуется использовать вентиль.
- Шаг 4.** Установить начальные значения параметров измерения:
- выбрать пункт «Профиль > Восстановить начальные параметры»;
  - установить нижнюю и верхнюю границы частотного диапазона измерений, либо задать список частот и включить «Сканирование по списку» (рисунок 3.6-а);
  - на панели управления «Измерение» (рисунок 3.6-б) задать полосу фильтра ПЧ, степень усреднения и температуру окружающей среды (температура «горячего» источника или СН);
  - на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 3.63.2-

- в) установить ослабление ПЧ и ВЧ в случае, если входной сигнал имеет слишком большой уровень;
- в случае если проводилась калибровка, то необходимо отметить пункт меню «Калибровка > Коррекция», либо использовать переключатель на панели управления «Калибровка».

**i** *Контролировать наличие калибровочных данных и состояние коррекции можно при помощи индикатора на статусной панели: «Н/К» – калибровочные данные отсутствуют или коррекция отключена, «Кор» – коррекция включена, «Кор(!)» – коррекция с применением интерполяции калибровочных данных.*

**Шаг 5.** На панели управления «Измерение» нажать кнопку «Температура хол. источника...». При этом должна появиться таблица со значениями шумовой температуры, зависящими от частоты. Сравнить эти значения со значениями, приведёнными в сертификате калибровки, либо в свидетельстве о поверке используемого ГШ. При необходимости исправить таблицу или занести в неё значения из свидетельства о поверке (сертификата калибровки) ГШ. Если значение нормированной величины введено лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.

**i** *При использовании ГШ других типов (например, твердотельных) необходимо пересчитать ИОШТ в шумовую температуру и ввести это значение в качестве температуры окружающей среды, а в таблицу температуры «холодного» источника внести значение фактической температуры среды, например, 290 К).*

**Шаг 6.** Запустить *Мастер измерения КШ*, используя подпункт меню «Управление» или соответствующую кнопку панели управления. Следуя указаниям мастера, подключить к схеме измерений сначала СН, затем НГШ. Убедиться, что при сканировании не срабатывает индикатор перегрузки. При необходимости настроить требуемые параметры и функции диаграмм, трасс, маркеров, сохранить результаты измерений.

**i** *Можно запустить измерение без использования мастера измерения КШ, при этом включение и выключение ГШ (измерение мощности шума «горячего» и «холодного» источника, соответственно) осуществляется вручную на панели управление «Измерение» (рисунок 3.6-б), а трассы КП и КШ в каждом кадре рассчитываются автоматически.*

### 3.2.6 Измерение устройств с преобразованием частоты

Настройка параметров измерения устройств с преобразованием частоты (смесителей, конверторов и т. п.) производится на соответствующей панели управления (рисунок 3.8), описание доступных режимов преобразования приведено в таблице 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 – Режимы преобразования частоты в режиме ИКШ

Режим преобразования	Формула преобразования частоты, где $f$ – входная ИУ, $f'$ – преобразованная (ПЧ), $f_{LO}$ – гетеродина	Примечание
«Не используется»	$f' = f$	
«Вверх»	$f' = f + f_{LO}, f_{LO} = const$	$f'$ задаётся на панели управления «Частота» и соответствует входной частоте анализатора
«Вниз»	$f' = f - f_{LO}, f_{LO} = const$	
«Фиксированная ПЧ»	$f' = f \pm f_{LO} = const$	$f$ задаётся на панели управления «Частота» и соответствует входной частоте ИУ

Для режимов преобразования **«вверх»** или **«вниз»** активируется поле «Частота гетеродина», от величины которой зависит диапазон частот на выходе ИУ (так называемые частоты ПЧ) и, соответственно, на входе анализатора. Значение частоты гетеродина также учитывается при применении калибровочных данных и расчёте значений ИОШТ ГШ для получения трасс КП и КШ.

В режиме **«фиксированная ПЧ»** можно измерять характеристики ИУ с перестраиваемым гетеродином (например, синтезатором частот Г7М) и фиксированной ПЧ, значение которой задаётся в соответствующем поле. Для синхронной работы анализатора и внешнего гетеродина следует использовать систему цифровой синхронизации приборов (см. п. 3.6).

Отображение трассы на диаграмме можно осуществить как на преобразованных частотах (частоты ПЧ на выходе ИУ, входные – для анализатора), так и на частотах до преобразования (входные частоты ИУ) выбором соответствующего параметра в списке **«Отображаемые частоты»**. В режиме **«фиксированная ПЧ»** ось абсцисс всегда соответствует частоте до преобразования.

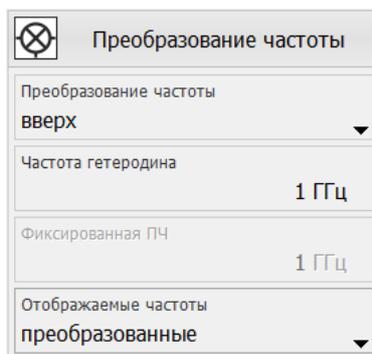


Рисунок 3.8 – Панель управления «Преобразование частоты» в режиме ИКШ

### 3.3 Градуировка генераторов шума (опция «ГРП»)

#### 3.3.1 Общая информация

Градуировка генераторов шума доступна только для анализаторов с опцией ГРП.

Генераторы шума можно градуировать разными методами, например: в модуляционном режиме или в немодуляционном (т.е. когда напряжение питания ГШ автоматически модулируется либо управление питанием осуществляется вручную); в условиях комплексно-сопряжённого согласования (результатом будут номинальные значения ИОШТ) или на нагрузку 50 Ом (результатом будут эффективные значения ИОШТ). Также следует различать градуировки однотипных ГШ (т.е. когда эталонный и испытуемый ГШ одного типа и с одинаковыми номинальными значениями ИОШТ) и ГШ разного типа. Наиболее простой является градуировка однотипных полупроводниковых ГШ в модуляционном режиме.

Во время градуировки с помощью ПО *Graphit* используется метод сравнения с мерой (эталонным ГШ), поэтому под этапом калибровки понимается измерение ИОШТ эталонного ГШ.

ПО *Graphit*, в основном, рассчитано на использование твердотельных ГШ; тем не менее, возможно применение и других типов. Вычисление ИОШТ (ENR) в ПО *Graphit* основано на предположении идеального согласования ГШ с анализатором, а также на предположении постоянства КСВН выходов ГШ во включённом и выключенном состояниях.

В этом подразделе описаны процедуры градуировки полупроводниковых ГШ на нагрузку 50 Ом в модуляционном режиме с помощью мастера градуировки.

#### 3.3.2 Градуировка однотипных ГШ

 Для ГШ с номинальными значениями ИОШТ 15 дБ для достижения показателя

телей точности, указанных в технических характеристиках, необходимо градуировку проводить с накрученным на СВЧ вход СК4М аттенюатором 10 дБ (поставляется в комплекте для опции «ГРП»)<sup>1</sup>.

Перед проведением измерений необходимо выполнить подготовку согласно п. 4.10 части I РЭ.

Запуск ПО *Graphit* в режиме «Градуировка генераторов шума» производится, используя соответствующий ярлык рабочего стола или меню «Пуск» *Windows*®, либо сменой режима измерения в меню «Файл > Режим измерения...» (см. п. 2.1).

Простейшие измерения проводятся в следующем порядке.

**⚠ Внимание!** При работе с незаземлённым анализатором возможно поражение электрическим током.

**Шаг 1.** Подготовить к работе эталонный и градуируемый ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на них.

**Шаг 2.** Остановить измерения командой меню «Управление > Запуск измерений», либо кнопкой  Измерения. процесс измерений должен остановиться.

**Шаг 3.** Выполнить команду меню «Профиль > Восстановить начальные параметры», либо нажать кнопку .

**Шаг 4.** На панели управления «Частота» включить «Сканирование по списку», нажать кнопку «Список...» и ввести вручную или загрузить из файла необходимый список частот, на которых будет проводиться градуировка.

**i** Кроме файлов ПО *Graphit* с расширением *freqlist* список частот можно также загрузить из файлов данных ИОШТ с расширениями *ngd* и *enr*.

**Шаг 5.** Установить значения «Полоса фильтра ПЧ» (3 МГц) и «Степень усреднения» (18) на панели управления «Измерение».

**Шаг 6.** Запустить измерения командой меню «Управление > Запуск измерений», либо кнопкой .

**Шаг 7.** Выдержать анализатор в режиме измерений не менее 10 мин.

**Шаг 8.** Выполнить команду меню «Управление > Мастер градуировки ГШ...», либо нажать кнопку .

**Шаг 9.** 1. Методика градуировки:

- выбрать «Метод дополнительной калибровки (рекомендуется)» в соответствующем списке;
- задать «Количество циклов измерений» равным 2;
- нажать «Далее >>».

<sup>1</sup> При градуировке ГШ в сечении 7/3,04 на анализаторе спектра с опцией "11P" можно использовать аттенюатор из комплекта поставки, для этого необходим дополнительный переход ПК2-18-11P-13, либо аттенюатор Д2М-18-10-11P-11 в сечении 7/3,04 (такие переходы и аттенюаторы в комплект поставки не входят).

**Шаг 10.** 2. Настройка конфигурации ГШ:

- ввести данные об используемых ГШ; в качестве потерь, при необходимости, загружаются файлы *Touchstone S2P* с *S*-параметрами используемых переходов; в качестве характеристики эталонного ГШ (значений ИОШТ) загружаются файлы *\*.enr* или *\*.ngd*;

**i** Если в загружаемом файле значение величины (*S*-параметра или ИОШТ) указано лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.

- нажать «Далее >>».

**Шаг 11.** 3. Информационные данные:

- ввести данные об окружающей среде и даты;
- нажать «Далее >>».

**Шаг 12.** 4. Контроль и экспорт данных:

- при необходимости допускового контроля итоговых значений ИОШТ указать пределы допускаемых значений напротив флажка «Пределы ИОШТ»; в противном случае снять флажок «Пределы ИОШТ»;
- в группе «Экспорт данных» в поле ввода «Путь сохранения файлов:» указать каталог для сохранения результатов измерений;
- нажать «Далее >>».

**Шаг 13.** Следуя указаниям мастера, провести измерения.

**!** **Внимание!** Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры. Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка». Затягивание гайки осуществлять тарированным ключом!

**!** **Внимание!** Во избежание короткого замыкания между центральным и внешним проводниками разъёма питания ГШ анализатора не рекомендуется оставлять кабель типа *BNC* подключённым к АНАЛИЗАТОРУ без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля *BNC* в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к анализатору!

### 3.3.3 Градуировка разнотипных ГШ

Основное отличие градуировки разнотипных ГШ от градуировки одно-

типных ГШ заключается в том, что предварительно на выход ГШ, номинальные значения ИОШТ которого больше, накручивается аттенюатор соответствующего номинала таким образом, чтобы номинальные значения генераторов стали максимально близки. Например, если проводится градуировка 6-ти децибельного ГШ относительно эталонного 15-ти децибельного ГШ, то на последний следует накрутить аттенюатор 10 дБ.

Перед проведением измерений необходимо выполнить подготовку согласно п. 4.10 части I РЭ.

**Запуск** ПО *Graphit* в режиме «Градуировка генераторов шума» производится, используя соответствующий ярлык рабочего стола или меню «Пуск» *Windows*®, либо сменой режима измерения в меню «Файл > Режим измерения...» (см. п. 2.1).

Простейшие измерения *проводятся* в следующем порядке.

**!** *Внимание! При работе с незаземлённым анализатором возможно поражение электрическим током.*

**!** *Подготовить к работе эталонный и градуируемый ГШ, пользуясь указаниями, приведёнными в РЭ на них.*

**Шаг 1.** Остановить измерения командой меню «Управление > Запуск измерений», либо кнопкой  *Измерения*.

**Шаг 2.** процесс измерений должен остановиться.

**Шаг 3.** Выполнить команду меню «Профиль > Восстановить начальные параметры», либо нажать кнопку .

На панели управления «Частота» включить «Сканирование по списку», нажать кнопку «Список...» и ввести вручную или загрузить из файла необходимый список частот, на которых будет проводиться градуировка.

**Шаг 4.** Кроме файлов ПО *Graphit* с расширением *freqlist* список частот можно также загрузить из файлов данных ИОШТ с расширениями *ngd* и *enr*.

**Шаг 5.** Установить значения «Полоса фильтра ПЧ» (3 МГц) и «Степень усреднения» (18) на панели управления «Измерение».

**Шаг 6.** Запустить измерения командой меню «Управление > Запуск измерений», либо кнопкой  *Измерения*.

**i** *Выдержат анализатор в режиме измерений не менее 10 мин.*

**i** *Выполнить команду меню «Управление > Мастер градуировки ГШ...», либо нажать кнопку .*

**Шаг 7.** 1. Методика градуировки:

**Шаг 8.** выбрать «Метод дополнительной калибровки (рекомендуется)» в соответствующем списке;

**Шаг 9.** задать «Количество циклов измерений» равным 2;

**Шаг 10.** нажать «Далее >>>».

**Шаг 11.** 2. Настройка конфигурации ГШ:

- ввести данные об используемых ГШ, в качестве потерь загружаются файлы  $S2P$  с  $S$ -параметрами аттенюаторов, прикручиваемых к соответствующим ГШ и, при необходимости, аналогично вводятся данные об используемых переходах; в качестве характеристики эталонного ГШ (значений ИОШТ) загружаются файлы \*.enr или \*.ngd;

**i** Если в загружаемом файле значение величины ( $S$ -параметра или ИОШТ) указано лишь для одной частоты, это значение будет использовано для всего диапазона частот.

- нажать «Далее >>».

**Шаг 12.** 3. Информационные данные:

- ввести данные об окружающей среде и даты;
- нажать «Далее >>».

**Шаг 13.** 4. Контроль и экспорт данных:

- при необходимости допускового контроля итоговых значений ИОШТ указать пределы допускаемых значений напротив флажка «Пределы ИОШТ»; в противном случае снять флажок «Пределы ИОШТ»;
- в группе «Экспорт данных» в поле ввода «Путь сохранения файлов:» указать каталог для сохранения результатов измерений;
- нажать «Далее >>».

**Шаг 14.** Следуя указаниям мастера, провести измерения.

**!** **Внимание!** Перед сочленением соединителей, во избежание их повреждения, необходимо контролировать их присоединительные размеры. Сочленение коаксиальных соединителей производить только вращением гайки соединителя «вилка». Затягивание гайки осуществлять тарированным ключом!

**!** **Внимание!** Во избежание короткого замыкания между центральным и внешним проводниками разъёма питания ГШ анализатора не рекомендуется оставлять кабель типа BNC подключённым к АНАЛИЗАТОРУ без генератора шума. При подключении разъёма питания к ГШ с помощью кабеля BNC в первую очередь кабель подключать к ГШ, и только после этого к анализатору!

## 3.4 Измерение фазового шума (опция ИФШ)

### 3.4.1 Общая информация

Запуск ПО *Graphit* в режиме «СК4М. Измерение фазового шума» производится, используя соответствующий ярлык рабочего стола или меню «Пуск» *Windows*®, либо сменой режима измерения в меню «Файл > Режим измерения...» (см. п. 2.1). Стоит отметить, что в данном режиме присутствуют некоторые отличия в наборе доступных функций и параметров анализатора, обусловленные спецификой ИФШ.

**i** Для активации программной опции ИФШ необходимо однократно добавить файл-ключ лицензии (см. раздел 2.2).

Измерение фазового шума (однополосный фазовый шум, *SSB*) источника гармонического сигнала производится методами прямого измерения спектра и синхронного детектирования (требуется версия ПО *Graphit СК4М 2.6.3* и выше):

- настройка анализатора на частоту гармонического сигнала  $F_H$ ;
- оценка уровня мощности гармонического сигнала;
- измерение спектра в диапазоне частот, соответствующего заданным частотным отстройкам;
- расчёт спектральной плотности мощности шума (дБм/Гц) и значения фазового шума (дБн/Гц).

Метод синхронного детектирования позволяет разделять амплитудную и фазовую составляющие спектральной характеристики, а также значительно сокращает время измерения и обработки данных. Недостатком данного метода является ограничение максимальной отстройки значением половины полосы одновременного анализа (1,5 МГц для анализаторов спектра СК4М).

### 3.4.2 Настройка и запуск измерений

Примерный алгоритм настройки и запуска измерений ФШ с использованием СК4М заключается в следующем:

- Шаг 1.** Проверить готовность анализатора к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в п. 4.10 части I РЭ, и включить его.
- Шаг 2.** Подключить источник сигнала к входу СВЧ анализатора.

**!** Убедитесь в том, что уровень мощности сигнала на входе СВЧ не превышает 1 Вт (1 мВт при использовании встроенного МШУ). При необходимости ослабления мощности сигнала укажите параметр «Мин. ВЧ ослабление» на панели «Амплитудные параметры» (рисунок 3.9-б), при необходимости усиления включите МШУ.

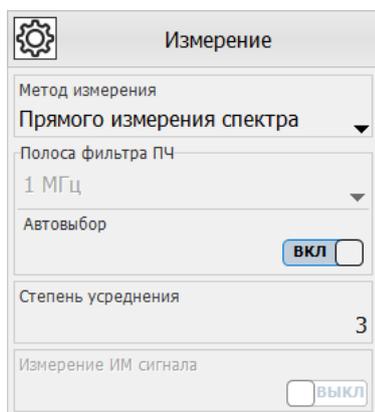
**Шаг 3.** Задать параметры «Частота несущей» и «Мощность сигнала» (рисунки 3.9), либо воспользоваться функцией «Автонастройка», если уровень сигнала превышает минус 40 дБм.

**Шаг 4.** Задайте начальную и конечную отстройки измерения ФШ (диапазон допустимых значений – от 1 Гц до 100 МГц для метода прямого измерения спектра и 10 Гц ÷ 1,5 МГц для метода синхронного детектирования).

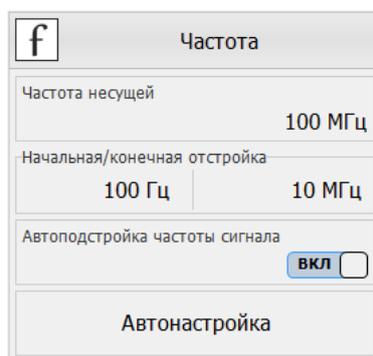
**Шаг 5.** При необходимости включить или отключить функцию «Автоподстройка частоты сигнала» (подробное описание и пример в п.3.4.3).

**Шаг 6.** Запустить измерения командой меню «Управление > Запуск измерений», либо кнопкой ▶.

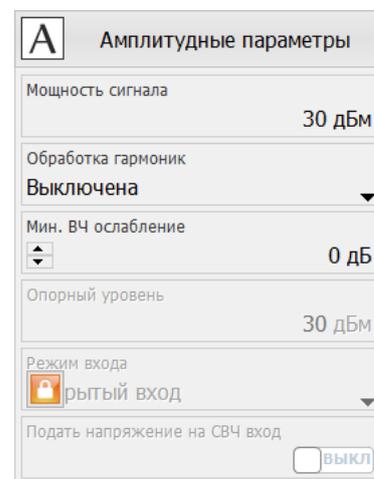
**i** Необходимо отметить, что скорость измерений зависит от ширины заданного диапазона отстроек и увеличивается в области дальних отстроек.



а)



б)



в)

Рисунок 3.9 – Панели управления «Измерение» (а), «Частота» (б) и «Амплитудные параметры» (в) в режиме ИФШ

На диаграмме в виде таблицы будут отображены значения характеристики ФШ<sup>1</sup>, а также информация о частоте и уровне несущей (рисунок 3.10). Включение/отключение данной возможности осуществляется через контекстное меню трассы «Фазовые шумы > Таблица ФШ» или на панели управ-

<sup>1</sup> По умолчанию в режиме измерения ФШ на диаграмме отображаются две трассы – «Трс1» (с включённым усреднением 20) и «Трс2» (текущие измеренные значения).

ления «Функции трасс» (рисунок 3.9-в). В случае анализа сложных сигналов (например, модулированных) или при наличии паразитных спектральных составляющих можно прибегнуть к функции «Обработка гармоник» (см. п. 3.4.4).



Рисунок 3.10 – Результат измерения фазового шума

### 3.4.3 Функция «Автоподстройка частоты сигнала»

Функция «Автоподстройка частоты сигнала» (АПЧ) – программная функция ПО *Graphit*. Принцип её работы заключается в следующем: перед каждым циклом измерения прибор выполняет поиск и измерение частоты сигнала счётчиком частоты. Разрешение счётчика, следовательно, и скорость подсчёта зависят от заданных параметров «Начальная отстройка» и «Конечная отстройка». Таким образом, для максимально быстрой работы счётчика частоты важно, чтобы значение «Начальная отстройка» было максимально возможным в рамках выполнения задачи измерения.

Функция АПЧ включается установкой переключателя «Автоподстройка частоты сигнала» на панели «Частота» (рисунок 3.9-б). Пронаблюдать работу функции АПЧ можно следующим образом:

- Шаг 1.** Подать сигнал с частотой 3000 МГц на вход СВЧ. При нажатии на кнопку «Автонастройка» (рисунок 3.9-а) сигнал будет обнаружен при условии, что уровень его мощности не ниже минус 40 дБм.
- Шаг 2.** Установить необходимый диапазон отстроек от несущей частоты, задав значения в полях «Начальная/конечная отстройка» (рисунок 3.9-б), в данном примере – 0,1 кГц ÷ 100 кГц.

**Шаг 3.** Сохранить измеренную трассу ФШ в память (трасса синего цвета на рисунке 3.11).

**Шаг 4.** Скачком установить частоту сигнала 3000,5 МГц. Из рисунка 3.11 видно, что значение несущей частоты в таблице ФШ измерительной трассы (красного цвета) обновилось, а характеристика ФШ изменилась незначительно. Следовательно, перестроился на изменённую частоту сигнала.

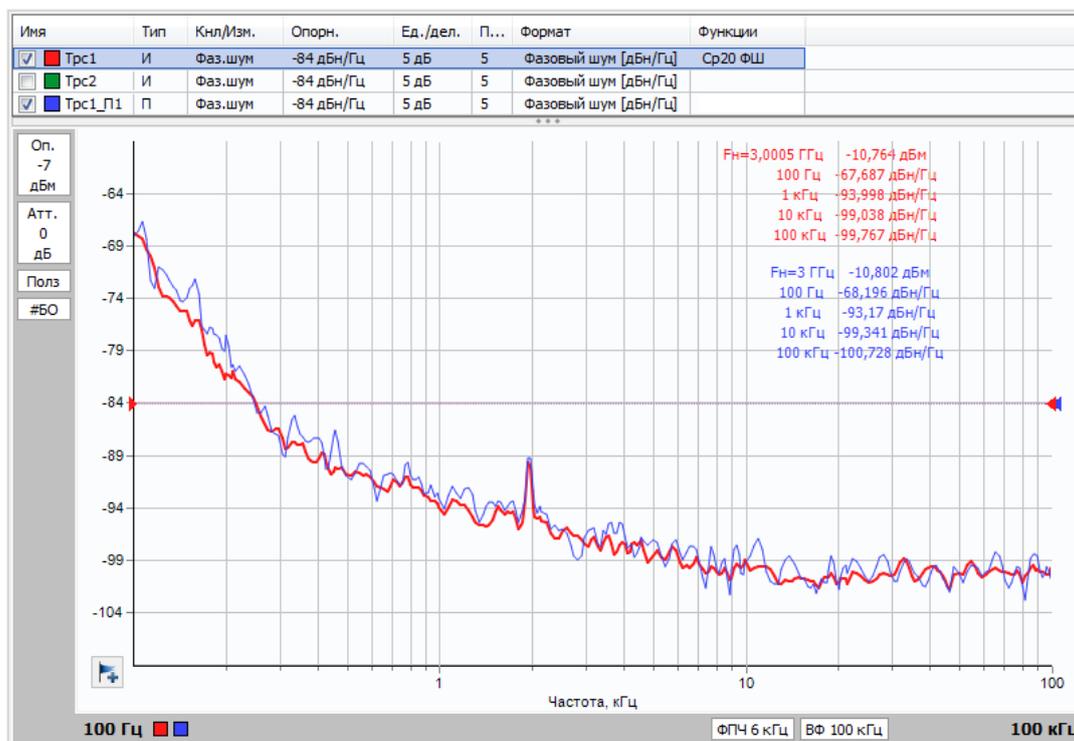


Рисунок 3.11 – Работа функции АПЧ

### 3.4.4 Функция «Обработка гармоник»

Данная функция трассы производит поиск гармонических составляющих в спектре (с учётом значения допуска, заданного пользователем) и выполняет одно из следующих действий:

- отображение гармонической составляющей на графике с её реальной амплитудой, то есть без нормировки к эффективной/шумовой полосе фильтра ПЧ (режим «абс.уровень», рисунок 3.9-в);
- подавление гармонической составляющей на графике (режим «подавление»).

Результат работы функции продемонстрирован на рисунке 3.12. В качестве примера используется результат измерения/анализа ФШ источника амплитудно-модулированного сигнала (частота модуляции равна 75 кГц, коэффициент модуляции – 50%). В измерительной трассе «Trc1» (красного цвета) вклю-

чена функция «Обработка гармоник» в режиме «абс.уровень» – на графике видны гармонические составляющие на частотах 75 и 150 кГц, а также случайная паразитная составляющая на ближней отстройке (обозначены дополнительными маркерами в виде ромбов). В режиме «подавление» (трасса синего цвета) эти спектральные составляющие заменяются средним (на данном участке спектра) уровнем шума. Стоит отметить, что при чрезмерно большом значении допуска функция может «не заметить» гармоническую составляющую, а при слишком малом – принять за неё локальные максимумы фазового шума.

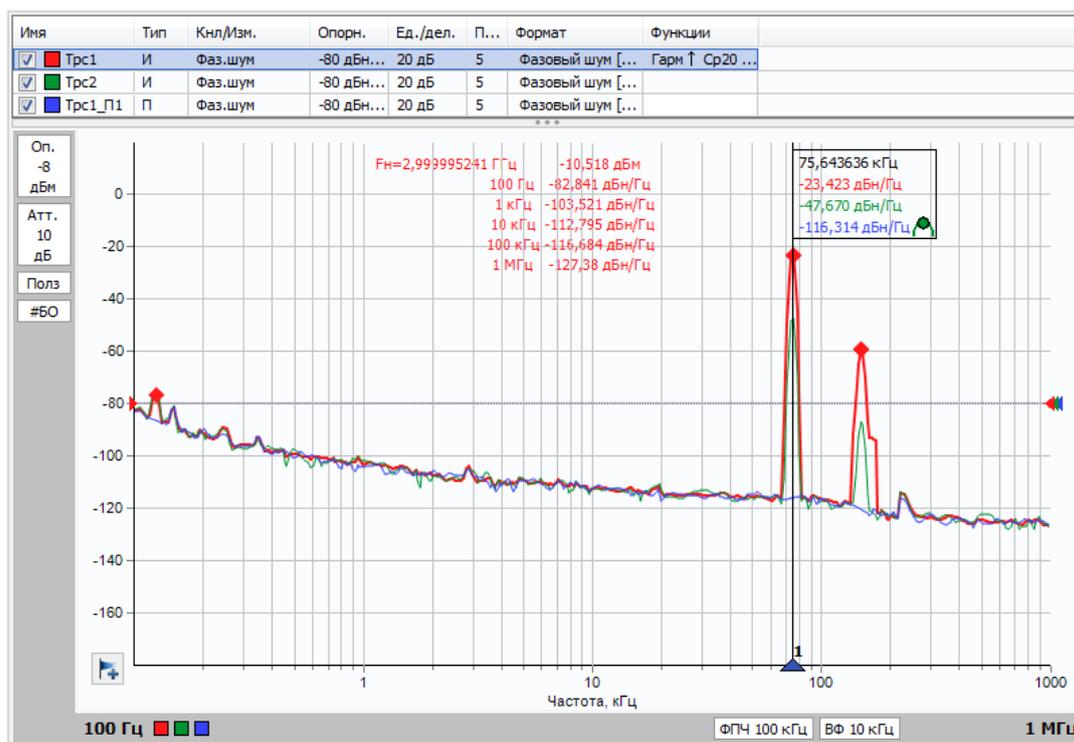


Рисунок 3.12 – Работа функции «Обработка гармоник»

### 3.5 Аналоговая демодуляция (опция АДП)

#### 3.5.1 Общая информация

Запуск ПО *Graphit* в режиме «СК4М. Аналоговая демодуляция» производится, используя соответствующий ярлык рабочего стола или меню «Пуск» *Windows®*, либо сменой режима измерения в меню «Файл > Режим измерения...» (см. п. 2.1). Стоит отметить, что в данном режиме присутствуют некоторые специфические отличия в наборе доступных функций и параметров анализатора.

 Для активации программной опции АДП необходимо однократно добавить файл-ключ лицензии (см. раздел 2.2).

Аналоговая демодуляция АМ, ЧМ или ФМ сигнала производится следующим образом:

- настройка анализатора на несущую частоту модулированного сигнала;
- измерение сигнала в заданной полосе частот и длительностью с необходимым разрешением;
- расчёт и отображение спектра модулированного (ВЧ) сигнала;
- предварительная фильтрация и преобразование квадратурных составляющих оцифрованного сигнала в соответствии с выбранным типом модуляции;
- нормирование и отображение огибающей демодулированного (НЧ) сигнала;
- расчёт и отображение спектра НЧ-сигнала;
- оценка и отображение параметров модуляции и искажений.

### 3.5.2 Настройка и запуск измерений

Примерный алгоритм настройки и запуска измерений в режиме аналоговой демодуляции:

**Шаг 1.** Проверить готовность анализатора к работе в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными в п. 4.10 части I РЭ, и включить его.

**Шаг 2.** Подключить источник сигнала к входу СВЧ анализатора.

**!** *Убедитесь в том, что уровень мощности сигнала на входе СВЧ не превышает 1 Вт (1 мВт при использовании встроенного МШУ). При необходимости ослабления мощности сигнала укажите параметр «Мин. ВЧ ослабление» на панели «Амплитудные параметры» (рисунок 3.9-б).*

**Шаг 3.** На панели управления «Частота» (рисунок 3.13-б) задайте параметры ВЧ-сигнала «Центр» (частота несущей) и «Полоса», на панели управления «Амплитудные параметры» (рисунок 2.16-в) установите значение опорного уровня анализатора, соответствующее ожидаемому уровню сигнала, либо воспользуйтесь функцией «Автонастройка», если уровень сигнала превышает минус 40 дБм.

**Шаг 4.** Задайте начальную и конечную частоты НЧ-спектра (максимальное значение ограничивается половиной установленной полосы ВЧ-сигнала).

**Шаг 5.** Выберите тип модуляции и задайте время развёртки демодулированного сигнала на панели управления «Измерение» (рисунок 3.13-а).

**Шаг 6.** Запустить измерения командой меню «Управление > Запуск измерений», либо кнопкой . Запуск однократного измерения осу-

ществляется кнопкой .

**i** Необходимо отметить, что скорость измерений одновременно зависит от нескольких параметров – анализируемой полосы ВЧ-сигнала, времени развёртки демодулированного сигнала, а также используемых фильтров разрешения ВЧ и НЧ-спектров.

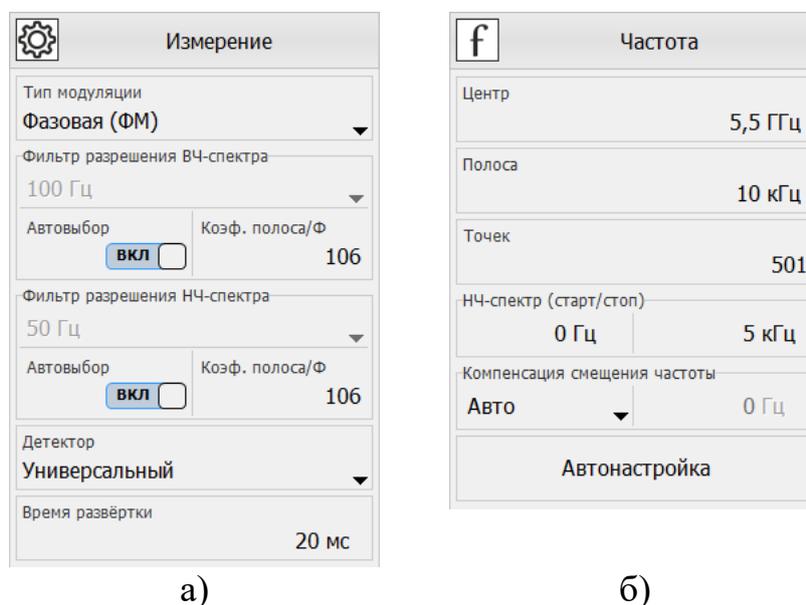


Рисунок 3.13 – Панели управления «Измерение» (а) и «Частота» (б) в режиме аналоговой демодуляции

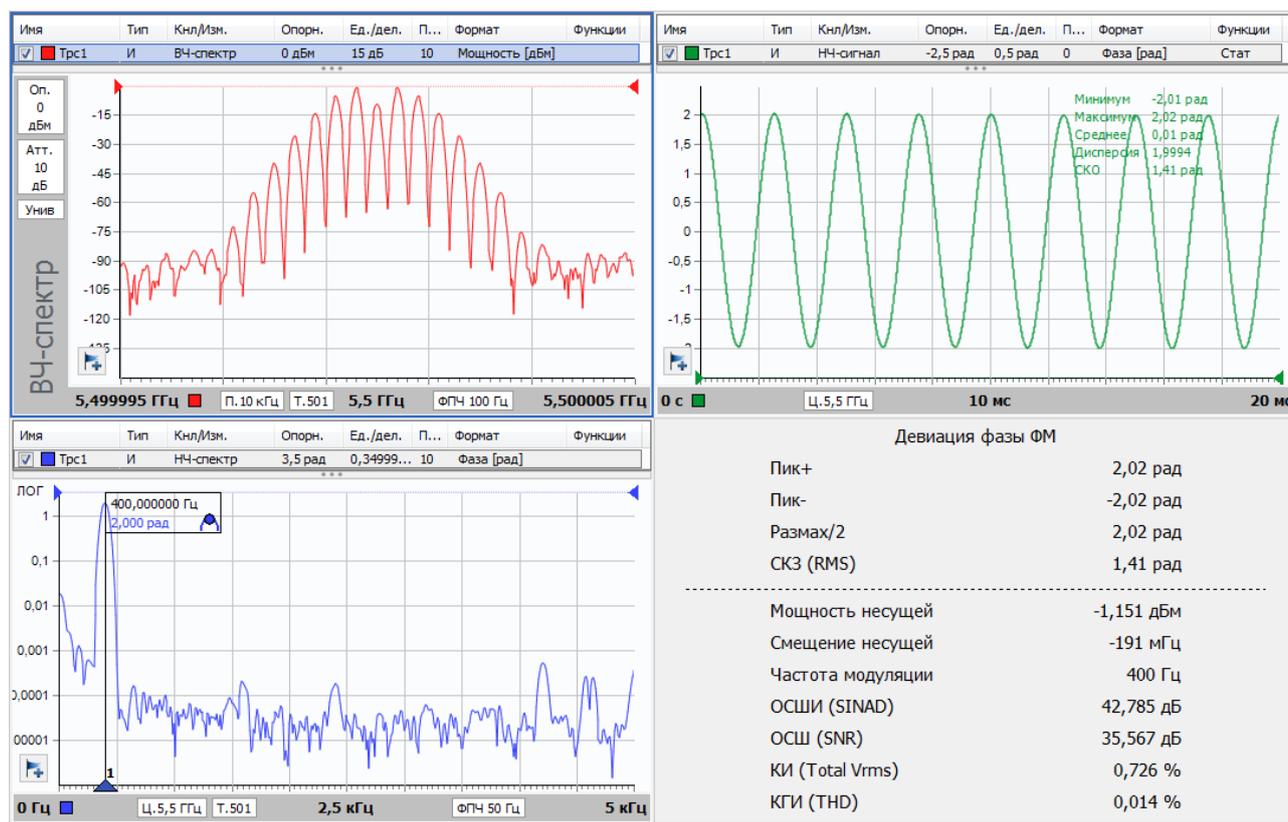


Рисунок 3.14 – Результат демодуляции ФМ-сигнала

На рисунке 3.14 представлен пример демодуляции ФМ-сигнала – помимо его спектра (левое верхнее окно) отображаются огибающая (правая диаграмма) и спектр (нижнее левое окно) НЧ-сигнала, а также информационная панель, содержащая оценку следующих параметров:

- «Пик+» – максимальная амплитуда НЧ-сигнала;
- «Пик-» – минимальная амплитуда НЧ-сигнала;
- «Размах/2» – половина размаха амплитуды НЧ-сигнала, соответствующая коэффициенту АМ, девиации частоты (ЧМ) или фазы (ФМ);
- «СКЗ» – среднеквадратическое значение (*root-mean-square, RMS*) НЧ-сигнала;
- «Мощность несущей» – максимальный уровень сигнала в ВЧ-спектре на входе анализатора (отображается в единицах мощности трассы ВЧ-спектра);
- «Смещение несущей» – оценка смещения несущей частоты относительно центральной частоты анализатора (только для ЧМ и ФМ сигналов, см. п. 3.5.3);
- «Частота модуляции» – частота модулирующего сигнала (определяется как частота составляющей НЧ-спектра с максимальной амплитудой);
- «ОСШИ» – отношение сигнал/шум с учётом искажений (*signal-to-noise and distortion ratio, SINAD*), рассчитываемое по формуле:

$$SINAD = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{S+N+D}{N+D} \right) [\text{дБ}],$$

где  $S$  – мощность НЧ-сигнала на частоте модуляции, мВт;  $N$  – мощность шума, мВт;  $D$  – сумма мощностей 2й, 3й и т.д. гармоник частоты модуляции, мВт.

- «ОСШ» – отношение сигнал/шум (*signal-to-noise ratio, SNR*), рассчитываемое по формуле:

$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{S}{N} \right) [\text{дБ}],$$

- «КИ» – коэффициент искажений (*Total Vrms*), определяемый в соответствии с формулой:

$$Total Vrms = 100 \cdot \left( \frac{N+D}{S+N+D} \right) [\%],$$

- «КГИ» – коэффициент гармонических искажений (*total harmonics distortion, THD<sub>F</sub>*), рассчитываемый по формуле:

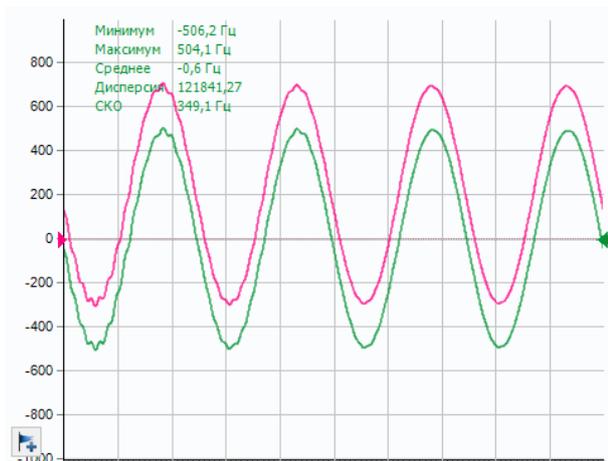
$$THD = 100 \cdot \left( \frac{D}{S} \right) [\%].$$

### 3.5.3 Компенсация смещения несущей частоты

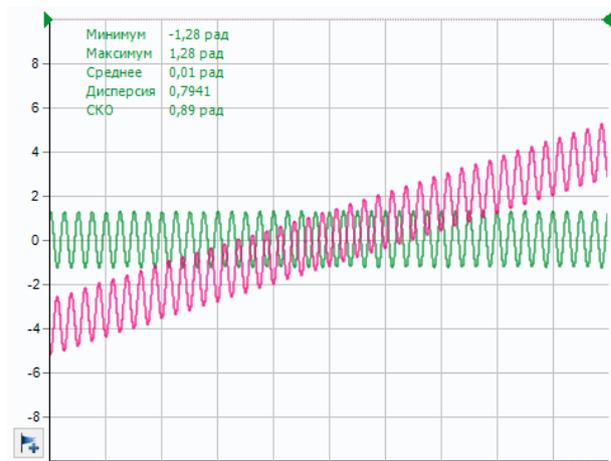
Несовпадение частоты настройки анализатора и несущей частоты модулированного сигнала приводит к следующим эффектам:

- смещение огибающей демодулированного ЧМ-сигнала по оси ординат (появление постоянной составляющей, в том числе в НЧ-спектре), что приводит к некорректной оценке параметров «Пик+», «Пик-», СКЗ, ОСШИ и других;
- наличие постоянного набега фазы демодулированного ФМ-сигнала, который способствует внесению значительных ошибок в оценку большинства параметров модуляции.

Функция компенсации смещения несущей частоты (рисунок 3.13-б) включена по умолчанию, но может быть использована в автоматическом или ручном режимах. В автоматическом режиме ПО *Graphit* производит оценку смещения несущей частоты и корректирует форму демодулированного сигнала. На рисунках 3.15 красным трассам соответствуют измерения с выключенной компенсацией смещения, зелёным трассам – измерения с компенсацией в режиме «Авто». В ручном режиме компенсация производится с учётом смещения частоты, задаваемым пользователем.



а) ЧМ-сигнал



б) ФМ-сигнал

Рисунок 3.15 – Автоматическая компенсация смещения несущей частоты

### 3.6 Система цифровой синхронизации (режим ИКШ)

Система синхронизации предназначена для работы анализатора в комплексе с другими измерительными приборами (только для режима ИКШ). Панель управления параметрами синхронизации представлена на рисунке 3.16.

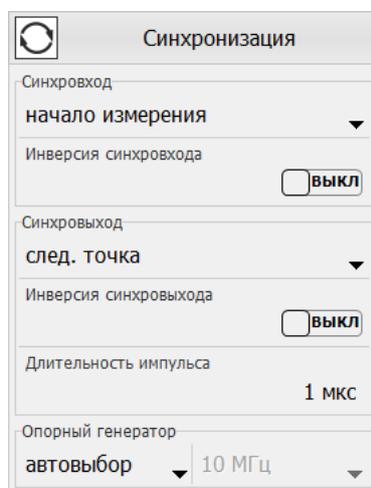


Рисунок 3.16 – Панель управления «Синхронизация» в режиме ИКШ

Режим работы выхода синхронизации задаётся в поле «Синхровыход»:

- «не используется» – на выходе устанавливается постоянное напряжение 0 В или 5 В, если установлен флажок «Инвертирование»;
- «старт развёртки» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, передний фронт которых совпадает с началом развёртки по частоте;
- «след. точка» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, передний фронт которых совпадает с началом перестройки на очередную частотную точку;

г) «захват ФАПЧ» – с генератора одиночных импульсов на выход поступают импульсы, передний фронт которых совпадает с окончанием перестройки частоты;

д) «транслируется вход» – на выход поступает ретранслированный сигнал с входа.

Перечисленные выше сигналы могут инвертироваться, если включить инверсию при помощи соответствующего переключателя.

Длительность одиночных импульсов задаётся (в интервале от 1 до 255 мкс) в поле с регулировкой значения «Длительность импульса».

На рисунке 3.17 приведены эпюры напряжений на выходе синхронизации, формируемых в зависимости от режима синхронизации и выполняемой измерительным блоком операции.

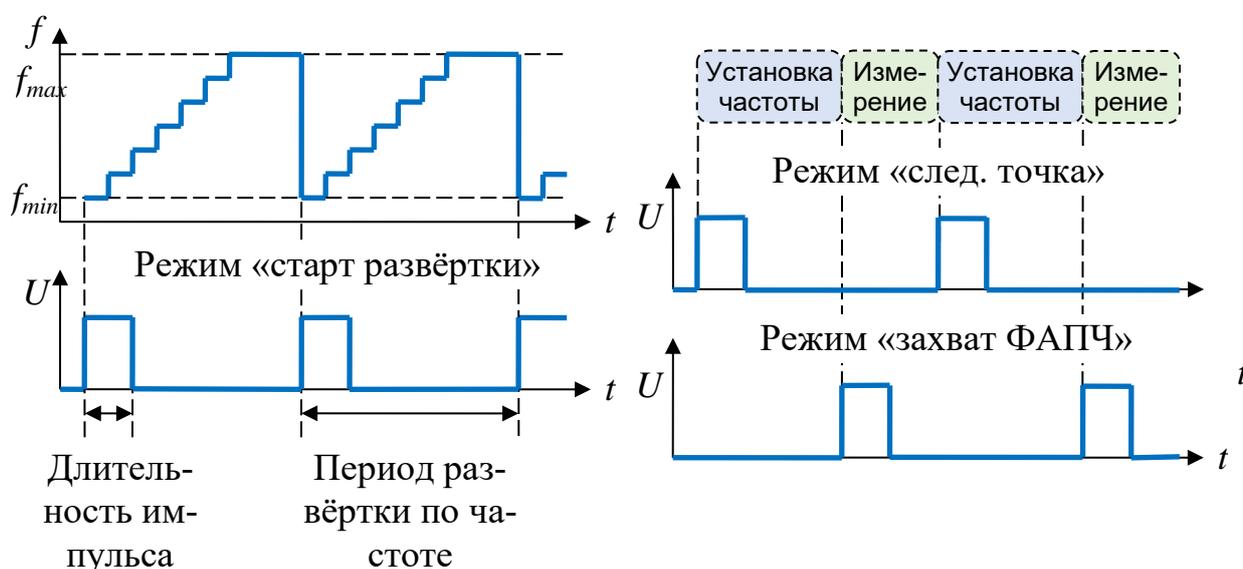


Рисунок 3.17 – Режимы работы выхода синхронизации

По нарастающему фронту поступившего на вход синхроимпульса фиксируется «Событие по входу синхронизации». Включение инверсии синхровхода позволит фиксировать событие по падающему фронту синхроимпульса. Реакция измерительного блока на «Событие по входу синхронизации» задаётся в поле со списком «Синхровход»:

а) «не используется» – поступившие на вход синхроимпульсы игнорируются;

б) «старт развёртки» – по приходу синхроимпульса начинается развёртка по частоте;

в) «след. точка» – по приходу синхроимпульса начинается перестройка на следующую частотную точку;

г) «начало измерения» – по приходу синхроимпульса начинается измерение на текущей частоте.

На рисунке 3.18 показано изменение этапов работы измерительного блока в зависимости от режима синхронизации и поступления входных синхроим-

пульсов.

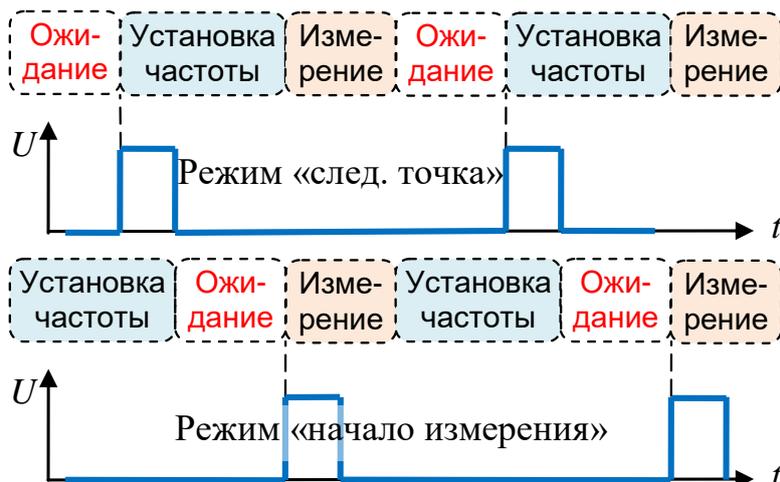


Рисунок 3.18 – Режимы работы входа синхронизации

Для синхронной работы приборов и корректных измерений важно также учесть следующее:

- ширина полосы обзора и количество точек в настройках обоих приборов должны быть одинаковыми;
- при запуске сканирования существует возможность пропуска первого импульса, когда один прибор сформировал импульс, а второй ещё не запущен; поэтому первым следует запускать прибор, ожидающий импульс.

Для примера рассмотрим работу синхронизации измерительного комплекса, в котором СК4М выступает в роли измерителя, а векторный анализатор Р42 является, например, перестраиваемым гетеродином. Входы и выходы синхронизации соединяются согласно схеме на рисунке 3.19.



Рисунок 3.19 – Схема подключения входов и выходов синхронизации

Начать измерение в частотной точке можно в том случае, когда оба прибора закончили перестройку в данную точку, поэтому сигнал «Захват ФАПЧ» от Р42 должен запускать начало измерения в СК4М. После окончания измерения

P42 перестраивается на следующую точку, тем самым запускает перестройку в СК4М, по завершении которой сигнал «Захват ФАПЧ» снова запускает измерение. В соответствии с этими условиями в ПО приборов устанавливаются параметры входов и выходов, как на рисунке 3.19. Сканирование P42 следует запустить первым, затем запускается СК4М.

### 3.7 Измерение частоты

Измерение частоты проводится с помощью функции «Счётчик частоты» при настройке параметров маркера (см. п. 2.10.2). Эта возможность доступна только в режиме «СК4М. Анализатор спектра» (см. п. 3.1).

Настройка маркера для измерения частоты производится в следующем порядке:

- Шаг 1.** Провести запуск анализатора в режиме «СК4М. Анализатор спектра».
- Шаг 2.** Добавить маркер, с помощью которого будет проводиться измерение частоты (о работе с маркерами см. п. 2.10).
- Шаг 3.** В контекстном меню маркера выбрать функцию «Счётчик частоты» (см. рисунок 2.48-а). Далее выбрать способ измерения и задать его точность.

## Приложение А (обязательное)

### Оценка пределов абсолютной погрешности измерения КШ

Данная процедура проводится только для анализаторов, имеющих одновременно опции «ИКШ» и «МУА». Для вычислений пределов абсолютной ПГ измерения КШ, приведённых ниже, можно пользоваться файлом «Расчёт\_ПГ\_КШ\_СК4М\_v1.x.lsx», поставляемом на цифровом носителе в комплекте поставки анализатора. Исходными данными для вычислений являются другие показатели точности анализатора, которые измеряются согласно методикам, приведённым в ЖНКЮ.468166.024ТУ.

Исходными данными для расчёта являются:

а) средний уровень индицируемого шума (СУИШ), предположим, что  $SUIШ = -164,677$  дБм;

б) КШ исследуемого устройства (ИУ)  $NF_{ИУ}$ ; для примера примем это значение равным 10 дБ;

в) коэффициент передачи (КП) ИУ  $G_{ИУ}$ , дБ; примем его равным 20 дБ;

г) КСВН выхода генератора шума (ГШ)  $КСВН_{ГШ}$ ; предположим, что  $КСВН_{ГШ} = 1,250$ ;

д) КСВН выхода ИУ  $КСВН_{вх\_ИУ} = КСВН_{вых\_ИУ} = 1,500$ ;

е) КСВН анализатора  $КСВН_{ИКШ}$ ; зададим  $КСВН_{ИКШ} = 2,000$ ;

ж) ПГ измерения КШ из-за нелинейности амплитудной характеристики (АХ) анализатора  $\delta NF_{сист}$ ; пусть  $\delta NF_{сист} = 0,100$  дБ;

з) ПГ измерения КП из-за нелинейности АХ анализатора  $\delta G_{сист}$ ; примем  $\delta G_{сист} = 0,150$  дБ;

и) пределы погрешности измерения КШ и КП из-за флюктуаций,  $\delta NF_{фл}$  и  $\delta G_{фл}$ , находятся, дБ, по формулам  $\delta NF_{фл} = 3 \cdot \sigma \tilde{F}$ , и  $\delta G_{фл} = 3 \cdot \sigma \tilde{K}$ , где  $\sigma \tilde{F}$  и  $\sigma \tilde{K}$  – соответствующие СКО, дБ; предположим, что  $\delta NF_{фл} = \delta G_{фл} = 0,180$  дБ;

к) предел погрешности ИОШТ используемого ГШ  $\delta ENR$ , примем его равным  $\delta ENR = 0,400$  дБ.

Рассчитаем значения собственного КШ анализатора  $F_{ИКШ}$ , отн. ед., в полосе 1 Гц по формуле

$$F_{ИКШ} = 10^{0,1 \cdot (SUIШ[дБм] + 173,977 + n_{кор})} = 10^{0,1 \cdot (-164,677[дБм] + 173,977 + 1)} \approx \approx 10,715 \quad (A.1)$$

где «173,977» – средний уровень теплового шума в полосе 1 Гц, дБм;

$n_{кор}$  – корректирующая составляющая (получена эмпирически для анализаторов СК4М), связанная с частотной неравномерностью собственного КШ: для частот от 0,01 до 0,02, а также от 0,5 до 3,2 ГГц  $n_{кор} = 3$  дБ; для других частот  $n_{кор} = 1$  дБ; примем для примера последний вариант.

Аналогично рассчитаем КШ измерительной системы  $F_{\Sigma}$ , отн. ед., по формуле

$$F_{\Sigma} = 10^{0,1 \cdot NF_{ИУ}[\text{дБ}]} + (F_{ИКШ} - 1) \cdot 10^{-0,1 \cdot G_{ИУ, \text{дБ}}} = 10^{0,1 \cdot 10[\text{дБ}]} + (10,715 - 1) \cdot 10^{-0,1 \cdot 20[\text{дБ}]} \approx 10,097. \quad (\text{А.2})$$

Вычислим коэффициенты отражения выхода генератора шума  $\rho_{ГШ}$ ; входа и выхода исследуемого устройства  $\rho_{ВХ\_ИУ}$ ,  $\rho_{ВЫХ\_ИУ}$ ; входа анализатора  $\rho_{ИКШ}$ , отн. ед., по формуле

$$\rho_{и} = (КСВН_{и} - 1) / (КСВН_{и} + 1) \quad (\text{А.3})$$

где индекс «и» – соответствующий индекс: «ГШ», или «ВХ\_ИУ», или «ВЫХ\_ИУ», или «ИКШ»;

Подставляя в формулу (А.3) значения КСВН, указанные в пп. г)–е) перечисления исходных данных, получим  $\rho_{ГШ} \approx 0,111$ ,  $\rho_{ВХ\_ИУ} = \rho_{ВЫХ\_ИУ} = 0,200$ ,  $\rho_{ИКШ} \approx 0,333$ .

Определим ПГ рассогласования  $\delta_{ГШ-ИУ}$ ,  $\delta_{ГШ-ИКШ}$  и  $\delta_{ИУ-ИКШ}$ , дБ, находямые как наибольшие значения модулей положительной и отрицательной погрешностей, по формуле

$$\delta_{и1-и2} = \max(|-20 \cdot \lg(1 - \rho_{и1}\rho_{и2})|, |20 \cdot \lg(1 + \rho_{и1}\rho_{и2})|) \quad (\text{А.4})$$

где «и1» и «и2» – соответствующие индексы.

Подставляя в формулу (А.4) значения, полученные на предыдущем шаге, получим  $\delta_{ГШ-ИУ} \approx 0,195$  дБ,  $\delta_{ГШ-ИКШ} \approx 0,327$  дБ,  $\delta_{ИУ-ИКШ} \approx 0,599$  дБ.

Рассчитаем погрешность измерения КШ измерительной системы, дБ, по формуле

$$\delta NF_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{ГШ-ИУ}^2 + \delta NF_{\text{сист}}^2 + (1 - S) \cdot \delta ENR_{\text{изм}}^2 + \delta NF_{\text{фл}}^2} = \sqrt{0,195^2 + 0,100^2 + 0 + 0,180^2} \approx 0,284. \quad (\text{А.5})$$

где  $S = 1$  – для измерений без преобразования частот (предполагаем именно этот случай), а  $S = 0$  – с преобразованием;

$\delta ENR_{\text{изм}}$  – ПГ ИОШТ эталонного ГШ, использованного на этапе измерения, дБ.

Вычислить погрешность измерения собственного КШ анализатора, дБ, по формуле

$$\delta NF_{ИКШ} = \sqrt{\delta_{ГШ-ИКШ}^2 + \delta NF_{\text{сист}}^2 + (1 - S) \cdot \delta ENR_{\text{кал}}^2 + \delta NF_{\text{фл}}^2} = \sqrt{0,327^2 + 0,100^2 + 0 + 0,180^2} \approx 0,386. \quad (\text{А.6})$$

где  $\delta ENR_{\text{кал}}$  – ПГ ИОШТ эталонного ГШ, использованного на этапе калибровки, дБ.

Определим погрешность измерения КП ИУ, дБ, по формуле

$$\begin{aligned} \delta G_{\text{ИУ,дБ}} &= \sqrt{\delta_{\text{ГШ-ИУ}}^2 + \delta_{\text{ГШ-ИКШ}}^2 + \delta_{\text{ИУ-ИКШ}}^2 + \delta G_{\text{сист}}^2 + (1 - S) \times} \\ &\times \overline{\delta ENR_{\text{изм}}^2 + \delta G_{\text{фл}}^2} = \sqrt{0,195^2 + 0,327^2 + 0,599^2 + 0,150^2 +} \\ &\quad \overline{0 + 0,180^2} \approx 0,747. \end{aligned} \quad (\text{A.7})$$

Рассчитаем итоговые значения погрешности измерения КШ, дБ, по формуле

$$\begin{aligned} \delta NF_{\text{ИУ}} &= 10^{-0,1 \cdot NF_{\text{ИУ}}[\text{дБ}]} \cdot \sqrt{(F_{\Sigma} \cdot \delta NF_{\Sigma})^2 + \left( \frac{F_{\text{ИКШ}}}{10^{0,1 \cdot G_{\text{ИУ,дБ}}}} \cdot \delta NF_{\text{ИКШ}} \right)^2 +} \\ &\quad \overline{\left( \frac{F_{\text{ИКШ}} - 1}{10^{0,1 \cdot G_{\text{ИУ,дБ}}}} \cdot \delta G_{\text{ИУ,дБ}} \right)^2} + S \cdot \left( F_{\Sigma} - \frac{F_{\text{ИКШ}}}{10^{0,1 \cdot G_{\text{ИУ,дБ}}}} \right)^2 \cdot \delta ENR^2 =} \\ &= 10^{-0,1 \cdot 10} \cdot \sqrt{(10,097 \cdot 0,248)^2 + \left( \frac{10,715}{10^{0,1 \cdot 20}} \cdot 0,386 \right)^2 +} \\ &\quad \overline{\left( \frac{10,715 - 1}{10^{0,1 \cdot 20}} \cdot 0,747 \right)^2} + 1 \cdot \left( 10,097 - \frac{10,715}{10^{0,1 \cdot 20}} \right)^2 \cdot 0,400^2 \approx 0,472. \end{aligned} \quad (\text{A.8})$$

## Приложение Б (справочное) Перечень возможных неисправностей

Перечень возможных неисправностей, причин их возникновения, а также рекомендации по действиям при возникновении аварийных режимов приведены в таблице Б.. При возникновении ошибок и неисправностей, не описанных ниже, пожалуйста, постарайтесь зафиксировать эти неисправности (желательно при этом сохранить и экспортировать в файл текущий профиль ПО *Graphit* (см. п. 2.9), а также скопировать изображение экрана монитора при помощи клавиши «**Print Screen**») и выслать эту информацию по электронному адресу, указанному на титульном листе, с подробным описанием возникшей проблемы.

Т а б л и ц а Б.1 – Возможные неисправности

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
<b>Проблемы общего характера</b>		
1) Анализатор не включается	Анализатор не включён в сеть или неисправен сетевой кабель	Включите в сеть или замените неисправный кабель
	Сгорел плавкий предохранитель	Замените плавкий предохранитель на исправный (см. п. 5.1 части I РЭ)
<b>Ошибки программного обеспечения</b>		
2) При запуске ПО <i>Graphit</i> появляется сообщение об ошибке	Сбой профиля настроек пользователя	<p>Установить настройки по умолчанию, используя меню «Профиль &gt; Восстановить начальные параметры», либо программу <i>Flush GPR.exe</i> (см. п.2.9), расположенную в папке установленного ПО <i>Graphit</i>, выполнив следующие действия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• завершить работу ПО <i>Graphit</i>;</li> <li>• запустить программу <i>Flush GPR</i>;</li> <li>• выбрать в списке «Профили приборов» значение «Р4М»;</li> <li>• нажать «Сохранить как...» и отправить полученный файл по электронному адресу технической поддержки ПО</li> </ul>

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
		<a href="mailto:pribor.soft@micran.ru">pribor.soft@micran.ru</a> (рекомендуется); <ul style="list-style-type: none"> <li>• нажать кнопку «Удалить» и закрыть программу <i>Flush GPR</i>;</li> </ul> повторить попытку запуска ПО <i>Graphit</i>
	Используется неподходящая операционная система	Установите программное обеспечение на ПК с операционной системой, соответствующей требованиям, указанным в п.1.1
3) При первом запуске ПО <i>Graphit</i> и подключении к прибору сообщение об ошибке не появляется, но программа не реагирует на действия оператора	Аппаратная несовместимость	Попробуйте повторить подключение. В случае отрицательного результата обратитесь в службу технической поддержки на предприятие-изготовитель (контактная информация указана на титульном листе)
4) В ПО <i>Graphit</i> периодически выскакивают ошибки различного рода, либо не удаётся запустить процесс измерений, либо возникают ошибки при измерениях, связанные с работой программы управления	Возможно, после сбоя и перезагрузки ПО <i>Graphit</i> , либо при её переустановке сбились настройки профиля программы управления	См. решение проблемы №2
5) При работе в ПО <i>Graphit</i> не удастся остановить процесс измерений или закрыть ПО <i>Graphit</i>	Зависание ПО <i>Graphit</i>	Вызвать диспетчер задач, нажав « <b>Ctrl+Alt+Del</b> » и затем «Диспетчер задач»; на вкладке «Процессы» выбрать из списка процесс <i>launcher.exe</i> и далее нажать кнопку «Завершить процесс».
<b>Проблемы подключения к ПК</b>		
<i>Проблемы общего характера</i>		
6) При подключении к ПК появляется сообщение об ошибке подключения	Анализатор не включён	Включите
	Неправильно выбраны настройки	См. п.1.2

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	сетевого подключения либо внутренние настройки сети	
	Кабель <i>Ethernet</i> не подключён или неисправен.	Подключите / замените кабель <i>Ethernet</i> .
	Анализатор старого типа и используется неподходящий кабель <i>Ethernet</i>	Используйте кабель <i>Ethernet</i> с соединением типа <i>cross-over</i>
7) При подключении анализатора к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п.2.1), отображается состояние «Свободен» но, тем не менее, подключиться не удаётся	В были прогружены неверные параметры до подключения	Перед подключением необходимо очистить профиль ПО <i>Graphit</i> (т.е. в запущенном ПО нажать кнопку «Восстановить начальные параметры»)
	У конфигуратора включён переключатель номер 1, т.е. анализатору присвоен пользовательский <i>IP</i> -адрес и ОС не удаётся соединиться с анализатором	Не выключая , переведите все переключатели конфигуратора кроме второго в выключенное состояние. Включите и выключите переключатель номер 6. Через 30 с повторите попытку подключения.
	Физическое подключение по кабелю <i>Ethernet</i> было осуществлено после включения анализатора и в работе <i>DNS</i> -сервера произошёл сбой	В командной строке ОС <i>Windows</i> (пункт «Выполнить» меню «Пуск» или нажатие клавиш  +R) набрать <i>ipconfig /flushdns</i> и попробовать подключиться заново.
	Произошло зависание встроенного ПО анализатора	Не выключая , включить и выключить 6-й переключатель конфигуратора (рисунок 1.3) и попробовать подключиться снова. В случае

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
		неудачи выключить , через 30 секунд включить его снова и повторить попытку подключения
	Проблемы контроллера сети анализатора	Выключить , через 30 секунд включить его снова и повторить попытку подключения
8) При подключении к ПК не обнаруживается, либо обнаруживается, но при повторном осуществлении поиска в сети он исчезает	Возможно, имеет устаревшую конфигурацию оборудования	Попытаться выяснить <i>IP</i> -адрес анализатора и ввести этот адрес вручную в ПО <i>Graphit</i> , создав в диалоге подключения новую запись путём нажатия кнопку «Добавить» и заполнив соответствующие поля (см. п.2.1). Попытаться снова подключиться через созданную запись.
	Сбой в ПЛИС анализатора	Выключить , через 30 секунд включить его и повторить попытку подключения.
	Установлено соединение по протоколу <i>FTP</i>	Закройте активное соединение по протоколу <i>FTP</i> и попробуйте подключиться снова
<i>Проблемы прямого подключения к ПК (см. п. 1.2.2)</i>		
9) При прямом подключении к ПК не удаётся установить соединение с анализатором (появляется сообщение об ошибке подключения)	Неправильные сетевые настройки операционной системы	См. Приложение В
	Неправильные настройки конфигурирования	См. сноску в п.1.2.1
	Брандмауэр <i>Windows</i> ®, или фаервол, или антивирусные программы блокируют порт 8888, по которому осуществляется подключение анализатора	Обратитесь к системному администратору (необходимо перенастроить перечисленные системы безопасности и попробовать подключиться снова)
	Перед прямым	Закройте ПО <i>Graphit</i> , выключите и

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	подключением подключался к ПК другим способом	включить его снова; запустить ПО <i>Graphit</i> , очистить профиль и повторить попытку подключения
10) При подключении анализатора к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п.2.1), отображается состояние «Занят», соответственно подключиться не удаётся.	Предыдущее аварийное завершение работы ПО <i>Graphit</i> не завершило соединение с анализатором	Закрывать ПО <i>Graphit</i> . С помощью диспетчера задач (вызывается сочетанием клавиш « <b>Ctrl+Shift+Esc</b> »), на вкладке «Процессы» диспетчера проверить наличие процесса <i>launcher.exe</i> ; если процесс имеется, то его необходимо завершить; выключить и включить 6-й переключатель конфигурирования на задней панели анализатора, запустить ПО <i>Graphit</i> и через 30 с подключиться заново
<i>Проблемы подключения к ПК через локальную сеть (см. п. 1.2.3)</i>		
11) При подключении к ПК по локальной сети, при поиске обнаруживается под адресом по умолчанию 169.254.0.254	Неправильные сетевые настройки операционной системы	См. Приложение В
	Неправильные настройки конфигурирования	См. п.1.2.1
	При включении анализатора он делает 10 запросов на получение IP-адреса от DHCP-сервера, в случае неудачи устанавливается адрес по умолчанию. Возможно, соединение анализатора с ПК через <i>Ethernet</i> -кабель сделано после включения	Проверьте качество <i>Ethernet</i> -соединения с локальной сетью, выключите и через 30 секунд включите его, повторите попытку подключения

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
	прибора.	
	В памяти анализатора отсутствуют необходимые файлы сетевых настроек *.xml	Обратитесь в группу технической поддержки (контактная информация указана на титульном листе). Приносим извинения
12) При подключении анализатора к ПК он обнаруживается (после осуществления поиска, см. п.2.1), отображается состояние «Занят», соответственно подключиться не удаётся.	К анализатору подключился другой пользователь	Обратитесь к системному администратору
	См. возможную причину и решение проблемы №10	—
13) При подключении анализатора к ПК через локальную сеть он обнаруживается в сети (после осуществления поиска, см. 2.1), но, тем не менее, выдаёт ошибку подключения	Возможно, клиент сервиса <i>DNS</i> запомнил предыдущее имя прибора, которое ему присваивал <i>DNS</i> -сервер, в то время как имя сменилось	Необходимо очистить кэш распознавателя <i>DNS</i> , выполнив в командной строке ОС <i>Windows</i> (пункт «Выполнить» меню «Пуск» или нажатие клавиш  +R) <i>ipconfig /flushdns</i> и <i>arp -d</i> (требуется права администратора); подключиться заново.  При отсутствии прав администратора (т.е. невозможности выполнить команду <i>arp -d</i> ) можно отключить <i>Ethernet</i> -кабель от ПК, связывающий его с локальной сетью, на 5–10 мин и повторить попытку подключения
	Неисправный кабель <i>Ethernet</i>	Замените кабель <i>Ethernet</i>
<b>Проблемы при измерениях</b>		
14) Значения КШ принимают слишком	Не поступает сигнал ПЧ	Проверьте, имеется ли кабель и качество его сочленения с входом и

Наименование неисправности, внешние признаки проявления	Вероятные причины неисправности	Метод устранения
большие значения (порядка 40 дБ)		выходом ПЧ на задней панели прибора
	Неверно подаётся шумовой ВЧ сигнал	Проверьте правильность подключения ГШ и его работоспособность
15) На кривой КШ присутствуют выбросы и пики, размах которых превышает 1 дБ	Анализатор принимает внешние сигналы (например, поблизости располагаются базовые станции сотовой связи), либо плохое согласование, либо некачественные соединители	Проверить качество сочленения соединителей, для этого воспользоваться тарированными ключами; проверить качество соединителей; проводите измерения в экранированном помещении
16) Появляется сообщение «Автонастройка: сигнал не обнаружен» при использовании функции «Автонастройка»	Недостаточный уровень мощности сигнала, либо частота сигнала находится вне диапазона рабочих частот анализатора	Увеличьте мощность исследуемого сигнала (не менее минус 40 дБм, но не более максимально разрешённого значения, указанного на передней панели анализатора), либо произведите ручную настройку диапазона сканирования
17) Периодическое смещение спектральных составляющих на графике	Нестабильность частоты источника сигнала	Использовать общий источник опорной частоты для анализатора и источника сигнала. В качестве источника опорной частоты рекомендуется использовать , соединив разъём «ОГ->» с соответствующим входом источника сигнала. В режиме измерения фазового шума включить функцию АПЧ (см. п. 3.4.3)

## Приложение В (справочное)

### Решение проблем при настройке сетевых параметров

Анализаторы используют интерфейс *Ethernet* для связи с компьютером. Протокол *Ethernet* предполагает общую среду передачи и адресацию в ней. Адреса сетевых адаптеров *Ethernet* – *MAC*-адреса, уникальны и задаются при изготовлении анализаторов.

Кроме физического протокола *Ethernet* анализаторами поддерживается ряд сетевых протоколов: *TCP* – для приёма команд и передачи результатов измерений; *UDP* – для обнаружения анализаторов в сети; *ICMP* – для диагностики; *DHCP* – для автоматической конфигурации сетевых параметров и регистрации *host*-имени анализатора в *DNS*; *FTP* – для файлового доступа к параметрам и таблицам анализатора; *HTTP* – для диагностики и задания параметров анализатора через *WEB*-интерфейс.

В пакетах *Ethernet* в качестве данных передаются пакеты протокола более высокого уровня – *IP* (*Internet Protocol*). В свою очередь протокол *TCP* (*Transmission Control Protocol*) использует в качестве транспорта *IP*-протокол. На рисунке В.1 показан стек (иерархия) используемых протоколов.

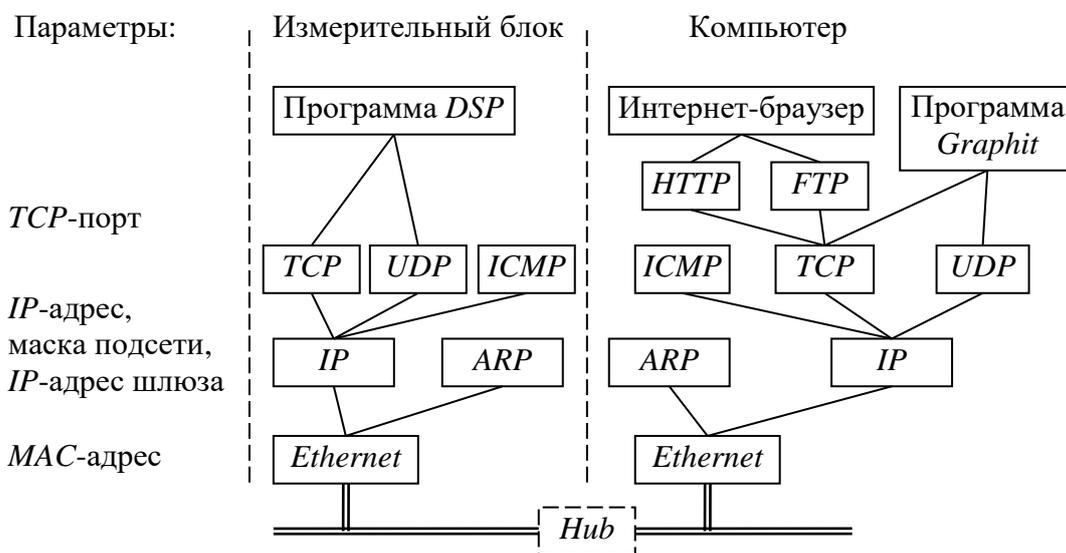


Рисунок В.1 – Используемые протоколы

*ARP* (*Address Resolution Protocol*) обеспечивает перевод *IP*-адресов в *MAC*-адреса, для чего заполняет *ARP*-таблицу соответствий *IP*-адресов *MAC*-адресам. *ICMP* (*Internet Control Message Protocol*) предназначен для диагностики сети, используется утилитой *ping.exe*.

*IP*-адрес – это 32-разрядное целое число, которое принято записывать по-байтно, разделяя точками. Например, 127.0.0.1. Большинство *IP*-адресов уникальны и однозначно адресуют компьютер (точнее, его сетевой адаптер) в сети *Internet*. Биты, составляющие *IP*-адрес, делятся на две группы – некоторое ко-

личество старших бит означает номер подсети, а в остальных младших битах содержится номер узла. Число бит, приходящихся на номер подсети, определяет маска подсети. Биты маски подсети, равные 1, соответствуют той части *IP*-адреса, которая содержит номер подсети, а оставшиеся биты *IP*-адреса составляют номер узла, как показано на рисунке В.2.

<i>IP</i> -адрес:	&	№ подсети	№ узла
Маска:		111111111111111111111111	0000000000
Результат:		№ подсети	0000000000
<i>IP</i> -адрес:	&	№ подсети	№ узла
Инвертированная маска:		000000000000000000000000	1111111111
Результат:		000000000000000000000000	№ узла

Рисунок В.2 – Выделение номеров подсети и узла

Поразрядное объединение по «И» маски подсети с *IP*-адресом даст номер подсети, а инверсия маски подсети и поразрядное объединение по «И» с *IP*-адресом даст номер узла. Существует ограничение на номер узла – он не должен состоять из всех нулей или из всех единиц. Маску подсети также принято записывать побайтно. Например, маска на рисунке В.2 записывается как 255.255.252.0.

Компьютеры (узлы), принадлежащие одной подсети, разделяют общую среду передачи или, другими словами, включены в один коммутатор (*Hub* или *Switch*). Впрочем, коммутаторов может быть несколько – подключённых друг к другу. Подсети подключаются друг к другу через маршрутизаторы (шлюзы), которые представляют собой компьютеры с несколькими сетевыми интерфейсами или специальные устройства.

Модуль *IP* – подпрограмма на компьютере или в анализаторе, получив задание передать пакет, выделяет из *IP*-адреса назначения № подсети, сравнивает его с номером своей подсети. В случае совпадения пакет передаётся непосредственно получателю, иначе пакет передаётся через шлюз.

Для идентификации анализатора в локальной сети используются один из двух наборов сетевых параметров – «Фабричный» или «Пользователя», выбираемых переключателем на задней панели анализатора. Предприятием-изготовителем устанавливаются следующие значения «Фабричных» параметров анализатора:

<i>IP</i> -адрес:	169.254.0.254
Маска подсети:	255.255.0.0
<i>TCP</i> -порт:	8888
<i>MAC</i> -адрес:	00.1e.0d.01.xx.xx
<i>IP</i> -адрес шлюза:	0.0.0.0

Сетевое имя: *ck4m-50-серийный номер* (тип анализатора может отличаться)

Приведённые выше параметры обеспечивают прямое подключение анализатора к компьютеру без каких-либо настроек, при условии, что параметры *IP*-протокола в компьютере установлены по умолчанию. Под параметрами по умолчанию понимается использование авто-конфигурации *IP*-протокола.

Для *Windows*® 7 после щелчка по кнопке «Пуск» следует щёлкнуть «Панель управления > Центр управления сетями и общим доступом». В открывшемся окне выбрать задачу «Изменение параметров адаптера».

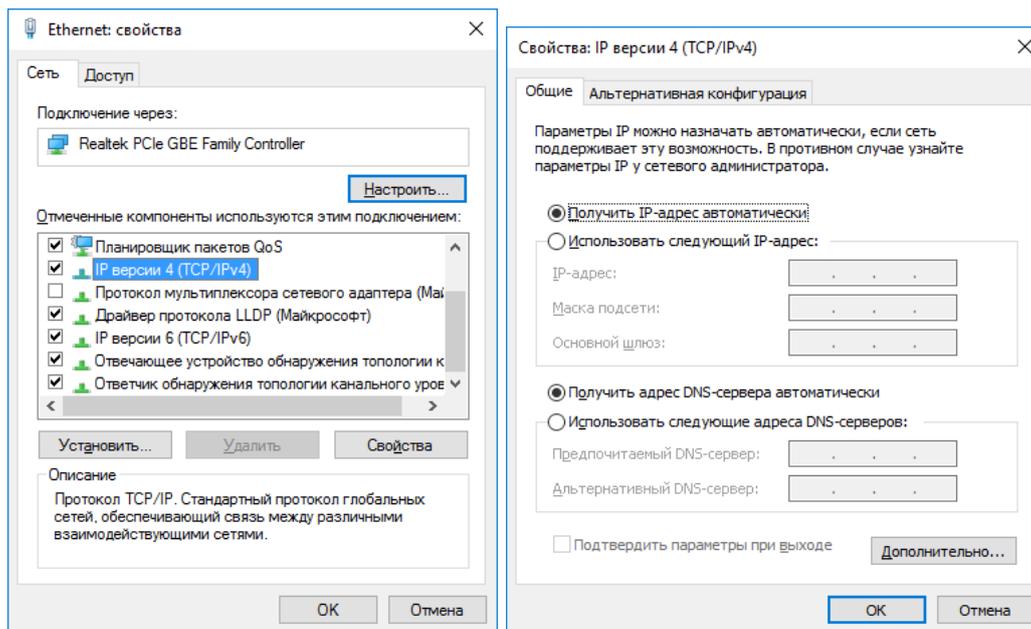
В *Windows*® 8 открыть «Панель управления» при помощи меню, вызываемого комбинацией клавиш «+X», далее перейти в «Центр управления сетями и общим доступом». В открывшемся окне выбрать задачу «Изменение параметров адаптера».

В *Windows*® 10 открыть окно «Параметры», кликнув по значку  в меню «Пуск», далее перейти в раздел «Сеть и Интернет». В открывшемся окне выбрать задачу «Настройка параметров адаптера».

В *Windows*® 11 открыть окно «Параметры», кликнув по значку в меню «Пуск», далее перейти в раздел «Сеть и Интернет». В открывшемся разделе выбрать задачу «Дополнительные сетевые параметры», далее перейти в раздел «Дополнительные параметры сетевого адаптера».

В появившемся окне «Сетевые подключения» щёлкнуть правой кнопкой мыши по пиктограмме «Подключение по локальной сети» и выбрать пункт контекстного меню «Свойства».

В открывшемся диалоге (рисунок В.3-а) выбрать «Протокол Интернета версии 4 (*TCP/IPv4*)» (либо «*IP* версии 4») и нажать кнопку «Свойства». По умолчанию пункт «Получить *IP*-адрес автоматически» (рисунок В.3-б) установлен, что разрешает использование протокола динамической конфигурации *DHCP* (*Dynamic Host Computer Configuration Protocol*). В локальной сети должен быть сервер *DHCP*, который выделяет рабочим станциям *IP*-адреса и сообщает им другие параметры (маску, шлюз и т.п.). Если в сети отсутствует *DHCP*-сервер, *Windows*® выбирает адрес из диапазона 169.254.0.1 ÷ 169.254.255.254. Такая ситуация возникает при прямом соединении анализатора и компьютера. Заданный в «Фабричных» сетевых параметрах *IP*-адрес анализатора принадлежит этому же диапазону. В результате компьютер и оказываются в одной подсети, что является необходимым условием для работы. Следует заметить, при отключении компьютера от локальной сети и подключении к анализатору *Windows*® требуется около минуты для переконфигурирования *IP*-протокола. Однако *Windows*® по ряду причин может не перейти на подсеть 169.254.0.0.



а) Свойства сетевого адаптера

б) Настройка протокола *TCP/IPv4*

Рисунок В.3 – Параметры *IP*-протокола

Описанные ниже команды вводятся в командной строке. Чтобы открыть консольное окно «Командная строка», следует выполнить команду *cmd*, введённую в окне «Запуск программы» (рисунок В.4), появляющееся при нажатии комбинации клавиш «+R».

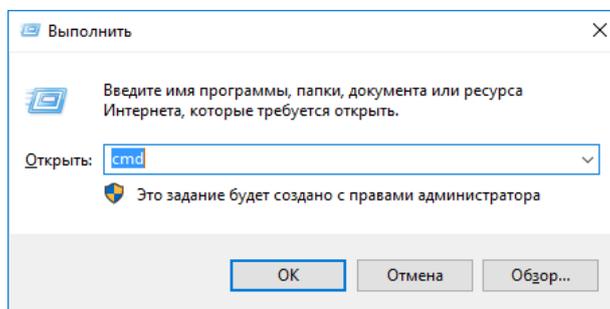


Рисунок В.4 – Окно «Выполнить»

Решение каких-либо проблем, связанных с работой сети, начинается с проверки работы самого низкого уровня – уровня *IP*-протокола. Текущие настройки *IP*-протокола можно видеть при помощи команды *ipconfig*:

```
C:\>ipconfig

Настройка протокола IP для Windows

Подключение по локальной сети - Ethernet адаптер:
IP-адрес . . . . . : 192.168.118.21
Маска подсети. . . . . : 255.255.255.0
Основной шлюз. . . . . : 192.168.118.1
```

Расширенный вариант команды *ipconfig /all* позволит узнать, включено ли автоматическое конфигурирование – в строке «*DHCP* разрешён» должно быть

«Да». Впрочем, если имеется возможность ручного задания параметров *IP*-протокола (права администратора), можно обойтись и без *DHCP*-сервиса.

Команда *ping* (от англ.: *Ping-Pong* – настольный теннис) позволяет послать диагностический пакет на удалённую машину (в нашем случае – ), которая должна ответить тем же. Например:

```
C:\>ping 169.254.0.254
Обмен пакетами с 169.254.0.254 по 32 байт:
Ответ от 169.254.0.254: число байт=32 время<10мс TTL=64
```

Иногда полезно добавить ключ *-t*, чтобы диагностика велась непрерывно.

Если ответил на команду *ping*, то с настройками сетевых параметров всё в порядке. В редких случаях ответ на команду *ping* может вернуть не , а другое устройство в локальной сети, занявшее *IP*-адрес. Для проверки достаточно выключить и повторить команду *ping*.

Команда *arp* выводит *ARP*-таблицу, из которой видны *MAC*-адреса интерфейсов, с которыми осуществлялся обмен последние несколько минут. Например:

```
C:\>arp -a

Интерфейс: 192.168.118.21 on Interface 0x3
    Адрес IP          Физический адрес      Тип
    192.168.118.1     00-04-76-18-9d-b7     динамический
    192.168.118.232   00-1e-0d-01-00-4f     динамический
```

*MAC*-адреса анализаторов, производимых в АО «НПФ «Микран», начинаются с чисел 00-1e-0d-01. Из приведённого выше примера видно, что *IP*-адрес 192.168.1.232 принадлежит измерительному блоку.

Часто возникает необходимость подключиться к анализатору с адресом из другой подсети. При этом нет желания или возможности изменять *IP*-адреса компьютера и анализатора. Для примера рассмотрим следующую ситуацию. Анализатор имеет *IP*-адрес 169.254.0.254 и в основном используется в прямом соединении с ноутбуком. Изредка подключают к локальной сети. Чтобы в этих редких случаях не менять адрес анализатора, можно воспользоваться командой *route*, которая позволяет добавить маршрут до некоторой подсети. Синтаксис команды следующий:

**route add подсеть mask маска\_подсети IP\_компьютера if номер\_интерфейса**,  
где *подсеть* и *маска\_подсети* – номер и маска подсети назначения, *IP\_компьютера* – *IP*-адрес компьютера, точнее адрес того интерфейса, через который будет выполняться обмен с анализатором.

Номер интерфейса и *IP*-адрес компьютера можно узнать из приведённых выше листингов команд *arp* и *ipconfig*. Так для интерфейса 0x3 и *IP*-адреса компьютера 192.168.118.21 команда добавления маршрута до подсети 169.254.0.0 должна иметь вид:

**route add 169.254.0.0 mask 255.255.0.0 192.168.118.21 if 0x3**

Чтобы увидеть запись о добавленном маршруте, можно распечатать таблицу маршрутов командой *route* с аргументом *print* (добавленный маршрут выделен полужирным шрифтом):

```
C:\>route print
=====
Список интерфейсов
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x3 ...00 d0 b7 b1 27 7d ..... Intel(R) PRO/100+ LAN Adapter
=====
Активные маршруты:
Сетевой адрес      Маска сети        Адрес шлюза        Интерфейс          Метрика
0.0.0.0            0.0.0.0           192.168.118.1     192.168.118.21    1
127.0.0.0          255.0.0.0         127.0.0.1         127.0.0.1         1
169.254.0.0      255.255.0.0     192.168.118.21  192.168.118.21  1
192.168.118.0     255.255.255.0    192.168.118.21   192.168.118.21   1
192.168.118.21    255.255.255.255  127.0.0.1        127.0.0.1        1
192.168.118.255  255.255.255.255  192.168.118.21   192.168.118.21   1
224.0.0.0         224.0.0.0        192.168.118.21   192.168.118.21   1
255.255.255.255  255.255.255.255  192.168.118.21   192.168.118.21   1
Основной шлюз:    192.168.118.1
=====
Постоянные маршруты:
Отсутствует
```

Чтобы удалить маршрут, следует выполнить команду:

**route delete 169.254.0.0**

Впрочем, маршрут исчезнет после перезагрузки компьютера.

Если в команду добавления маршрута добавить ключ *-p*, то маршрут станет постоянным и не будет сбрасываться после выключения анализатора или компьютера.

Приведённое выше описание команд не претендует на полноту, оно содержит лишь необходимый минимум. При желании узнать больше об управлении сетевыми параметрами компьютера, можно воспользоваться справочной системой *Windows*® или прочитать в соответствующей литературе.

## Приложение Г (справочное) Программный интерфейс управления

Для внешнего управления анализатором и функциями ПО *Graphit* предусмотрен программный интерфейс, основанный на текстовой системе команд. Синтаксис и структура команд, форматы передаваемых данных реализованы в соответствии со стандартом *SCPI* 1999 (являющегося дополнением спецификации *IEEE488.2*).

**i** Полный список команд и базовая информация по использованию *SCPI* представлены в документе *SCPI\_CK4M\_ru.pdf*, расположенном в папке *SCPI\_CK4M* директории установки (ярлык для прямого доступа находится в меню «Пуск»: «Все программы > Micran Graphit CK4M 2.6 > Руководство и примеры программирования *SCPI*»).

Взаимодействие управляющего ПО (программа-клиент) и *Graphit* может осуществляться с помощью существующих готовых программных решений, например, библиотек *VISA* различных реализаций (*MiVISA* производства «Микран», *AgVISA*, *NI-VISA* и другие). Запуск ПО *Graphit* и дальнейшее подключение к прибору могут быть произведены двумя способами - непосредственно через библиотеку *MiVISA*, либо с использованием утилиты *Micran Instrument Connector*.

Библиотека *MiVISA* позволяет взаимодействовать с ПО *Graphit* и измерительным прибором напрямую только в том случае, если управляющее ПО находится на этом же ПК. Зачастую это упрощает процесс инициализации ПО и подключения к прибору – для этого в программе-клиенте необходимо использовать библиотеку *MiVISA32.dll* (либо *MiVISA64.dll*, если приложение 64-х разрядное) и адрес подключения в формате:

$$TCPIP::\langle \text{адрес} \rangle::\langle \text{порт} \rangle::SOCKET::SA,$$

где

$\langle \text{адрес} \rangle$  – IP-адрес или сетевое имя прибора;

$\langle \text{порт} \rangle$  – номер порта для подключения (обычно 8888);

*SA* – суффикс, определяющий режима анализа спектра для приборов CK4M, *NFSA* – режим измерения коэффициента шума.

Для подключения через утилиту *Micran Instrument Connector* необходимо:

а) Запустить данную утилиту из меню «Пуск»: «Все программы > Micran Graphit CK4M 2.6 > Micran Instrument Connector».

б) В появившемся окне (рисунок Г.1) в поле «Адрес прибора» указать IP-адрес или сетевое имя прибора; при нажатии на кнопку  можно выбрать при-

бор из открывшегося окна поиска или списка «Избранное».

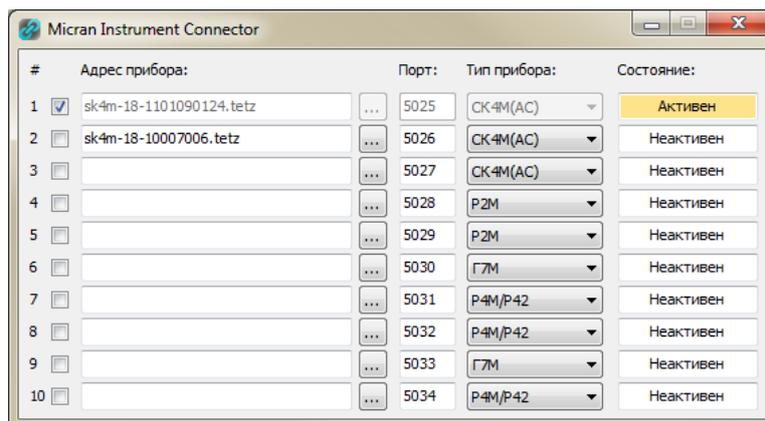


Рисунок Г.1 – Утилита *Micran Instrument Connector*

в) Задать порт подключения (по умолчанию 5025) в соответствующем поле, для любого последующего прибора необходимо использовать другое значение, например, увеличенное на единицу.

г) В выпадающем списке «Тип прибора» выбрать «СК4М (АС)» или «СК4М (КШ)».

д) Установить флажок слева от строки с адресом; в случае, если указанный прибор находится в сети и доступен, в поле «Состояние» отобразится сообщение «Активен» на жёлтом фоне. При невозможности подключения к прибору, либо другой ошибке появится соответствующая запись.

е) Запустить программу-клиента и установить подключение к прибору при помощи функции *viOpen* библиотеки *VISA*, используя *IP*-адрес или сетевое имя ПК, на котором запущена утилита *MIC*, и заданный в программе для прибора номер порта:

$$TCPIP::\langle \text{адрес\_ПК} \rangle :: \langle \text{порт} \rangle :: SOCKET$$

Если программа-клиент и утилита *MIC* расположены на одном и том же ПК, то в качестве адреса подключения в функции *viOpen* необходимо указать *IP*-адрес данного компьютера. В результате установки соединения должно открыться окно ПО *Graphit* и осуществиться подключение к выбранному прибору. Минимальный интервал времени подключения (таймаут) составляет 5-10 секунд в зависимости от производительности ПК.

Примеры кода программ управления на языках *C++/C#/Delphi* и среде *LabVIEW®*, дополнительные файлы библиотек находятся в папке *SCPI\_SK4M* директории установки.

## Приложение Д (справочное) Краткая теория по измерению коэффициента шума

Одним из основных требований, предъявляемых к приёмным устройствам аппаратуры связи и навигации, является способность приёма слабых сигналов.

Причиной измерения шумовых свойств является стремление к минимизации шумов приёмных систем. Одним из решений проблемы повышения чувствительности является увеличение мощности входного сигнала. Это возможно либо при увеличении мощности передающей станции или при увеличении мощности, выделяемой приёмной антенной, которое в общем случае возможно при увеличении её апертуры, что, в конечном счёте, имеет ограничения с экономической точки зрения или с точки зрения обоснованности технического решения. Другим, более приемлемым, вариантом является минимизация шума элементов (блоков) приёмных систем. К факторам, которые ограничивают их чувствительность, относятся собственные шумы. Для нормирования уровня собственных шумов приёмных устройств и отдельных узлов и блоков применяется понятие КШ.

КШ ( $F$ ) приёмного устройства или любого четырёхполюсника определяется по формуле:

$$F = \frac{S_i / N_i}{S_o / N_o} = \frac{N_a + G \cdot N_i}{G \cdot N_i}, \quad (\text{Д.1})$$

где  $S_i / N_i$  – отношение сигнал / шум на входе ИУ;

$S_o / N_o$  – отношение сигнал / шум на выходе;

$G$  – согласованный КП исследуемого устройства;

$N_a$  – шум, вносимый исследуемым устройством.

Таким образом, КШ характеризует ухудшение отношения сигнал / шум при прохождении через ИУ (рисунок Д.1).

КШ в децибелах ( $NF$ ) рассчитывается по формуле:

$$NF = 10 \cdot \lg(F) \quad (\text{Д.2})$$

КШ не зависит от уровня входного сигнала, а непосредственно является характеристикой исследуемого устройства.

Идеальный усилитель – это устройство, которое усиливает шум совместно с сигналом и сохраняет при этом отношение сигнал / шум на входе и выходе одинаковым. Реальный усилитель вносит шум, вызываемый отдельными его компонентами, что приводит к ухудшению отношения сигнал / шум.

Теория измерения КШ применима к системам, которые, по крайней мере, имеют один вход и один выход (четырёхполюсники), и не распространяется на

двухполюсники, такие как нагрузки или генераторы. Качество генераторов характеризуется отношением уровня несущей к шуму или спектральной плотностью мощности шума (спектральной чистотой). Смесители, являющиеся шестиполюсниками, можно рассматривать и как четырёхполюсники с подключённым внутренним или внешним гетеродином.

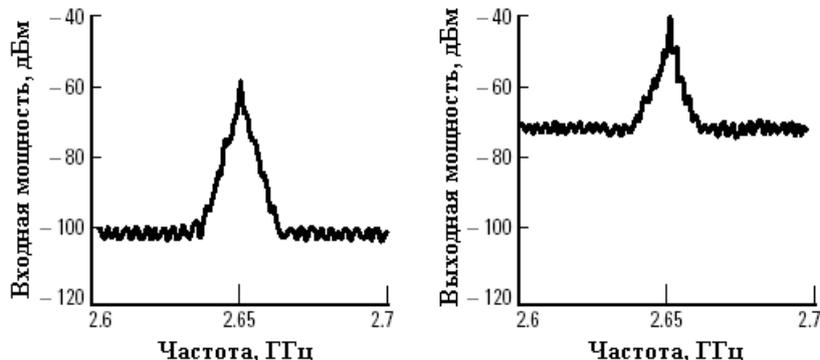


Рисунок Д.1 – Пример, иллюстрирующий ухудшение отношения сигнал / шум в результате добавления собственного шума приёмно-усилительного устройства

Шум, рассматриваемый в процессе измерений, представляет собой случайные флуктуации, возникающими в электрических устройствах.

Одним из разновидностей входного шума является тепловой, который возникает в проводниках благодаря хаотическому движению заряженных частиц, которое не зависит от величины протекающего постоянного тока и приложенной ЭДС.

Найквист на основе термодинамического анализа показал, что дифференциальное значение среднего квадрата действующей величины шумовой ЭДС в полосе частот  $df$  на сопротивлении  $R$  при температуре  $T$ :

$$de_n^2 = 4kTRp(f)df, \tag{Д.3}$$

$$\overline{e_n^2} = 4kT \int_{f_1}^{f_2} R(f)p(f)df, \tag{Д.4}$$

где  $p(f) = \frac{hf}{kT} \left( e^{\frac{hf}{kT}} - 1 \right)^{-1} \approx 1$

$h$  – постоянная Планка;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – абсолютная температура, К;

$R = R(f)$  – активная составляющая сопротивления, Ом;

$F$  – частота, Гц;

$f_1$  и  $f_2$  – граничные частоты анализируемого диапазона.

Для частот ниже 100 ГГц,  $T = 290$  К,  $0,992 < p(f) < 1$ :

$$\overline{e_n^2} = 4kRT(f_2 - f_1) = 4kRTB \tag{Д.5}$$

Номинальная мощность  $P_{ном}$ , Вт (или Дж/с), источника тепловых шумов на комплексно-сопряжённой нагрузке:

$$P_{ном} = \frac{\overline{e_n^2}}{4R} kTB \quad (Д.6)$$

Формула (Д.6) является фундаментальной, имеет общий характер и определяет закон передачи шумовой мощности в нагрузку при условии согласования. Из этой формулы можно сделать заключение, что номинальная шумовая мощность теплового источника:

- не зависит от величины внутреннего сопротивления источника;
- не зависит от величины протекающего постоянного тока;
- определяется лишь абсолютной температурой  $T$  и рассматриваемой полосой частот  $B$ .

(формула справедлива лишь для источников с равномерным в пределах полосы  $B$  частотным спектром и при постоянных сопротивлениях источника сигнала и нагрузки в той же полосе).

Спектр теплового шума близок к равномерному в пределах СВЧ диапазона. Дробовой шум вызывается эффектом квантования электрического тока. Существуют и другие явления, связанные с квантованием, которые производят шум подобный дробовому. К примеру, генерация и рекомбинация пары электрон/дырка или деление эмиттерного тока между базой и коллектором.

Есть много причин, вызывающих шум, в электрических цепях. Сочетание всех эффектов формирования шума часто рассматривается под общим названием – тепловой шум.

До сих пор существуют серьёзные практические трудности, связанные с попыткой положить в основу измерений непосредственно уравнение (Б.1). В частности, не так просто измерить с высокой точностью составляющую эффективной ширины полосы частот  $B$  и согласованного КП  $G$ . Одним из альтернативных методов измерений КШ, который реализован в ПО, является модуляционный метод, основанный на измерении отношения мощности шумов, соответствующих двум различным температурам источника. Принцип измерения представлен на рисунке Б.2.

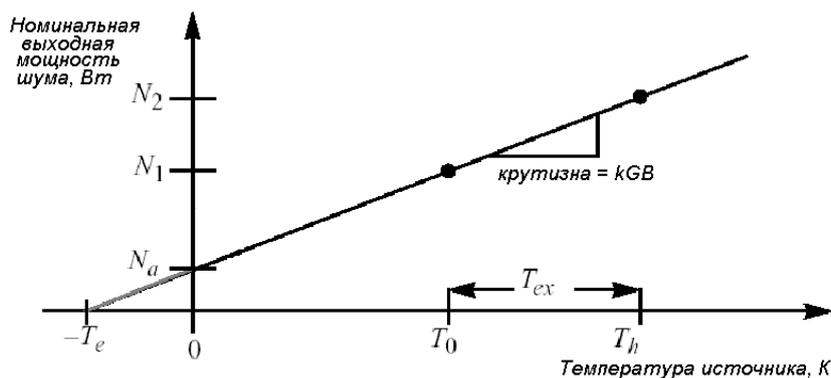


Рисунок Д.2

При этом КШ вычисляется по формуле:

$$F = 1 + \frac{N_a}{S \cdot T_o}, \quad (\text{Д.7})$$

где  $S = kGB$  – крутизна характеристики.

Источники шума (ГШ), обеспечивающие работу при двух разных температурах (включённое и выключенное состояние), должны иметь калиброванный уровень выходной мощности, характеризующийся избыточной относительной шумовой температурой (в международной литературе – *excess noise ratio* (ENR)). Значения ИОШТ (ENR), дБ, в зависимости от частоты указываются на ГШ (либо поставляются на жёстком носителе).

$$ENR_{dB} = 10 \lg \left( \frac{T_h - T_c}{T_o} \right), \quad (\text{Д.8})$$

где  $T_h$  – температура «горячего» источника, К;

$T_c$  – температура «холодного» источника, К;

$T = 290 \text{ К}$  – стандартная температура, К.

Для описания шумовых характеристик устройств иногда используют понятие «эквивалентная шумовая температура» ( $T_e$ , рисунок Д.2).  $T_e$  определяется как температура эталона (чёрного тела или согласованной нагрузки), при которой мощность его излучения в рабочем диапазоне частот равна мощности собственных шумов исследуемого устройства. КШ и эквивалентная шумовая температура связаны следующим соотношением:

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_o}. \quad (\text{Д.9})$$

Эквивалентная шумовая температура наиболее часто используется для описания систем с низким КШ, поскольку имеет в этом диапазоне большую разрешающую способность. Для сравнения в таблице Д.1 приведены низкие значения КШ и соответствующие им значения эквивалентной шумовой температуры.

Т а б л и ц а Д.1 – Сопоставление КШ и шумовой температуры

$NF$ , дБ	$F$	$T_e$ , К
0,5	1,122	35,4
0,6	1,148	43,0
0,7	1,175	50,7
0,8	1,202	58,7
0,9	1,230	66,8
1,0	1,259	75,1
1,1	1,288	83,6
1,2	1,318	92,3