

Акционерное общество
«Научно-технический центр Единой энергетической системы»
АО «НТЦ ЕЭС»

ПРОГРАММА АНАЛИЗА КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
(«WinOblast»)

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Санкт-Петербург 2019

1. *Общие положения.*

- 1.1. Программа работает в среде Windows XP/7/8. Программа запускается с помощью исполняемого модуля WinOblast.exe. Перед первым запуском должны быть загружены все необходимые библиотечные модули либо в папку программы, либо в системную папку.
- 1.2. На рис.1.1 приведено окно программы после запуска. В верхней части окна – главное меню программы.

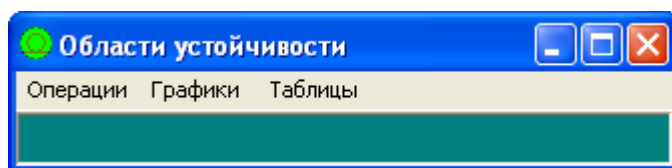


Рис.1.1.

Рабочее поле программы занимает весь экран дисплея, за исключением панели задач. Выход из программы производится нажатием с помощью «мыши» красного квадрата в правом верхнем углу рабочего поля.

- 1.3. Форматы рабочих файлов. Программа работает с файлами в четырех форматах (не считая импортируемые файлы). Файлы исходных процессов, полученные в результате импорта, могут включать несколько параллельных явлений. Эти файлы имеют расширение «.i». Файлы спектров, полученные применением преобразования Фурье к исходным процессам, имеют расширение «.s». Программа позволяет получать спектры Фурье любых процессов. Если исходный процесс является откликом энергосистемы на импульсное воздействие, то, зная структуру и настроечные коэффициенты регулятора, можно получить соответствующий спектр разомкнутой системы с расширением «.r». Файлы с расширениями «.s» и «.r» имеют одинаковый формат, но обрабатываются программой разным образом. На основании спектра замкнутой системы и известной структуры регулятора получают область d-разбиения, построенную в координатах настроечных коэффициентов. Файлы областей d-разбиения имеют расширение «.o», и могут включать несколько областей, для различных настроечных коэффициентов. Файлы, описывающие структуру регулятора, имеют расширение «.rg».

2. *Регуляторы*

- 2.1. Структура регулятора должна быть представлена в унифицированном виде, представленном на рис.2.1. На входы регулятора подаются сигналы Φ_1, Φ_2, \dots , соответствующие физическим величинам (напряжение, ток, частота, мощность и др.), в дальнейшем называемые *параметры*. Параметры поступают на входы фильтров F_1, F_2, \dots ,

заданными последовательно включенными элементарными звеньями - множителем, дифференцирующим, интегрирующим, инерционным и колебательным звеньями в нескольких модификациях или передаточной функцией.

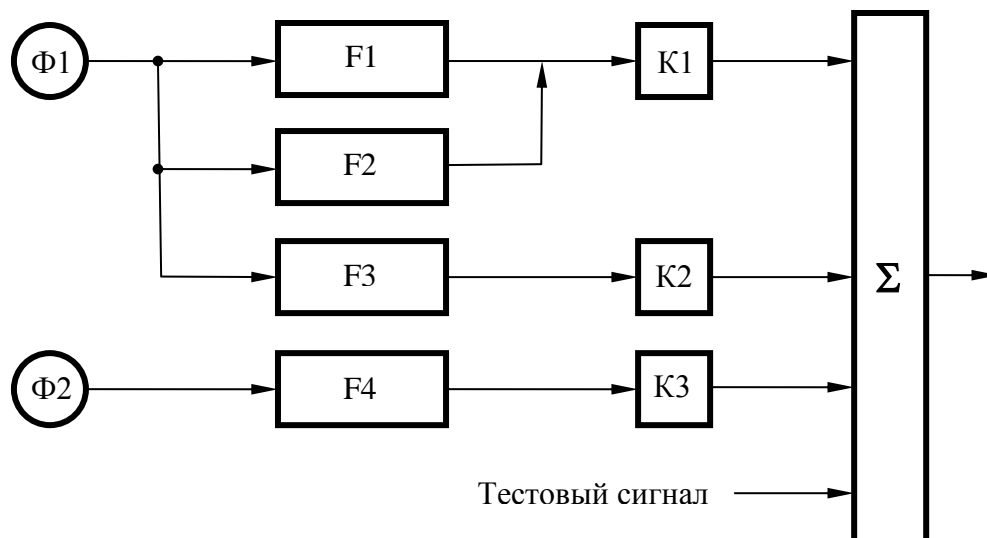


Рис.2.1.

Сигналы с выхода фильтров масштабируются с помощью коэффициентов настройки K_1, K_2, \dots , и поступают на вход сумматора, выход которого подается на исполнительное устройство. Имена параметров и коэффициентов настройки используются для идентификации последних, поэтому их написание во всех директивах программы должно быть одинаковым. Последовательность параметр – фильтр – коэффициент настройки образуют канал регулятора, или, сокращенно, *канал*. Так цепочки Φ_1 -F1-K1 и Φ_1 -F2-K1 в программе рассматриваются не как две ветви одного канала регулятора, а как два отдельных канала с общим коэффициентом настройки. Параллельно каналам регулятора на вход сумматора подается тестовый сигнал в виде короткого импульса или длительного процесса.

- 2.2. Команда формирования структуры регулятора запускается из главного меню цепочкой директив *Операции – Регулятор*. На экране дисплея появляется форма рис.2.2. Для коррекции или просмотра задания в окне *Файлы регуляторов* указатель устанавливают на корректируемый файл, для ввода нового задания – на свободную строку в конце списка. В окне *Имя регулятора(Тип)* записывают имя или тип регулятора (например, ARV5P). В необязательное окно *Комментарий* можно записать любой текст, длиной до 128 символов. Эта информация доступна только в этом окне при последующем просмотре данных регулятора. Заполняют окна в разделе *Канал регулятора*. В окне *Канал* записывается индивидуальный шифр канала. Шифр служит для идентификации канала в списке *Каналы* этой же формы и при просмотре спектров каналов. В окна *Параметр*

и *Коэфф.настройки* записываются имена параметра и коэффициента настройки, соответствующие каналу. Эти имена используются для их идентификации во всех модулях программы, и также, для обозначения соответствующих осей при выводе на графики. Окно *Размерность коэфф.настройки* необязательно к заполнению. В нем можно указать размерность коэффициента настройки при выводе на графики. В списке *Форма задания* выбирается способ задания структуры канала. Окно доступно только при вводе данных нового канала.

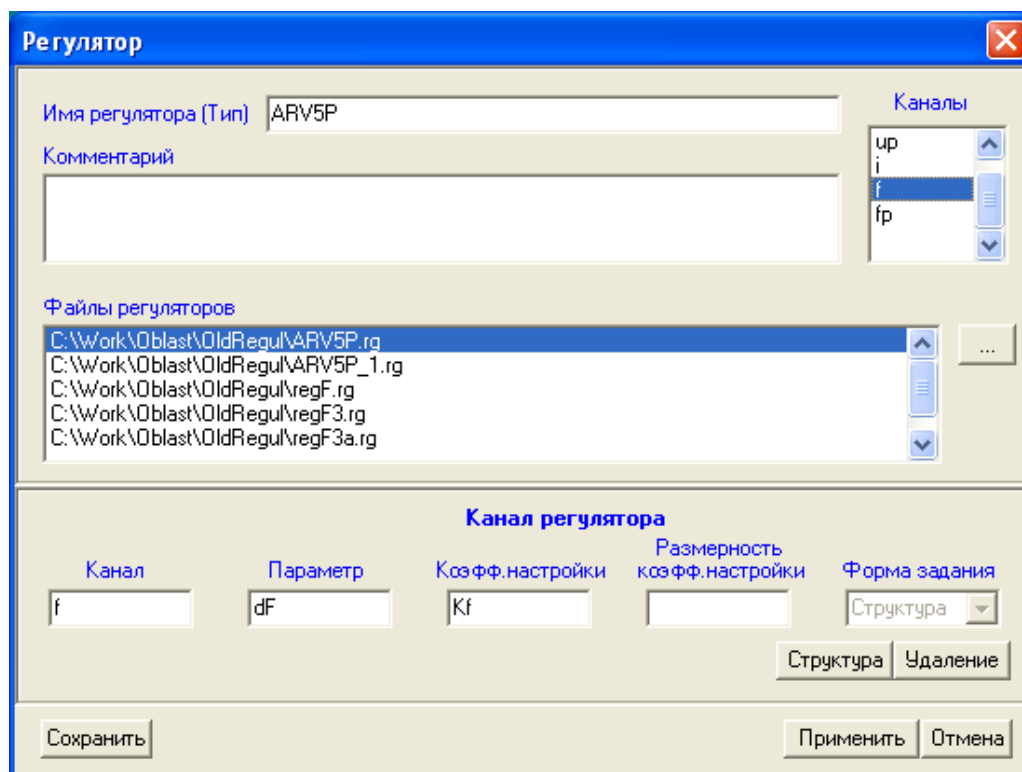


Рис.2.2.

Возможны два варианта выбора формы задания – *Структура* и *График*. Выбранной форме задания соответствует надпись на клавише формирования структуры канала.

- 2.3. При выборе формы задания в виде структуры, после нажатия клавиши *Структура* появляется форма рис.2.3. При вводе нового канала рабочее поле формы пусто, иначе на нем появляются ранее введенные последовательно соединенные звенья структуры канала. При нажатии правой клавиши «мыши» появляется контекстное меню с командами

Добавить
Удалить
Удалить все

Копировать.

При выборе команды *Добавить* появляется список добавляемых звеньев, показанный на рис.2.4а. Каждое звено есть отношение полиномов до второго порядка включительно. Множитель – константа. Структура дифференцирующего звена показана в левом прямоугольнике на рис.2.3. Правый прямоугольник того же рисунка

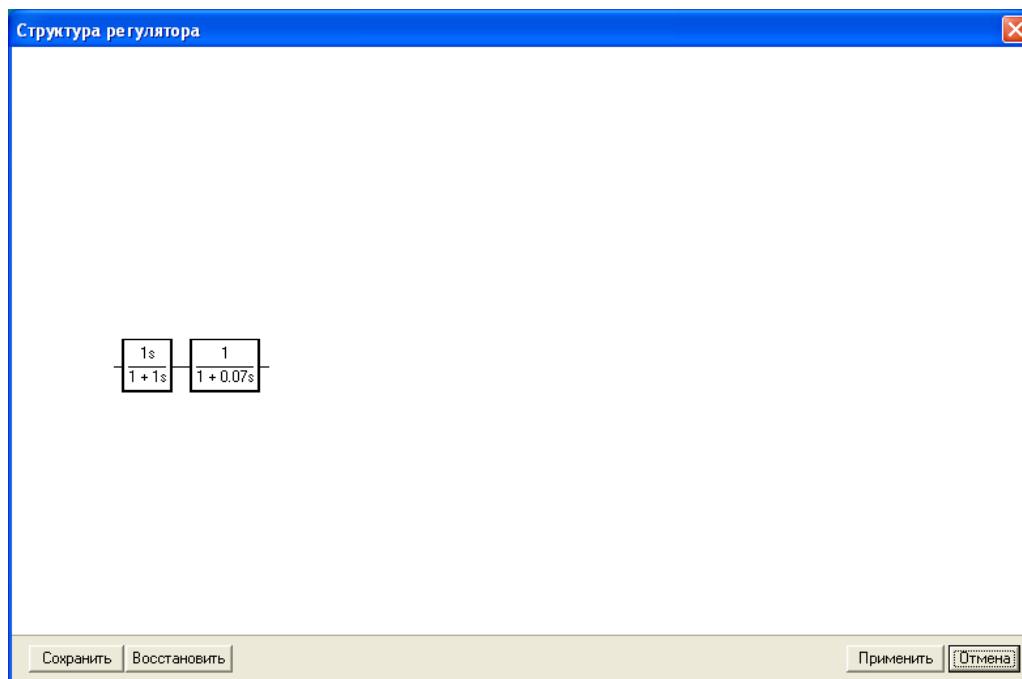
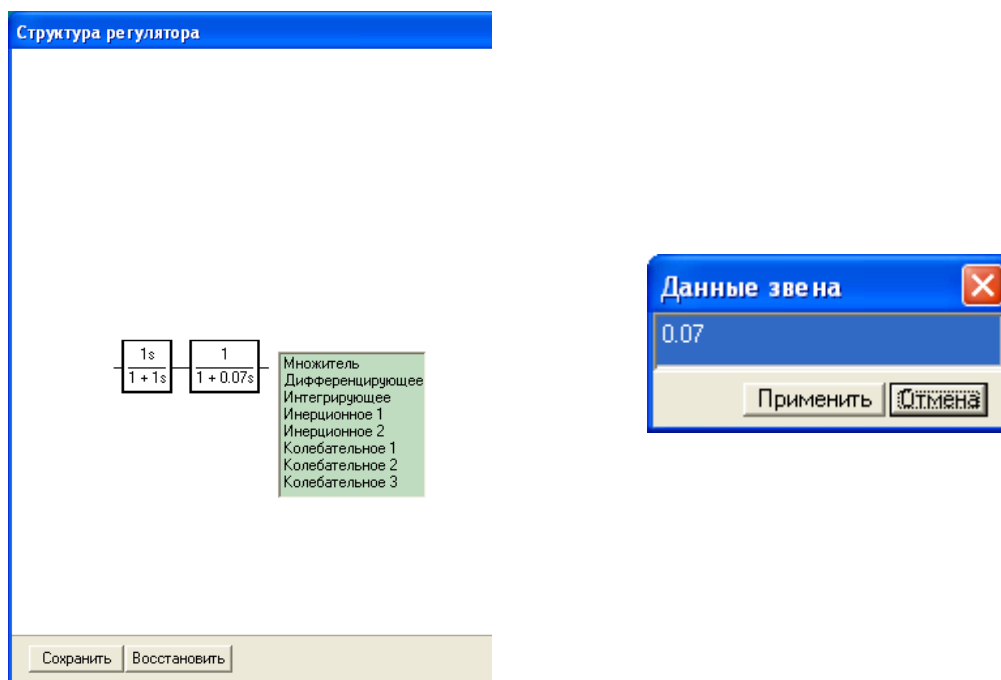


Рис.2.3.

содержит формулу инерционного звена. Номера при названии указывают на порядок многочлена в числителе выражения. Так 1 – многочлен 0-ого порядка, 2 – первого, а 3 – второго порядка. Колебательные звенья имеют в знаменателе многочлен второго порядка. Выбор звена производится из списка левой клавишей «мыши». Изменяемые коэффициенты нового звена заменены нулем. Чтобы занести новые значения коэффициентов, или скорректировать старые значения, устанавливают курсор на прямоугольник звена и нажимают правую клавишу «мыши». Появляется, приведенная на рис.2.4б, форма *Данные звена*, в которой число строк соответствует числу коэффициентов звена. Соответствие устанавливается слева направо, сверху вниз. После ввода или корректировки параметров, клавишей *Применить* их значения заносятся в формулу звена.

Клавишей *Сохранить* введенная структура сохраняется во временном файле и может быть оттуда вызвана впоследствии, например, при формировании структуры следующего канала с помощью клавиши *Восстановить*. Клавиша *Применить* завершает ввод структуры канала. Клавиша *Отменить* отменяет все внесенные в форме рис.2.3. изменения.



а)

б)

Рис.2.4.

При выборе команды *Удалить* курсор меняет форму на перекрестие. Курсор устанавливают на прямоугольник удаляемого звена и нажимают левую клавишу «мыши». Командой *Удалить все* очищают рабочее поле формы рис.2.3.

Команда *Копировать* заносит рабочее поле формы рис.2.3. в системный буфер.

При выборе формы задания в виде графика, после нажатия клавиши *График* появляется форма *Аналоговый канал регулятора*, приведенная на рис.2.5. В окне *Спектры* приведен список файлов спектров текущего каталога. Смена каталога производится с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна *Спектры*. В окне *Параметры* приведен список явлений файла, на который указывает курсор окна *Спектры*. Если, кроме того, в файле приведены и каналы регулятора, их список отображен в таблице *Регуляторы*.

Содержание окон *Имя параметра* и *Коэфф.настройки* определяется окнами *Параметры* и *Коэфф.настройки* формы на рис.2.2, и изменению не подлежат. Содержание окна *Исходное имя* повторяет имя явления списка *Параметры*, на которое указывает курсор списка. С помощью этого окна выбирают график, соответствующий спектральной характеристике канала регулятора. В окне *Значение* заносят значение коэффициента настройки, для которого был получен вводимый график. С помощью клавиши *Выполнить* заносят выбранный график в структуру канала регулятора.

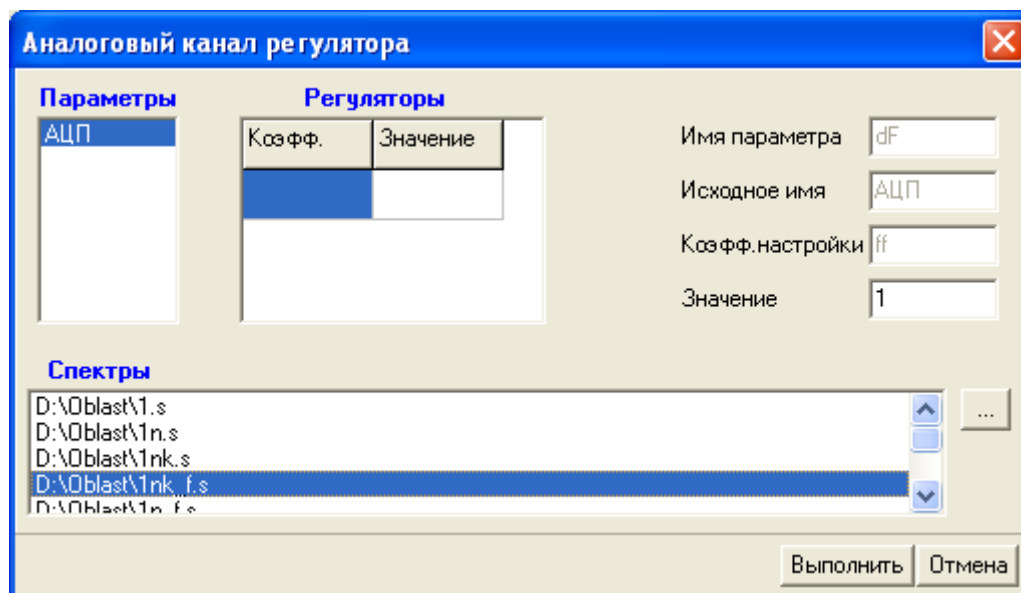


Рис.2.5.

- 2.4. С помощью клавиши *Удаление* формы на рис.2.2 можно из структуры регулятора удалить канал, на который указывает курсор списка *Каналы*. Выводится форма для подтверждения удаления рис.2.6.

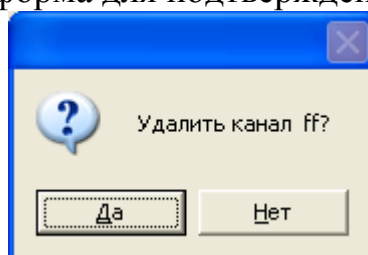


Рис.2.6.

- 2.5. Для завершения формирования структуры регулятора и записи данных в файл предназначена клавиша *Применить* формы на рис.2.2. Для ввода имени файла, в котором будет сохранена структура регулятора, выводится форма рис.2.7.

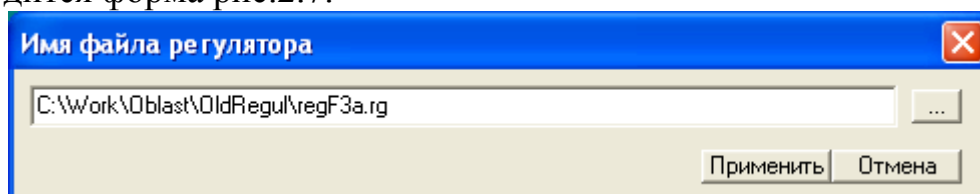


Рис.2.7.

Имя существующего файла на форме отображается чёрным цветом, имя нового файла – красным. Смена папки производится посредством клавиши поиска «...». Файл формируется после нажатия клавиши *Применить*. Если файл с указанным именем уже существует, выводится запрос рис.2.8.

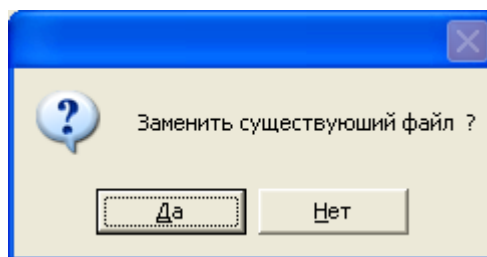


Рис.2.8.

3. *Импорт*

- 3.1. Импорт данных с внешних носителей производится в два этапа. На первом этапе осуществляется перевод с внешнего формата в формат исходных файлов программы, на втором – общие для всех преобразования: сдвиг начала данных, нормирование, исключение среднего значения, выбор регулятора и занесение значений настроечных коэффициентов. До того, как будет осуществлен импорт, следует сформировать структуру соответствующего регулятора (п.2).
- 3.2. Команда импорта запускается из главного меню программы цепочкой директив *Операция > Импорт*. Предусмотрены три варианта исходных файлов.

Текст
Eurostag
ЭДМ.

- 3.3. После выбора команды *Текст* появляется окно импорта файла в текстовом формате рис.3.1.
- Исходный текстовый файл должен быть представлен в кодировке ANSI (Windows). Информация расположена по столбцам. В первом столбце – данные времени в секундах или в формате *час:мин:сек*. Секунды могут в обоих случаях содержать дробную часть. Остальные столбцы должны представлять только цифровую информацию. Строки, не удовлетворяющие этому условию, так же, как пустые строки, или строки, содержащие не полную информацию, будут при импорте пропущены. Перед первой строкой с цифровыми данными – строка заголовка с именами вводимых явлений.
 - Данные в строке отделяются друг от друга *разделителем*. Разделителем может быть любой символ, например, пробел, символ табуляции, точка с запятой и др. Разделитель не должен в файле использоваться для других целей. Символ разделителя вводят в окно *Разделитель*. Если символ разделителя пробел, в окне высвечивается слово «пробел». Для того, чтобы ввести символ табуляции, вводят «т» или «t». В этом случае в окне высвечивается слово «таб».
 - Имя импортируемого файла выбирают из списка в окне *Импортируемый файл*, в котором высвечиваются все файлы текущей папки с заданным расширением. Требуемое расширение

задается в окне *Расширение файла*. Изменить текущую папку можно с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна *Импортируемый файл*.

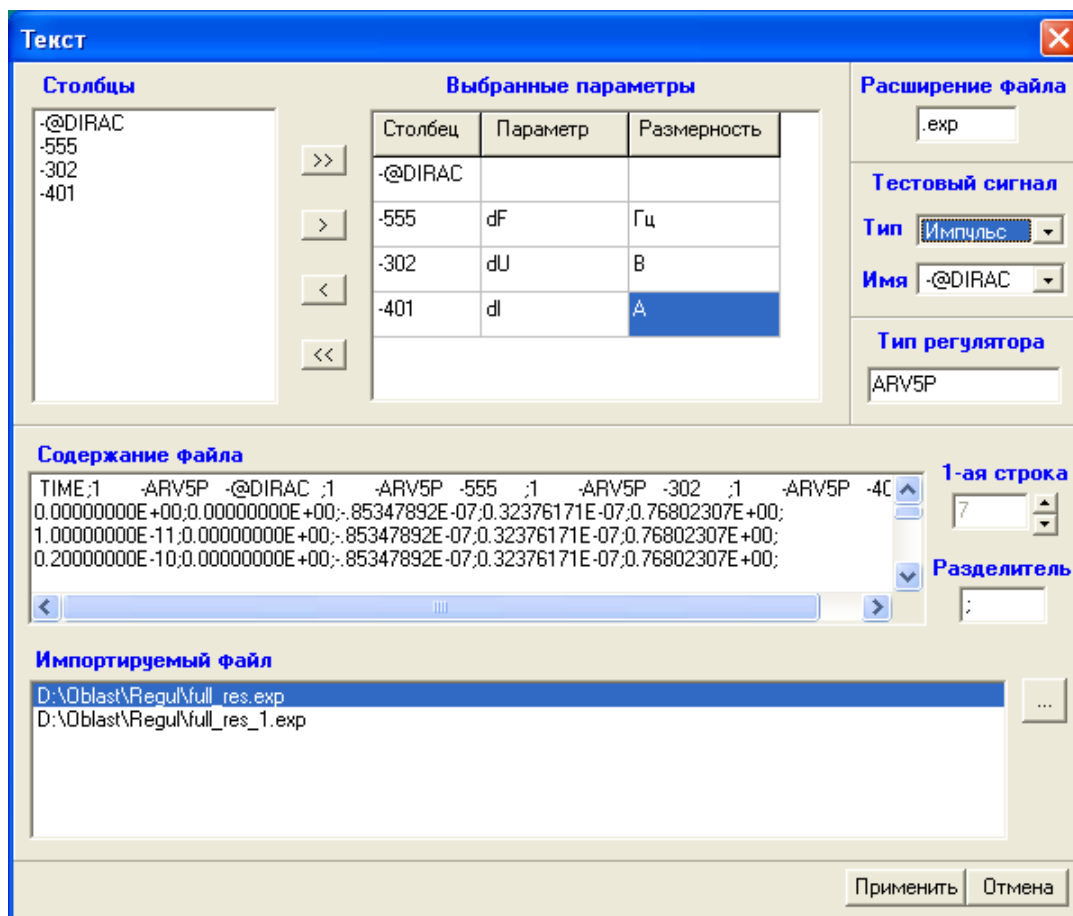


Рис.3.1.

- Несколько начальных строк выбранного файла отображаются в окне *Содержание файла*. При необходимости с помощью клавиш «вверх» или «вниз» окна *1-ая строка* текст в окне *Содержание файла* сдвигают так, чтобы строка заголовка оказалась в самом верху. По этой строке программа определяет число вводимых явлений и их имена. Результат отображается в списке окна *Столбцы*. Если разделитель отличен от пробела, а имена явлений в заголовке содержат пробелы, то в качестве имен берутся последние слова.
- С помощью клавиш >> и > заносят явления, которые надо импортировать, в таблицу *Выбранные параметры*. Клавишами << и < очищают таблицу, или из нее удаляют не нужные явления. Аналогичный результат получается с помощью двойного щелчка левой клавишей «мыши» на соответствующей строке списка или таблицы. Переносимые явления добавляются в столбец *Столбец* последней строки таблицы.

- В столбец *Параметр* заносят имя соответствующего явления согласно написанию параметра, используемому в структуре регулятора. В необязательный столбец *Размерность* можно записать размерность соответствующего параметра. При импорте последующих файлов той же структуры, столбцы *Параметр* и *Размерность* таблицы *Выбранные параметры* заполняются автоматически.
- В разделе *Тестовый сигнал* выбирают из списка тип тестового сигнала. Имеются три возможности :

Нет

Импульс

Непрерыв.

- Первый вариант выбирают тогда, когда хотят определить спектральную характеристику сигнала, возможно, никак не связанного с регулированием. В случае такого выбора окна имени тестового сигнала и типа регулятора становятся недоступными. Регулятор не задан, и расчет области устойчивости теряет смысл.
- Вариант *Импульс* выбирают, когда тестовый сигнал, подаваемый на вход сумматора регулятора (рис.2.1) имеет вид короткого импульса. Если тестовый сигнал входит в перечень вводимых явлений файла, то его указывают в окне *Имя* раздела тестового сигнала и программа автоматически определяет его параметры (смещение начала, длительности и амплитуда). В обратном случае эти параметры вводятся на втором этапе импорта файла.
- Третий вариант выбирают тогда, когда тестовый сигнал имеет вид непрерывного, как правило, периодического процесса. В этом случае тестовый сигнал должен входить в перечень импортируемых явлений и должен быть указан в окне *Имя*.
- В окно *Тип регулятора* записывается тип, присвоенный регулятору в окне *Имя регулятора (Тип)* в форме рис.2.2.
- Клавиша *Применить* запускает процесс преобразования формата.

3.4. После выбора команды *Eurostag* появляется окно импорта файла в формате Eurostag рис.3.2.

Формат Eurostag по существу является текстовым форматом, но учет особенностей его структуры позволяет упростить формирование задания на импорт. В частности, в исходном файле содержится тестовый импульс в виде явления с именем @DIRAC и указан тип используемого регулятора.

- В окне *Импортируемый файл* – список файлов текущей папки в формате Eurostag. Изменить текущую папку можно с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна. Выбор импортируемого файла осуществляется курсором списка. Одновременно автоматически заполняется окно *Шифры*,

содержащее список явлений импортируемого файла (за исключением @DIRAC) и окно *Регулятор*, с типом регулятора.

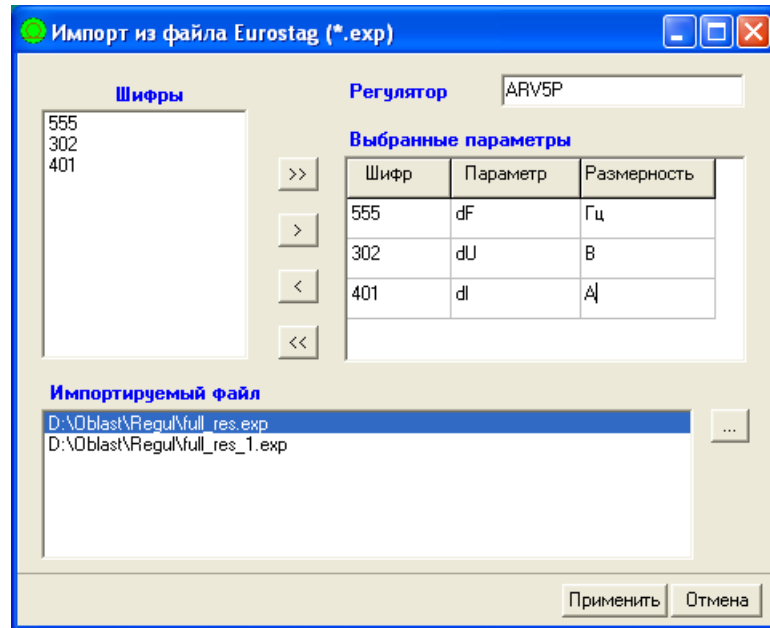


Рис.3.2.

- С помощью клавиш >> и > заносят явления, которые надо импортировать, в таблицу *Выбранные параметры*. Клавишами << и < очищают таблицу, или из нее удаляют не нужные явления. Аналогичный результат получается с помощью двойного щелчка левой клавишей «мыши» на соответствующей строке списка или таблицы. Переносимые явления добавляются в столбец *Шифр* последней строки таблицы.
 - В столбец *Параметр* таблицы *Выбранные параметры* заносят имя соответствующего явления согласно написанию параметра, используемому в структуре регулятора. В необязательный столбец *Размерность* можно записать размерность соответствующего параметра. При импорте последующих файлов той же структуры, столбцы *Параметр* и *Размерность* таблицы заполняются автоматически.
 - Клавиша *Применить* запускает процесс преобразования формата.
- 3.5. После выбора команды ЭДМ появляется окно импорта файла в формате ЭДМ (файлы с расширением *.edm и *.a32), приведенное на рис.3.3. Файлы этого формата формирует программа осциллографирования электродинамической модели НИИПТ, так что они содержат информацию, полученную не в результате расчета, а в результате физического эксперимента. Информация в файлах содержится в двоичном виде.
- В окне *Импортируемый файл* – список файлов текущей папки в формате ЭДМ. Изменить текущую папку можно с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна. Выбор

импортируемого файла осуществляется курсором списка. Одновременно автоматически заполняется окно *Параметры*, содержащее список явлений импортируемого файла.

- С помощью клавиш >> и > заносят явления, которые надо импортировать, в таблицу *Выбранные параметры*. Клавишами << и < очищают таблицу, или из нее удаляют не нужные явления. Аналогичный результат получается с помощью двойного щелчка левой клавишей «мыши» на соответствующей строке списка или таблицы. Переносимые явления добавляются в столбец *Параметр* последней строки таблицы. Имя параметра не может быть изменено.

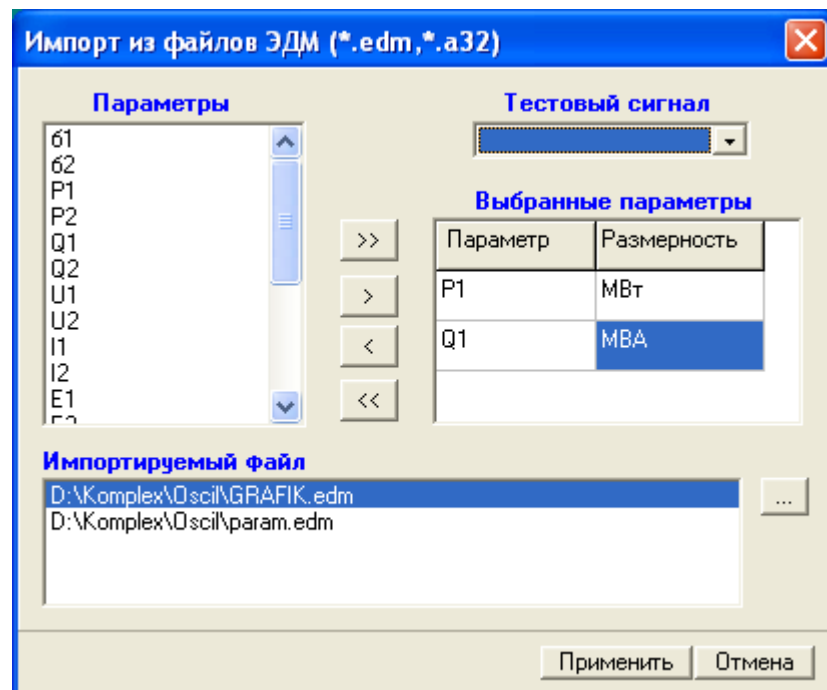


Рис.3.3.

- В необязательный столбец *Размерность* можно записать размерность соответствующего параметра. При импорте последующих файлов той же структуры, столбец *Размерность* таблицы заполняется автоматически.
 - При наличии тестового сигнала, его имя приводят в окне *Тестовый сигнал*. Соответствующий параметр выбирают из списка, открывающегося кнопкой с правой стороны окна. Сам тестовый сигнал должен соответствовать непрерывному процессу. Запись, соответствующая тестовому сигналу, располагается в таблице окна *Выбранные параметры* в первой строке.
 - Клавиша *Применить* запускает процесс преобразования формата.
- 3.6. На втором этапе процедуры импорта выводится общая для всех форматов форма, приведенная на рис.3.4. В заголовке формы – имя вводимого файла. С помощью формы уточняются параметры тестового

импульса и каналов регулятора. Возможные нулевые значения в конце сигнала удаляются, укорачивая файл.

- В окне *Ген.№* - номер исследуемого генератора. По умолчанию – 1;
- В окне *Затухание α* вычисленное значение коэффициента затухания вводимого процесса;
- В окне *Шаг (мс)* – шаг дискретизации по времени вводимого сигнала в миллисекундах. В случае переменного шага выводится 0. Шаг можно изменить. В частности, сигнал с переменным шагом может быть преобразован в сигнал с постоянным шагом заданного размера.



Рис.3.4.

- Флажок *Центрировать процесс* предназначен для удаления постоянного смещения из данных процесса. При включенном флажке, все ординаты процесса уменьшаются на среднее от последних десяти значений;
- В окнах *Смещение начала*, *Длительность* и *Кратность* (Амплитуда) можно задать или откорректировать параметры тестового импульса. Если тестовый импульс задан как явление, например, @DIRAC в программе Eurostag, окна заполняются по результатам анализа этого явления, иначе используются значения предшествующего импорта. Если тестового импульса нет, или задан непрерывный тестовый сигнал, эти параметры обнуляются и соответствующие окна недоступны;
- В окне *Тип* указан тип регулятора. Изменить тип регулятора или папку соответствующего файла регулятора можно с помощью клавиши поиска, расположенной справа от окна;
- Таблица *Каналы* заполняется автоматически по данным файла регулятора. Ввести надо только значения столбца *Коэффициент*,

содержащего значения коэффициентов настройки отдельных каналов.

- Если вводятся данные без тестового импульса, окно *Тип* и таблица *Каналы* пусты.
- Клавиша *Применить* завершает процесс импорта формата.

4. Расчет

- 4.1. Директива расчет производит расчет спектральных характеристик (спектров) и областей d - разбиения. По спектру и известной структуре регулятора можно определить спектр разомкнутой системы (системы без регулятора), и по нему, в свою очередь, спектр с измененными коэффициентами настройки, а то и, с другим регулятором. По новому спектру, можно с помощью обратного преобразования получить импульсный отклик фильтра, не прибегая к расчету переходного процесса.
- 4.2. Расчет спектральной характеристики (спектра) вызывается цепочкой директив *Операции – Расчет – Спектр*. На экране появляется форма рис.4.1. Способ расчета спектра зависит от шага квантования по времени. Для сигналов с постоянным шагом опроса используется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ), для переменного шага – прямой расчет по формуле.

Расчет спектральной характеристики

Общие параметры		Параметры тестового сигнала		Каналы регулятора	
Ген.№	1	Тип тест. сигнала	1	Шифр	Величина
Время сигнала T=	31.812 с	Смещение начала	0 сек	dU	50
Макс. частота Fmax=	25 Гц	Длительность	0.001 сек	dU'	0.6
Шаг по частоте dF=	0.0314 Гц	Кратность	100 о.е.	dl	1.25

Файлы переходных процессов

- D:\Oblast\full_res.i
- D:\Oblast\full_res_20.i
- D:\Oblast\full_res_20b-55-17.i
- D:\Oblast\full_res_20b-7-1.i
- D:\Oblast\full_res_20b-VSE0.i

Применить Отмена

Рис.4.1.

- В окне *Файлы переходных процессов* список файлов текущей папки. Смена папки осуществляется с помощью клавиши поиска «...» справа от окна. Выбор файла производится курсором списка;
- В окне *Время сигнала T* указана продолжительность записи переходного процесса в секундах. Время можно откорректировать.

При корректировке меняется шаг по частоте dF . При вводе процессов с непрерывным тестовым сигналом время сигнала равно периоду тестового сигнала и окно недоступно.

- В окне *Макс.частота F_{max}* приведена наибольшая частота вычисляемой спектральной характеристики. Для сигналов с постоянным шагом дискретизации по времени она вычисляется и окно недоступно. Для сигналов с переменным шагом максимальную частоту можно задать произвольно. По умолчанию используется значение предыдущего импорта.
- Окно *Шаг по частоте dF* содержит вычисляемое значение шага дискретизации спектральной характеристики по времени. Эта величина непосредственно связана с временем сигнала T . Окно недоступно.
- Разделы *Параметры тестового сигнала* и *Каналы регулятора* информируют об используемом тестовом сигнале и о коэффициентах настройки отдельных каналов. В окне *Тип тест.сигнала* тип сигнала задан в цифровом виде. 0 – нет сигнала, 1 – импульс, 2 – непрерывный сигнал.
- После нажатия клавиши *Применить* выводится окно для ввода имени файла спектра в форме, аналогичной рис.2.7. Файлы спектров имеют расширение “.s”. Если файл уже существует, то он отображается черным цветом и после нажатия клавиши *Применить* выводится запрос рис.2.8. Производится расчет спектра. На время расчета курсор «мыши» принимает вид песочных часов.

4.3. Расчет области d-разбиения вызывается цепочкой директив *Операции – Расчет – Область*. На экране появляется форма рис.4.2.

В окне *Спектральные характеристики* – список спектров текущей папки спектров. Смена папки производится с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна. Курсором списка выбирают файл спектра, по которому будет производиться расчет.

- В окне *Регуляторы* – список файлов регуляторов, расположенных в текущей папке регуляторов. Смена папки производится с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна. Курсор списка файлов регуляторов расположен на файле, тип регулятора которого совпадает с типом регулятора выбранного файла спектра.
- В окне *Каналы регулятора* – таблица параметров регулятора выбранного спектра. С помощью этой таблицы выбирают пары коэффициентов настройки для расчета. Выбранные коэффициенты настройки заносят в окна *Общий* и *Рабочие* раздела *Каналы d-разбтения*. Окна *Общий* и *Рабочие* не могут содержать одинаковые настроечные коэффициенты. Заполнение окон начинают с окна *Общий*. Можно использовать клавиши “>”, “>>”, “<” и “<<” или двойной щелчок левой клавиши «мыши» на выбранном канале регулятора. После первого двойного щелчка заполняется окно

Общий. При последующих щелчках коэффициенты заносятся в список окна *Рабочие*. Для замены коэффициента настройки в окне *Общий* используют клавишу “>”, расположенную слева от окна. При этом заносимый коэффициент не должен входить в список *Рабочие*.

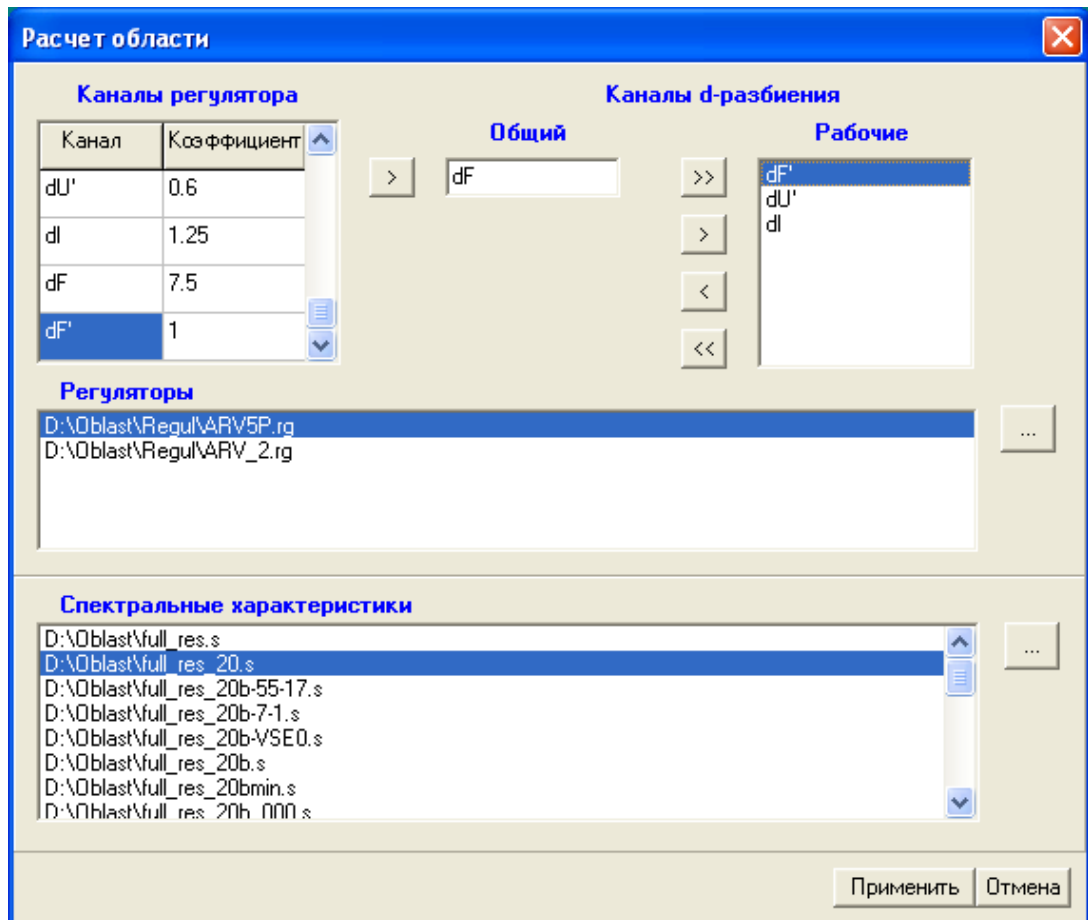


Рис.4.2.

- После нажатия клавиши *Применить* выводится окно для ввода имени файла области d-разбиения в форме, аналогичной рис.2.7. Файлы спектров имеют расширение “.o”. Если файл уже существует, то он отображается черным цветом и после нажатия клавиши *Применить* выводится запрос рис.2.8. Производится расчет области d - разбиения.
- 4.4. Расчет импульсного отклика по спектральной характеристике производится с помощью обратного БПФ. Для спектров, полученных по формулам дискретного преобразования Фурье, это приводит к полному восстановлению исходного сигнала. Отличительная особенность таких спектров в том, что для частоты=Fmax значение спектра вещественно. Если спектр получен с помощью интегрального преобразования Фурье или был пересчитан для других значений настроечных коэффициентов, это условие нарушается. На рис.4.3. приведен пример амплитудных и фазовых характеристик, вычисленных для процесса с переменным шагом квантования по времени и того же

процесса с шагом квантования = 20мс.

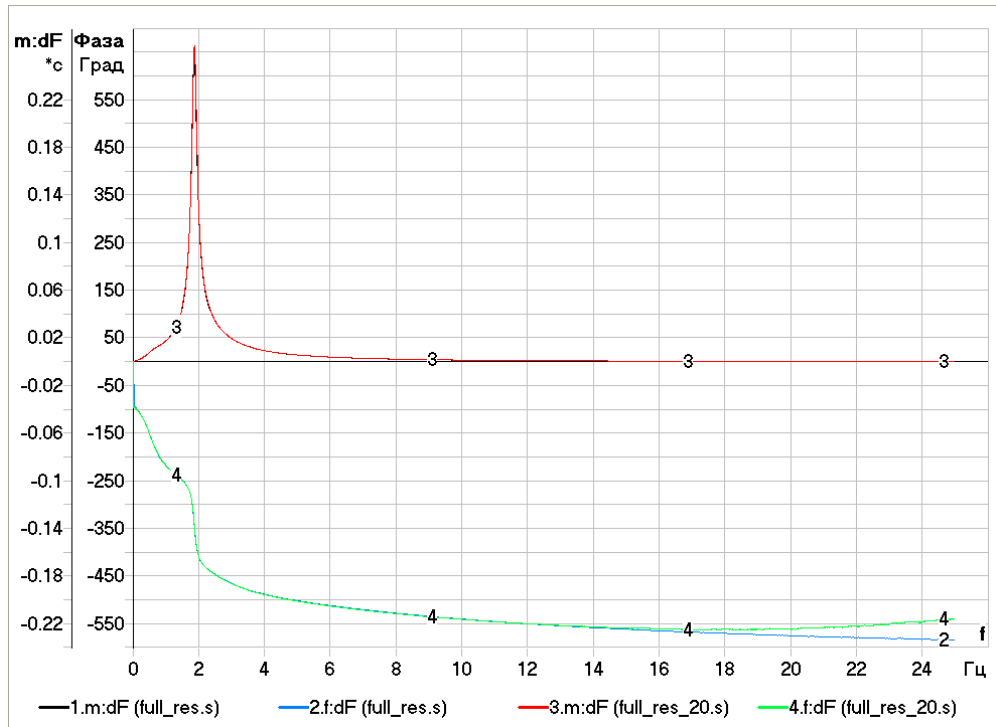


Рис.4.3.

- Расчет импульсного отклика вызывается цепочкой директив *Операции – Расчет – Импульсный отклик*. На экране появляется форма рис.4.4.

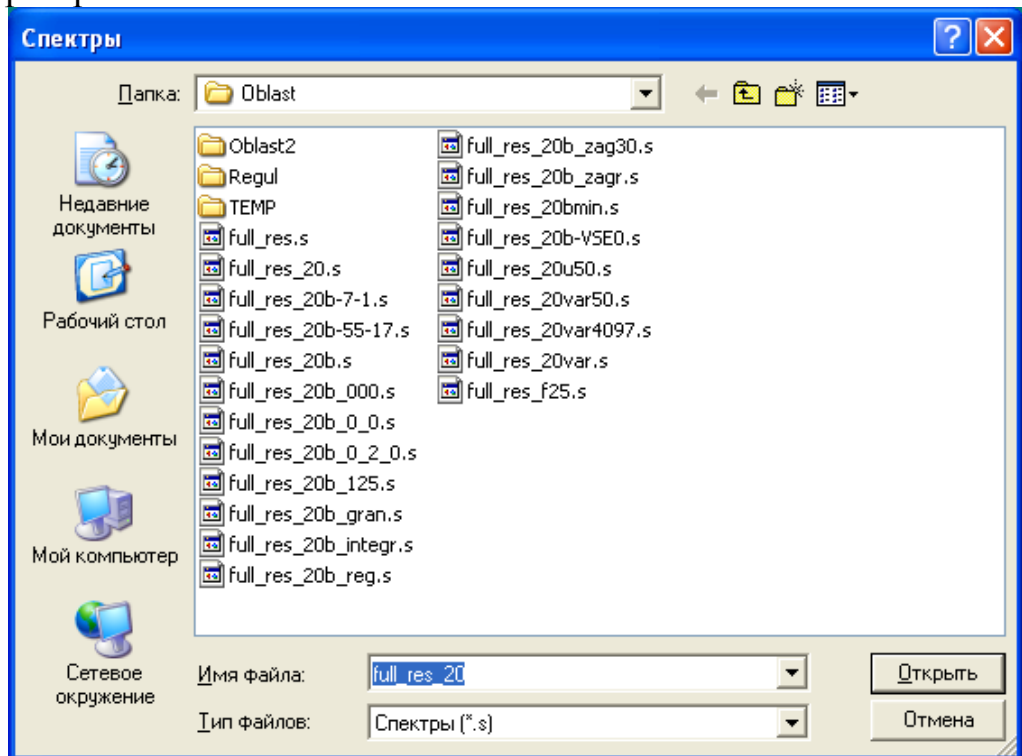


Рис.4.4.

- Это стандартная форма поиска файла. Указывают имя файла спектральной характеристики, по которой производить расчет импульсного отклика. Нажимают клавишу *Открыть*.

- После нажатия клавиши *Открыть* выводится окно для ввода имени файла импульсного отклика в форме, аналогичной рис.2.7. Файл имеет расширение “.i”. Если файл уже существует, то он отображается черным цветом и после нажатия клавиши *Применить* выводится запрос рис.2.8. Производится расчет Импульсного отклика.
- 4.5. Для получения спектра системы с измененными настроечными коэффициентами предварительно определяют спектр разомкнутой системы. По этому спектру и новым параметрам регулятора вычисляют новый спектр замкнутой системы. Обе операции производит директива *Разомкнутая/Замкнутая система*. Файл спектра разомкнутой системы имеет тот же формат, что исходный спектр замкнутой системы, но расширение “.r”. Директива по расширению определяет направление преобразования. Форма директивы *Разомкнутая/Замкнутая система* приведена на рис.4.5.

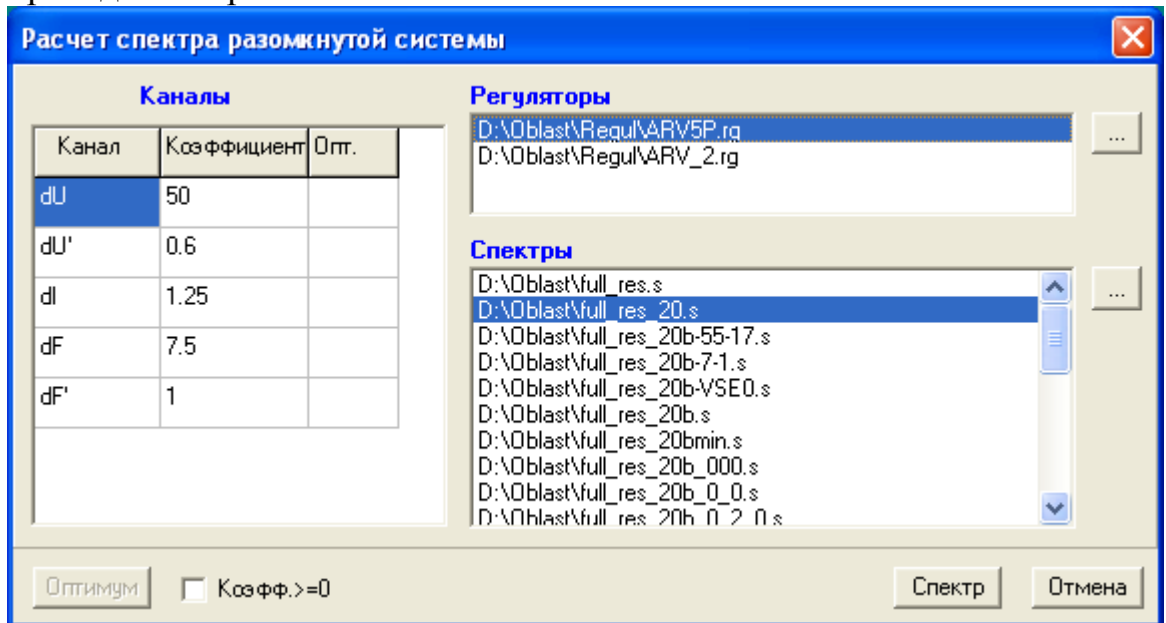


Рис.4.5.

- Выбор преобразуемого файла спектра производится из списка в окне *Спектры*. В списке отображены файлы замкнутой и разомкнутой системы текущей папки спектров. Смена папки осуществляется клавишей поиска «...», расположенной справа от окна. От положения курсора списка зависит заголовок формы, отображающий направление производимых преобразований. Если курсор указывает на файл с расширением “.s”, заголовок – «Расчет спектра разомкнутой системы», если на файл с расширением “.r”, то – «Расчет спектра замкнутой системы».
- В окне *Регуляторы* – список файлов регуляторов, расположенных в текущей папке регуляторов. Смена папки производится с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна. Если курсор окна *Спектры* расположен на файле с расширением “.s”, то курсор списка файлов регуляторов указывает на файл, тип регулятора

которого тот же, что у выбранного файла спектра. Если выбран файл спектра с расширением “.r”, то положение курсора в окне *Регуляторы* любое.

- В окне *Каналы* таблица каналов выбранного регулятора и соответствующие настроечные коэффициенты. При расчете спектра разомкнутой системы таблица недоступна и отображает каналы регулятора выбранного файла спектра. При расчете спектра замкнутой системы таблица отображает структуру выбранного регулятора. Коэффициенты настройки можно задавать произвольно.
- Для оптимального выбора коэффициентов настройки при расчете спектра замкнутой системы, можно использовать кнопку *Оптимум*. Предварительно надо в таблице *Каналы* задать начальные значения коэффициентов настройки и указать каналы, по которым будет осуществляться поиск оптимума в столбце *Опт*. Поиск оптимума производится методом покоординатного спуска по двум возможным критериям качества: минимаксному или интегральному. Выбор критерия производится в форме рис.4.6.

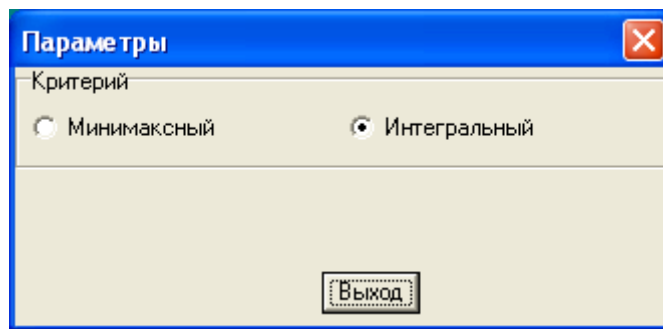


Рис.4.6.

Форма вызывается щелчком правой клавиши «мыши» на таблице окна *Каналы*. При выборе минимаксного критерия минимизируется максимальное значение модуля спектральной характеристики. При выборе интегрального критерия минимизируется интеграл (сумма) квадрата модуля спектра. Флажок *Коэфф.>=0* ограничивает поиск только положительными значениями настроечных коэффициентов.

- После нажатия клавиши *Спектр* выводится окно для ввода имени файла спектра в форме, аналогичной рис.2.7. Файлы спектров имеют расширение “.s” или “.r”. Если файл уже существует, то он отображается черным цветом и после нажатия клавиши *Применить* выводится запрос рис.2.8. Производится расчет спектра.

5. *Графики*

- 5.1 Процессы, спектральные характеристики процессов и каналов регулятора, и области d – разбиения можно отобразить на графиках. Масштабы по осям графиков выбираются автоматически по диапазонам изменения параметров. На одном графике можно отобразить данные только одного типа файлов. Файлы спектров

замкнутой и разомкнутой системы с расширениями “.s” и “.r” воспринимаются как один тип. На одном графике можно совместить несколько явлений одного или нескольких файлов одинакового типа. Для явлений различной физической природы выводятся отдельные оси ординат. На рис.5.1. приведен пример графика с двумя физическими явлениями.

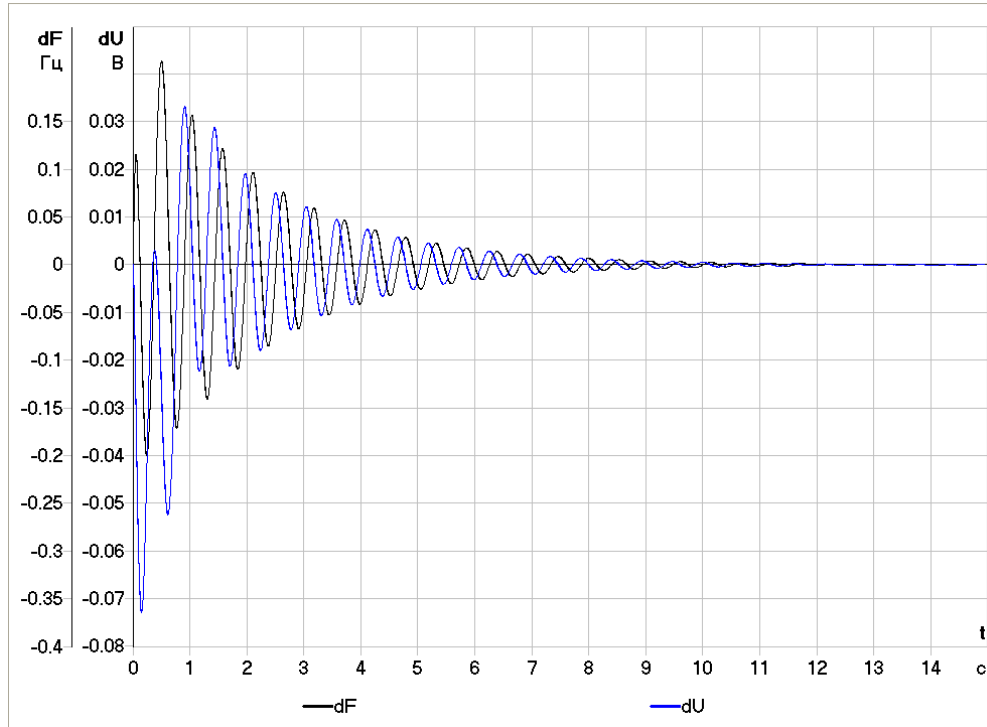


Рис.5.1.

5.2 Директива формирования графиков вызывается из главного меню. Строка меню *Графики* имеет подменю:

Исходные процессы

Спектры - *Процессы*

- *Регуляторы*

Области устойчивости

Сохраненные графики.

При выборе любой строки подменю за исключением последней на экране появится форма для ввода задания на формирование графика рис.5.2.

- В окне *Полное имя файла* – список файлов выбранного типа текущей папки. Смена папки производится с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна. Курсором списка выбирают файл, явления которого будут отображены на графике.
- В окне *Явления файла* показан список явлений выбранного шага. Для спектров явления – комплексные числа, на экране отображаются в тригонометрическом виде, отдельно модуль и фаза.

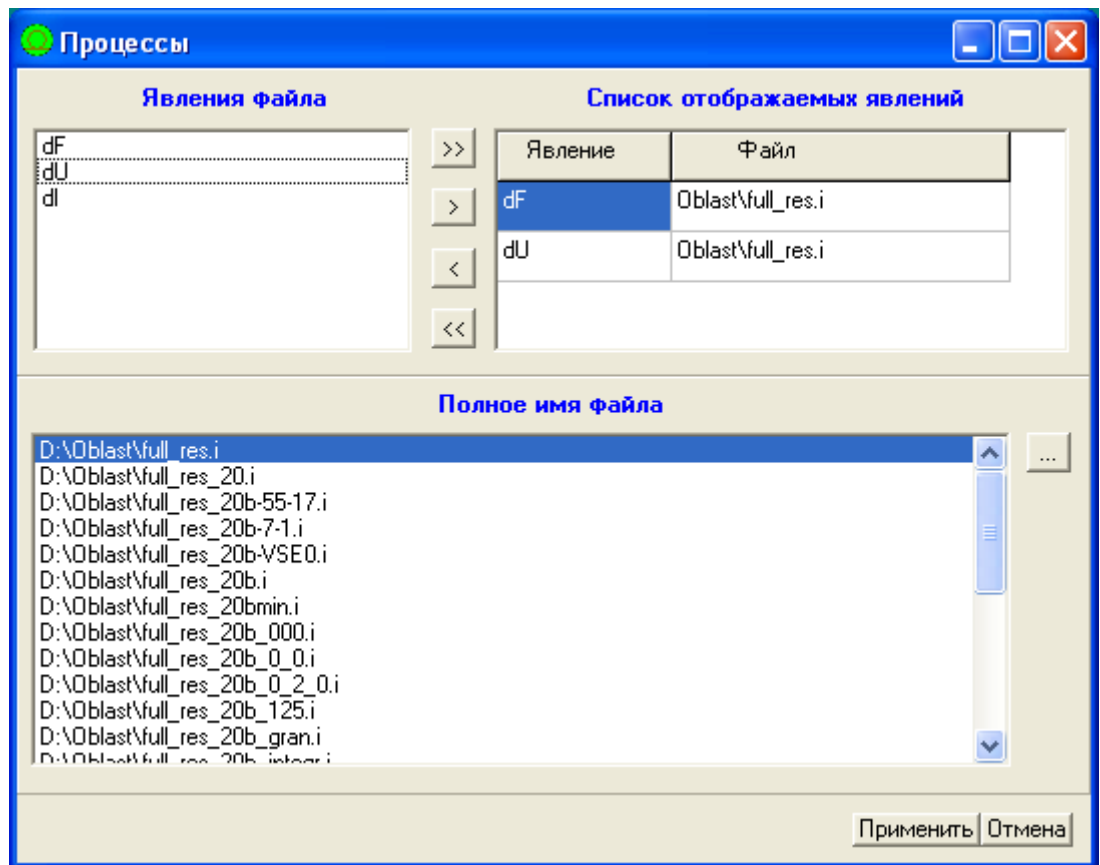


Рис.5.2.

Поэтому каждому явлению спектра соответствуют две строки списка. Для модуля к имени в начале добавляется “m:”, для фазы – “f:”. Для областей d- разбиения в список *Явления файла* заносятся коэффициенты настройки, соответствующие ординатам области. Общий коэффициент настройки (абсцисса) показан в заголовке формы. Объединять на одном графике области файлов с разными общими коэффициентами настройки нельзя.

- С помощью клавиш >> и > заносят явления, которые надо импортировать, в таблицу *Список отображаемых явлений*. Клавишами << и < очищают таблицу, или из нее удаляют не нужные явления. Аналогичный результат получается с помощью двойного щелчка левой клавишей «мыши» на соответствующей строке списка или таблицы.
- После нажатия клавиши *Применить* выводится график. Если таблица *Список отображаемых явлений* не заполнена, нажатие игнорируется. Для выхода из графика нажимают клавишу X в правом верхнем углу графика. После закрытия последнего графика автоматически открывается форма рис.5.2. Для окончания просмотра используют клавишу *Отмена*.

5.3. При просмотре графиков имеется возможность определить точные координаты интересующей точки графика. Для этого курсор «мыши» подводят к нужному месту и нажимают левую клавишу «мыши».

Появляется желтый прямоугольник с координатами точки и именем соответствующего явления.

- Координаты для исходного процесса – время и значение, для модуля спектра – частота и модуль, для фазы спектра - частота и фаза, для области – частота и коэффициенты настройки абсциссы и ординаты.
- При выводе графиков областей, для каждой кривой области, дополнительно тем же цветом выводится точка с координатами коэффициентов настройки соответствующих каналов регулятора. Координаты точки можно получить выше описанным способом. В желтом прямоугольнике выводятся значения коэффициентов настройки абсциссы и ординаты.
- Координаты точки могут не появиться по двум причинам. Число точек кривой превышает 1500 или расстояние курсора «мыши» до ближайшей точки кривой превышает 5 пикселей (большое расстояние между соседними точками кривой). В первом случае надо, используя команды *Удалить начало* и/или *Удалить конец* контекстного меню, уменьшить число выводимых точек, в другом случае – соответствующей командой того же меню перейти в режим вывода по точкам и точнее позиционировать курсор «мыши».

5.4. При нажатии правой клавиши «мыши» появляется контекстное меню с командами:

Возврат
Удалить начало
Удалить конец
Установить диапазон

Сетка
Вывод по точкам
Метки кривых
Окна *Заголовок*
 Легенда
 Легенда внизу
 Текст
 Рис.№

Изменение цветов
Ширина линии
Обозначение осей

Запись в системный буфер
*Запись в файл *.i (*.s, *.o)*
*Запись в файл *.sxr*
Печать

Луна
Критерий

- Команды *Удалить начало* и *Удалить конец* предназначены для изменения объема данных, отображаемых на графике (укорочение графика). После ввода команды, курсор «мыши» приобретает крестовидную форму. Курсор перемещают на границу удаляемого участка графика и нажимают левую клавишу «мыши». Для графиков исходных процессов и спектров, координата абсциссы перекрестия не должна отличаться от координаты абсциссы граничной точки больше чем на пять пикселей. Для графиков областей курсор должен практически находиться на граничной точке (в пределах ± 5 пикселей по каждой координате). Поскольку расстояние между соседними точками на графиках областей в районе низких частот может быть значительным, удаление удобно выполнять в режиме *Вывод по точкам*. Для графиков областей доступна дополнительно команда *Установить диапазон*. По этой команде выводится окно (рис.5.3) для ввода диапазона частот, соответствующим точкам, которые будут отображены на графике.

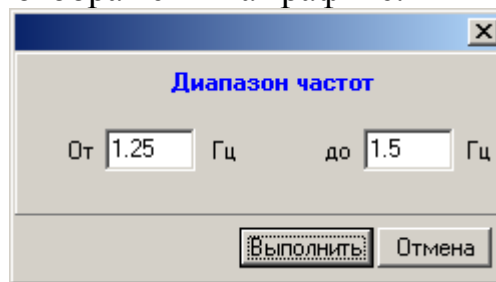


Рис.5.3

Команда *Возврат* отменяет действие команд удаления. Может быть использована повторно: при каждом срабатывании выполняется возврат на один шаг, пока не будет восстановлен исходный вид графика. В исходном состоянии команда *Возврат* недоступна.

- Команды *Сетка*, *Вывод по точкам*, *Метки кривых* и группа *Окна* управляются флажком. Флажок, будучи установлен, влияет и на формирование последующих графиков, вплоть до снятия.
- Команда *Сетка* управляет выводом разметочной сетки на график.
- Исходные данные для построения графика представлены в числовом виде с постоянным или переменным шагом дискретизации. В обычном режиме на графике отдельные точки соединены отрезками. Команда *Вывод по точкам* выделяет выводимые точки, соединяя их тонкими линиями (см.рис.5.?).
- Для различения кривых на графике при выводе на черно-белую печать, предусмотрена команда *Метки кривых*. Кривые нумеруются с единицы, номера наносятся в четырех местах графика (см.рис.4.3). Соответствующие номера добавлены также в текст *Легенды*.

- Команды *Заголовок*, *Текст* и *Рис.№* группы *Окна* предназначены для внесения в график текстов пользователя. Тексты могут состоять из нескольких строк. Текст заголовка расположен над графиком, остальные снизу. Тексты заголовка и номера рисунка выровнены по центру, окна *Текст* - слева.
- Окно *Легенда* формируется автоматически из имен явлений. Перед именем выводится отрезок, цвет которого соответствует цвету явления на графике. Если график сформирован из явлений нескольких файлов, после имени явления приведено в скобках имя файла. Положение окна легенды можно изменять. Для этого размещают курсор «мыши» на окне легенды и нажимают левую клавишу «мыши». Пока удерживают клавишу, окно можно переместить в любое место графика. Текст легенды можно изменить. Для этого размещают курсор «мыши» на окне и нажимают правую клавишу «мыши». Появляется окно редактора рис.5.4.

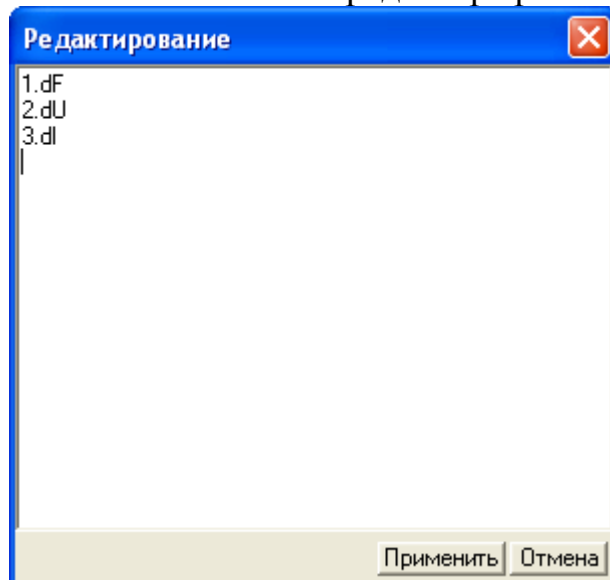


Рис.5.4.

С помощью редактора можно внести в текст легенды любые изменения, и клавишей *Применить* их закрепить.

- Команда *Легенда внизу* появляется в списке *Окна* только в случае, когда команда *Легенда* активирована. В случае ее применения легенда размещается под графиком, но выше возможных текстовых окон.

Команда *Изменение цветов* меняет по желанию пользователя цвет выводимых кривых на графике. Пример использования команды приведен на рис.5.5. На экране появляется форма *Цвета линий на графике*, содержащая образцы используемых цветов. Выбрав курсором «мыши» цвет, который следует изменить, нажимают ее левую клавишу. Появляется стандартное окно *Цвет*. Выбранный цвет заносится в форму *Цвета линий на графике* и клавишей *Выполнить* формы изменяются цвета кривых графика.

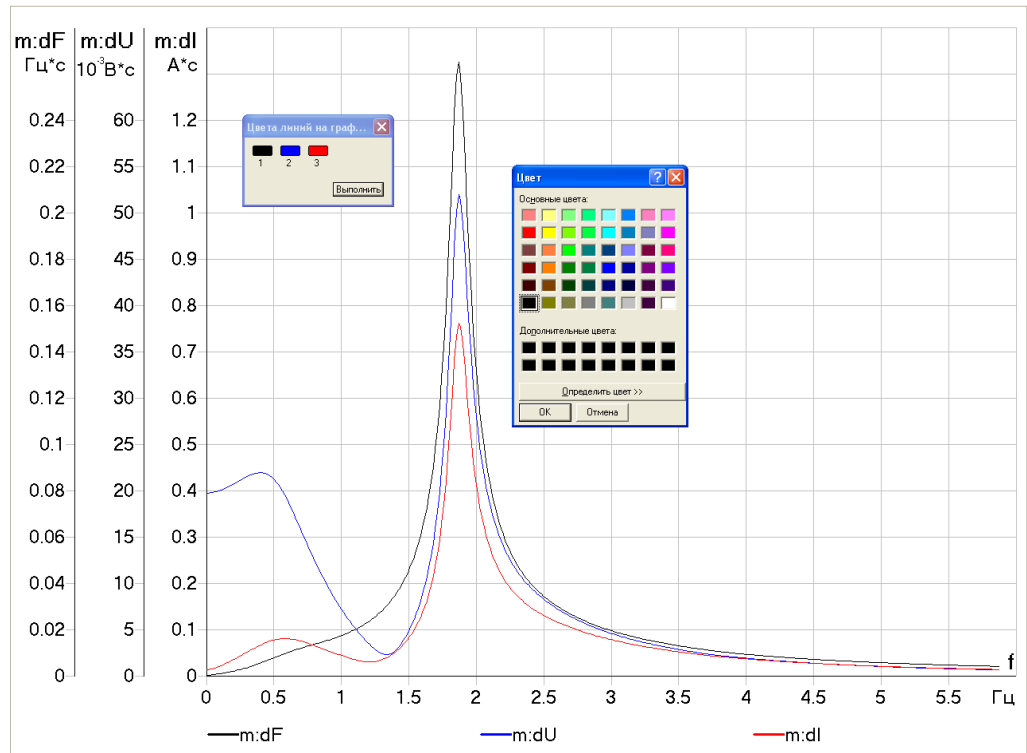


Рис.5.5.

- Команда *Ширина линии* позволяет изменять толщину выводимых на графике кривых. Команда выводит форму (рис.5.6)

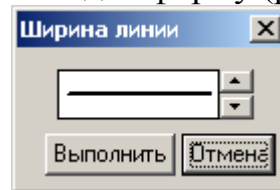


Рис.5.6

для изменения ширины линии. Выбранная ширина линии сохраняется вплоть до следующего изменения. Если включен режим вывода по точкам, изменяется только диаметр выводимых точек, ширина соединяющих точки линий сохраняется минимально возможной.

- Команда *Обозначение осей* позволяет корректировать наименование осей и единиц измерения, и, также, изменять шаг сетки графика. По команде выводится форма (рис.5.7) в которой можно отредактировать соответствующие параметры.

The dialog box 'Обозначения осей' (Axis Labels) contains a table with columns: Тип (Type), Имя (Name), Единицы (Units), and Шаг (Step). The table has two rows. Below the table are buttons for 'Применить' (Apply) and 'Отмена' (Cancel).

Тип	Имя	Единицы	Шаг
0	K0f		0.0
1	K1f		0.0

Рис.5.7

Нулевой шаг сетки означает шаг, определяемый автоматически программой. Новый шаг сетки можно ввести с точностью до

десятих. Измененные параметры действительны только в пределах текущего графика.

- Команда *Запись в системный буфер* копирует выводимый график в системный буфер, что позволяет использовать график в других программах, например, он может быть вставлен в документ, сформированный программой Microsoft Word.
- Команда *Запись в файл *.i (*.s, *.o)* позволяет записать файл, как правило, измененный командами удаления начала и/или конца, в файл с другим именем. Имеются ограничения. Для файлов исходных процессов и спектров график должен содержать кривые одного файла. При этом в новом файле будут записаны все явления исходного файла. Для файлов областей в новый файл может быть записана только одна область.

Команда *Запись в файл *.sxr*. Файл типа .sxr – это текстовый файл, сохраняющий преобразования, которые производились с графиком. В файле сохранены полные имена исходных файлов, последовательность укорачиваний начала и конца данных, введенные заголовки и др. Для просмотра этих файлов используется специальная директива, доступная и главного меню: *Графики – Сохраненные графики*. Чтобы сохраненные файлы можно было просматривать при переносе данных на другую ЭВМ, необходимо, чтобы полные имена исходных файлов при переносе не изменились.

- Команда *Печать* производит печать графика на устройство печати с помощью стандартной формы.
- Команда *Луна* используется для увеличения выделенной области на площадь всего графика. На графике красной линией выделен прямоугольник. При помощи левой клавиши «мыши» размеры прямоугольника можно уменьшить и переместить его в требуемое место графика. Выделенная область увеличивается двойным щелчком левой клавиши «мыши». Команду можно использовать повторно. Для возврата используется команда *Луну удалить* контекстного меню (в исходном состоянии в меню отсутствует).
- Команда *Критерий* доступна только для графика одиночной кривой области d – разбиения. Рассчитываются значения выбранного критерия качества регулирования в поле коэффициентов настройки, ограниченном заданным прямоугольником. Прямоугольник ограничен красным цветом. При помощи левой клавиши «мыши» размеры прямоугольника можно уменьшить и переместить его в требуемое место графика. Правая клавиша «мыши» выводит форму с параметрами расчета, приведенную на рис.5.8.

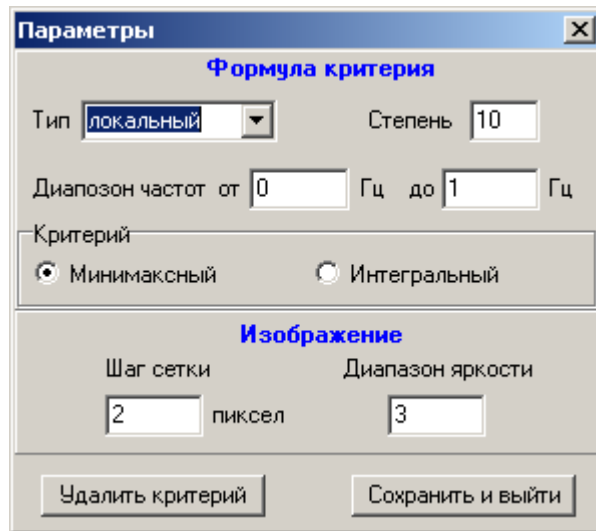


Рис.5.8.

Сохраняются параметры предыдущего расчета, поэтому обращение к форме рис.5.8. нужно только при необходимости внесения изменений, или для контроля. Расчет запускается двойным щелчком левой клавиши «мыши» в прямоугольнике.

- Шаг расчета по горизонтали и по вертикали задан в окне *Шаг сетки*. Если шаг равен 1, то настроечные коэффициенты определяют, и расчет производят для каждого пикселя прямоугольника. В обратном случае, промежуточные значения определяют аппроксимацией. Результаты расчета представлены в относительных единицах. Минимальное значение критерия в прямоугольнике равно 1. Рассчитанные величины представлены различной интенсивностью серого цвета. Чем больше значение критерия, тем светлее соответствующая точка. Точки, для которых критерий больше значения указанного в окне *Диапазон яркости* выведены белым цветом. Оптимальная точка прямоугольника – красным.
- Расчет можно производить по двум критериям качества: минимаксному или интегральному. При выборе минимаксного критерия качества регулирования минимизируется максимальное значение модуля спектральной характеристики. При выборе интегрального критерия качества регулирования минимизируется интеграл (сумма) квадрата модуля спектра. Пример области d - разбиения с рассчитанным прямоугольником приведен на рис.5.9.
- Расчет обоих критериев можно проводить в двух вариантах: глобальном и локальном. В глобальном варианте расчет осуществляется с использованием данных всего частотного диапазона. В локальном варианте используется часть спектральной характеристики, заданную *Диапазоном частот*, полученный результат возводится в указанную *Степень* и умножается на результат глобального расчета.
- Для того, чтобы получить значение рассчитанного критерия качества в точке прямоугольника, нужно подвести курсор к этой точке и

нажать левую клавишу «мыши». Точка, для которой определяется критерий, загорается желтым цветом и появляется желтый прямоугольник с координатами точки (Коэффициенты настройки абсциссы и ординаты) и относительным значением критерия качества регулирования.

- Если точка минимального значения критерия находится на границе прямоугольника, она, скорее всего, не оптимальна. Не оптимальны также минимальные точки за пределами границы устойчивости. В таких случаях следует повторить расчет. Для этого двойным щелчком левой клавиши «мыши» на прямоугольнике очищают площадь прямоугольника, сдвигают его в нужную сторону и повторным двойным щелчком запускают новый расчет.

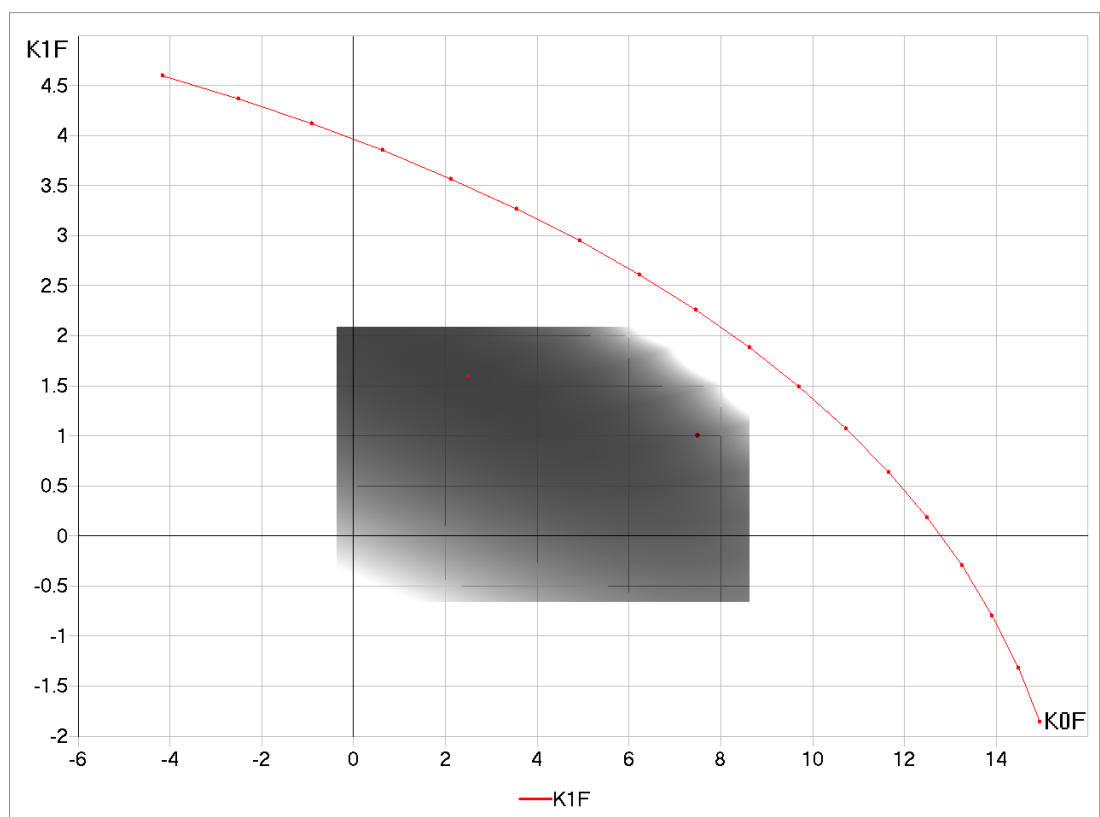


Рис.5.9.

- Для завершения работы открывают контекстное меню (правой клавишей «мыши» вне прямоугольника) и выбирают команду *Удалить критерий* отсутствующую в исходном меню.

6. Таблицы

- 6.1. Директива главного меню *Таблицы* имеет субменю аналогичное субменю директивы *Графики*. Назначение директивы – представить содержимое файлов в виде таблиц. Выбор файлов и формирование списка отображаемых явлений производится с помощью формы, аналогичной рис.5.2. Единственное отличие состоит в том, что в одну таблицу нельзя включать явления разных файлов. Таблица содержит явления одного файла. В заголовке таблицы – имена выводимых явлений и

единицы измерения. Пример форм выводимых таблиц представлен на рис.6.1.

- Контекстное меню таблицы содержит одну команду – *Вывести в файл *.txt...* Выводится окно для ввода имени текстового файла в форме, аналогичной рис.2.7. Файл имеет расширение “.txt”. Если файл уже существует, то он отображается черным цветом и после нажатия клавиши *Применить* выводится запрос рис.2.8. В файл данные заносятся выровненными столбцами, повторяя содержание таблицы. В качестве разделителя используется пробел.

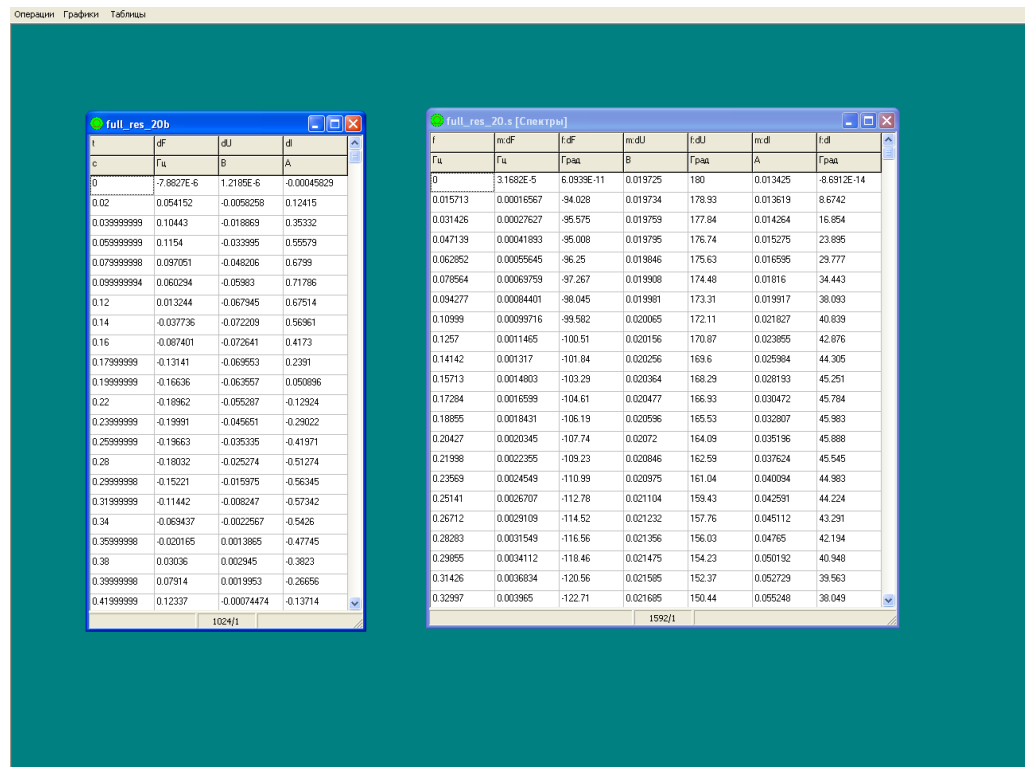


Рис.6.1.

7. Низкочастотная фильтрация спектров.

Для сглаживания амплитудных и частотных характеристик, полученных экспериментальным путем, можно использовать низкочастотный фильтр. Форма для формирования задания на фильтрацию приведена на рис.7.1. Используется фильтр с конечным откликом, уравнение сглаживания имеет вид

$$\tilde{X}(k) = \sum_{i=-n}^n a(i)X(k+i),$$

где X, \tilde{X} – ряд

исходных и сглаженных значений модулей или фаз; $a(i) = a(-i)$ – коэффициенты сглаживания; n – максимальный отклик фильтра. Коэффициенты сглаживания определяются аппроксимацией по методу наименьших квадратов отрезка длиной $2*n+1$ данных полиномом степени m .

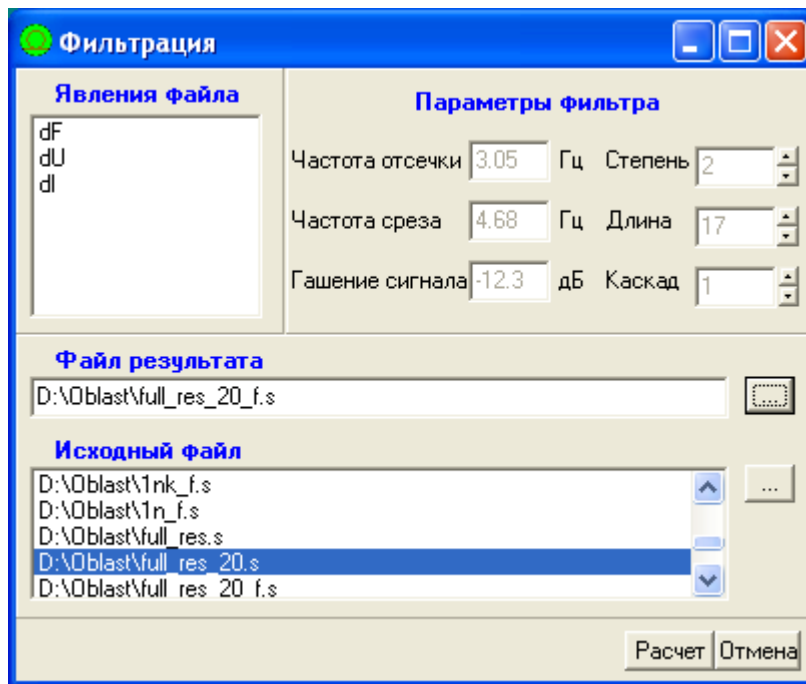


Рис.7.1.

В окне *Исходный файл* – список файлов спектров текущей папки. Смена папки исходных файлов производится с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна. Курсором списка выбирают файл, явления которого будут фильтроваться.

- В окне *Файл результата* показано имя файла результата. По умолчанию это имя формируется из пути файлов результатов и короткого имени выбранного файла с добавлением суффикса “_f”. Смена папки результатов производится с помощью клавиши поиска «...», расположенной справа от окна.
- В окне *Явления файла* показан список явлений выбранного файла. Фильтруемые явления файла помечаются с помощью клавиши Ctrl и левой клавиши «мыши».
- В окне *Степень* устанавливают степень m аппроксимирующего полинома, в окне *Длина* максимальную длину отклика n .
- Операцию фильтрации можно повторить несколько раз, улучшая параметры фильтра в области задерживания. Число повторов показано в окне *Каскад*.

8. *Параметры файла*

В файлах исходных процессов, спектров и областей помимо данных записана дополнительная информация, которую можно прочитать при помощи директивы, доступной из главного меню *Операции – Параметры файла*. Вид формы представлен на рис.8.1.

- В заголовке формы – короткое имя файла и в скобках номер генератора.
- В окне *Имя файла* – список файлов заданного типа текущей папки. Смена типов файлов и смена папки файлов производится с помощью

клавиши поиска «...», расположенной справа от окна. Курсором списка выбирают файл, явления которого будут фильтроваться.

- В разделе *Константы* указано число измерений, число измеренных параметров, число каналов регулятора, длительность исходного процесса, максимальная частота спектральной характеристики и шаг дискретизации исходного сигнала по времени.
- В таблице *Параметры* показаны имя параметры, его шифр (имя параметра в импортируемом файле) и размерность.

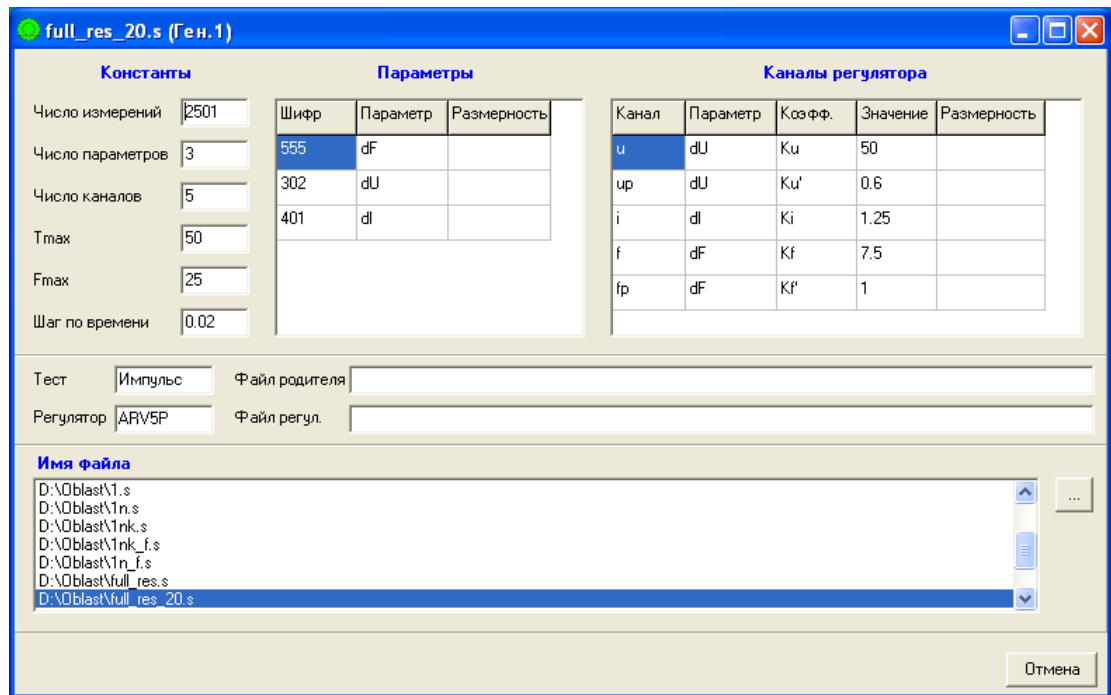


Рис.8.1.

- В таблице *Каналы регулятора* приведены основные данные каждого канала регулятора. Если регулятор отсутствует (при отсутствии тестового сигнала или для файла спектра разомкнутой системы), таблица пустая.
- В окне *Тест* приведен вариант тестового сигнала (нет, импульс, процесс).
- В окне *Регулятор* приведен тип используемого регулятора. Окно пусто, если регулятор отсутствует.
- Для файлов с расширением “.l” и “.o” в окне *Файл родителя* приведено полное имя файла спектра (файл с расширением “.s”) породившего данный файл. Для файлов области d – разбиения дополнительно сохранено полное имя файла регулятора (файл с расширением “.rg”). Эти данные необходимы для расчета критерия качества регулирования.

8. *Блокнот*

Директива вызывает стандартную программу [\\system32\\notepad.exe](#) из системной папки программы Windows. Программа может быть использована для вспомогательных записей.