

Саратовский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского
Кафедра радиофизики и нелинейной динамики



ANONS

**Программный комплекс по анализу динамических и
стохастических нелинейных систем**

Руководство пользователя

Что такое ANONS

II. Приемы работы с ядром ANONS

III. Процессы

IV. Программа-просмотрщик an_viewer.tcl

Саратов
2008

Введе

Что такое ANONS

ANONS - аббревиатура от **Analysis of NONlinear Systems**, это программный комплекс, предоставляющий пользователю разнообразные возможности по исследованию динамики математических моделей нелинейных систем, как детерминированных, так и стохастических, сводя при этом к минимуму необходимость в самостоятельном программировании. ANONS написан с использованием двух языков программирования: C и TCL/TK.

Для чего предназначен ANONS

Программный комплекс может эффективно использоваться для:

- Обучения студентов основам нелинейной динамики;
- Изучения и освоения методов численного анализа детерминированных и стохастических нелинейных систем;
- Разработки и тестирования новых математических моделей, в том числе многопараметрических и высокой размерности.
- Многостороннего анализа динамики детерминированных и стохастических нелинейных систем в рамках научно-исследовательской работы.

Для чего НЕ предназначен ANONS

- Текущая версия программного комплекса не предназначена для двухпараметрического бифуркационного анализа, она включает лишь программные модули начального уровня для локализации и анализа на устойчивость состояний равновесия и предельных циклов. Однако грамотный пользователь может существенно расширить эти возможности, добавляя свои программные модули.
- Несмотря на то, что интерфейсная часть ANONS легко позволяет работать с сотнями фазовых переменных, программный комплекс не предназначен для исследования распределенных систем.

Авторы и авторские права

Версия 1.4 программного комплекса создана в рамках работ по инновационно-образовательной программе СГУ в 2007-2008гг. на кафедре радиофизики и нелинейной динамики. Авторы - разработчики: Д.Э. Постнов, Р.А.Жиринов, С.В.Астахов. ANONS является программным продуктом с открытым кодом (Open Source software) и распространяется в соответствии с General Public License (GPL). Текущая версия доступна на <http://chaos.ssu.runnet.ru>.

I. Начало работы с программным комплексом ANONS

Установка программного комплекса

Для использования программного комплекса ANONS необходимо наличие установленных на компьютере компилятора с языка C **gcc**, а также языка **tcl/tk**. Весьма желательно наличие программы построения графиков **xmgrace**.

Установочный набор файлов ANONS распаковывается/копируется в домашнюю директорию пользователя. Перед работой рекомендуется убедиться, что файлы **anons.tcl**, **an_viewer.tcl**, **recomp** и **models/ans.tcl** при распаковке и копировании сохранили атрибут запускаемых. Первый шаг в работе с ANONS – это его запуск с одной из прилагаемых модельных систем.

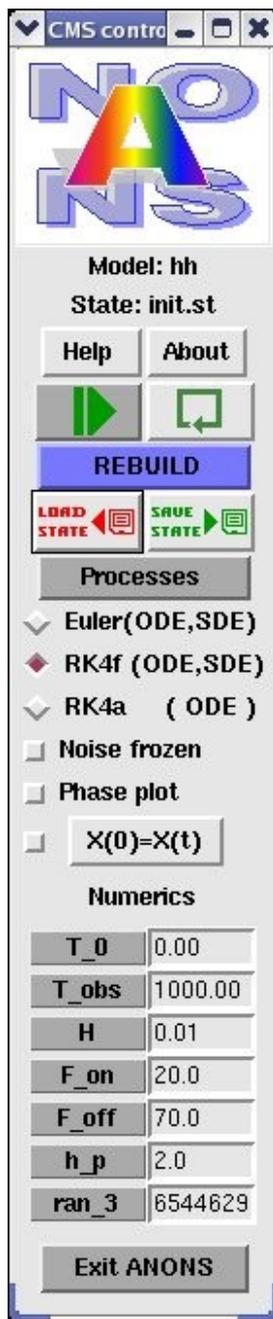
Запуск АНОНС с предопределенной модельной системой.

Находясь в каталоге, где установлен ANONS, перейти в каталог **models**. Он содержит командный файл **ans** и ряд подкаталогов, каждый из которых соответствует модельной системе. Вызов команды

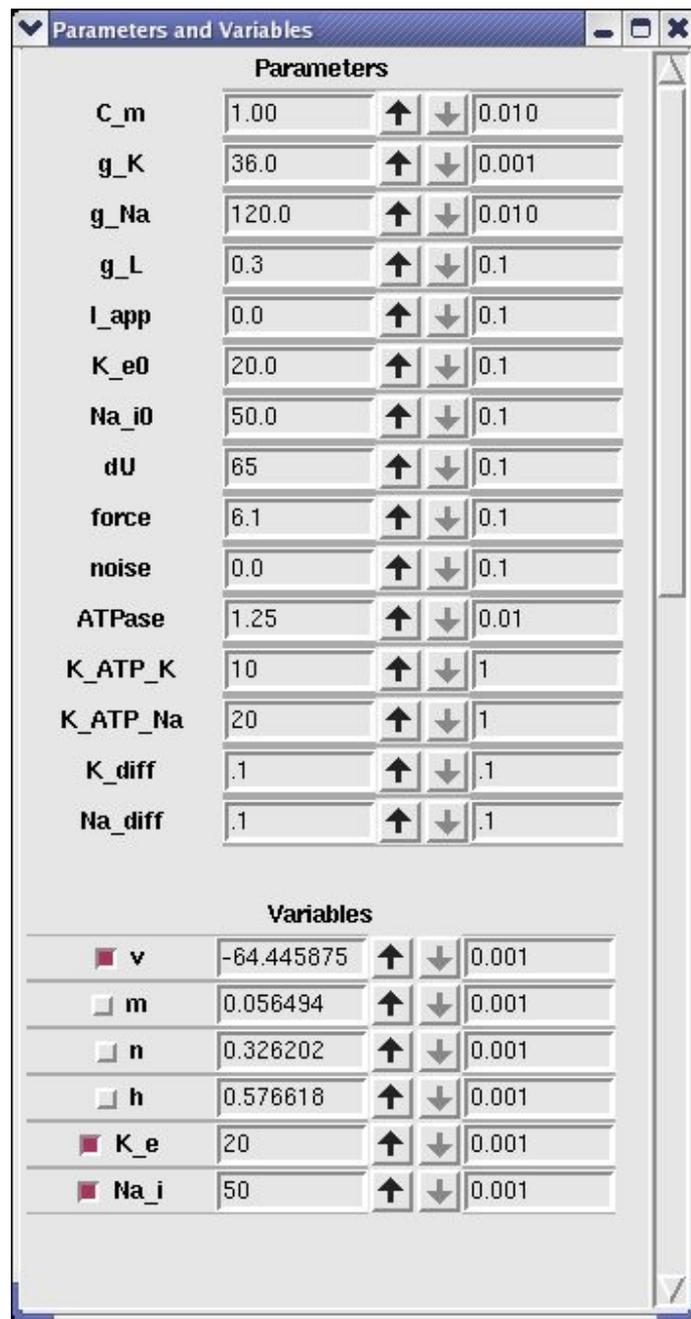
```
./ans <model_name>
```

запускает ANONS с моделью, имя подкаталога которой **<model_name>**.

При успешном запуске на экране открываются два обязательных окна: командное и окно параметров/переменных. В зависимости от заданной конфигурации для данной конкретной модели, могут также открыться окна временных реализаций и фазового портрета. Если произошла ошибка при компиляции программных модулей (синтаксические ошибки при задании уравнений), в окно терминала выводятся соответствующие сообщения, но графическая оболочка тем не менее пытается запуститься.



Окно управления



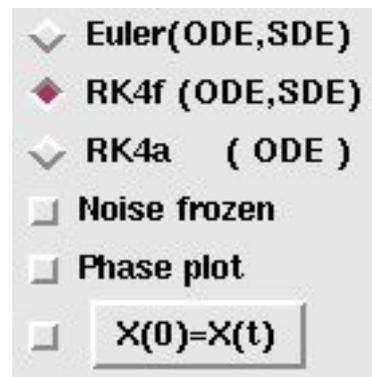
Окно параметров и переменных

Наблюдение временных реализаций и проекции фазового портрета.

В окне параметров первая (самая левая) кнопка-индикатор в строке каждой переменной указывает, будет ли создано графическое окно для временной реализации данной переменной. В командном окне имеется кнопка-индикатор построения фазовой проекции *Phase plot*. Текущий статус указанных полей изменяется одиночным кликом мыши.

При нажатии клавиши  запускается интегрирование уравнений модельной системы в соответствии с параметрами интегрирования, заданными в командном окне. Эти параметры включают:

- Метод интегрирования (Эйлера, Рунге-Кутта 4-го порядка с фиксированным шагом и Рунге-Кутта 4-го порядка с переменным шагом).
- Поле инициализации генератора шума (см. раздел Интегрирование стохастических дифференциальных уравнений).
- Кнопку-индикатор построения фазовой проекции *Phase plot*
- Поле и кнопка режима присвоения начальных условий. Однократное нажатие кнопки копирует достигнутое в предыдущем запуске состояние системы в начальные значения для следующего запуска. Клик мышью в поле слева включает/выключает этот режим как постоянный.
- T_0 устанавливает начальное время.
- T_{obs} задает конечное время интегрирования.
- H задает шаг (максимальный шаг) интегрирования для алгоритмов с постоянным (переменным) шагом.
- F_{on} и F_{off} задают моменты включения и выключения внешнего воздействия (см. раздел Задание сигнала воздействия).
- h_p используется для улучшения качества графика при исследовании релаксационных систем и задает количество точек графика, приходящихся на один пиксель окна экрана.
- ran_3 отображает текущее число инициализации генератора случайных чисел (одно и то же число инициализации порождает одну и ту же псевдослучайную последовательность чисел).



Numerics	
T_0	0.00
T_{obs}	1000.00
H	0.01
F_{on}	20.0
F_{off}	70.0
h_p	2.0
ran_3	6544629

По завершении работы модуля интегрирования на экране открывается/обновляется набор окон, заданный как описано выше. Их расположение при первом запуске произвольно, а при последующих – сохраняется расстановка, заданная пользователем. Поместив курсор в поле окна вывода и перемещая его, можно считывать текущее значение графика в полях вывода в левой части окна. Окно фазового портрета содержит дополнительный набор управляющих элементов, позволяющих указывать, по каким переменным строится график, изменять минимальные и максимальные значения по осям, включать/выключать режимы построения нульклин и сечения Пуанкаре, и др. (подробнее см. раздел «Возможности окна фазовых проекций»).

Кнопка режима циклического интегрирования  расположена правее кнопки режима однократного интегрирования. Ее нажатие переводит систему в режим непрерывного повторения цикла интегрирования. При этом цвет кнопки меняется на красный. Повторное нажатие на кнопку выключает режим. Подробнее использование этого режима описано в разделе «Возможности режима циклического интегрирования».

Запись и считывание состояния модельной системы

Как известно, состояние динамической системы определяется набором ее фазовых переменных. В рамках работы с программным комплексом ANONS понятие состояния трактуется расширенно. Оно дополнительно включает как текущие значения управляющих параметров, так и большое количество параметров численной схемы и визуализации, таких, как метод интегрирования, выводимые графические окна, состояние генератора шума и др. Вся эта информация доступна для сохранения и последующего использования посредством записи и считывания файлов с расширением

«**.st**» посредством кнопок   в окне управления. Тем же способом может быть перезаписан файл начального состояния **init.st**.

Таким образом, набор файлов состояния является аналогом рабочего журнала при проведении вычислительного эксперимента, он позволяет быстро вернуться к прежним результатам, вспомнить необходимые значения параметров, или переслать их по электронной почте коллегам.

Создание новой модельной системы.

Вся информация по модельным системам и работе с ними (файлы состояний) хранится в каталоге `models`.

Уравнения модели, значения управляющих параметров и переменных представлены в виде двух файлов, имя которых совпадает с названием модели, а расширение отражает конкретное содержание. Например, для модельной системы по имени **van_der_pol** в каталоге `models` имеется подкаталог **van_der_pol**, который содержит два файла: **van_der_pol.c** и **init.st**. В первом из них заданы правые части системы дифференциальных уравнений и некоторые важные константы (например, количество фазовых переменных и управляющих параметров). По сути, в этом файле определяется функция на языке C. При задании системы пользователь вправе применять все средства и синтаксис этого языка. Файл **init.st** содержит перечень фазовых переменных и управляющих параметров, включая их имена, начальные значения, шаг изменения и некоторую другую информацию.

Создать новую модельную систему можно двумя основными способами:

Первый способ подходит для начинающих пользователей. Запустив программу ANONS с какой-либо из существующих моделей, нажать клавишу *REBUILD* и выбрать *Create_new_model*. В ответ откроется окно, предлагающее ввести название модели, а также планируемое количество фазовых переменных и параметров. Затем предлагается переход на окно 2, где требуется указать по каждой переменной и каждому параметру необходимую информацию, а также желаемые время и шаг интегрирования.

В следующем, 3-м окне пользователю будет предложено редактировать несложный фрагмент С-кода, чтобы задать правые части уравнений его модельной системы. По завершению работы в этом окне, можно записать созданную модель в каталог **models**, либо вернуться к предыдущим шагам.

Второй способ более эффективен и гибок, но предполагает, что пользователь владеет приемами копирования и переименования файлов и каталогов. При этом какая-либо из существующих моделей выбирается в качестве образца и ее каталог копируется с именем создаваемой модели. Во вновь созданном каталоге удаляются все файлы, кроме файлов с расширением **.c** и файла **init.st**. С-файл переименовывается в соответствии с именем новой модели. Далее оба файла изменяются с использованием любого текстового редактора для задания новой модельной системы.

Примечание: Подкаталог модели может содержать дополнительные файлы, такие как **proc_udf.c** или ссылки на них. На начальном этапе работы с ANONS их можно игнорировать. Их использование описано в разделе III, Функции, определенные пользователем (*UDF*).

В рамке ниже приведен фрагмент описания трехмерной динамической системы. Красным цветом выделено задание правых частей уравнений, зеленым – все, что связано с воздействием шума (см. раздел II).

```
void model(double t, double x[], double dx[]) {  
  
force=par[2]*0.25*(1+tanh(10.0*(t-force_on)))*(1+tanh(10.0*(force_off-t)));  
  
dx[0] = par[0]*x[0]- x[0]*x[2] + x[1] + force;           mnoise[0]=1;  
dx[1] = -x[0];                                           mnoise[1]=0;  
dx[2] = par[1]*( x[0]*(x[0]+fabs(x[0]))/2.0 - x[2] );   mnoise[2]=0;  
  
}  
  
void noise_part(double t, double x[], double noise[]){  
noise[0]=par[3]*gasdev();  
noise[1]=0;  
noise[2]=0;  
}
```

II. Приемы работы с ядром ANONS

В этом разделе описаны приемы работы с ядром программного комплекса, иллюстрирующие часто встречающиеся ситуации, либо позволяющие повысить эффективность работы.

Интегрирование стохастических дифференциальных уравнений

Особенностью комплекса ANONS является отсутствие принципиального отличия в приемах работы с детерминированными и стохастическими нелинейными системами. В любой модельной системе по умолчанию допускается аддитивное или мультипликативное воздействие шума в любом из уравнений. Конкретная форма воздействия задается пользователем при определении уравнений модели в файле `<model_name>.c`. Для этого используется два массива `noise()` и `mnoise()`. Например, если в *i*-е уравнение модели аддитивно входит шум, то соответствующий элемент массива `mnoise` устанавливается в 1.0, а соответствующий элемент массива `noise` в подпрограмме `noise_part` получает текущее значение случайного процесса (Гауссов белый шум), генерируемое при вызове функции `gasdev()` и домноженное на управляющий параметр, играющий роль амплитуды шума (см. фрагмент программы, приведенный выше).

Такой способ обладает большой гибкостью и позволяет вводить источники шума в нужное количество уравнений и в нужной форме. Например, для задания мультипликативного шума элементу массива `mnoise` следует присвоить значение той части уравнения, на которую умножается шум.

Для использования коррелированного шума (цветной шум, гармонический шум) пользователю достаточно задать в модели дополнительное уравнение(я), преобразующее(ие) белый Гауссов шум в шум нужной статистики.

При работе с модельной системой наличие шума учитывается при выборе методов интегрирования Эйлера и Рунге-Кутты 4-го порядка с фиксированным шагом. При выборе метода Рунге-Кутты 4-го порядка с переменным шагом (пригодного только для детерминированных систем) наличие шумовых добавок в уравнениях игнорируется. Таким образом, переход от системы с шумом к соответствующей детерминированной системе можно произвести простым нажатием кнопки-индикатора.

Некоторые процессы (например, расчет собственных значений состояния равновесия, см. раздел III) работают только с детерминированными системами, и при их вызове наличие шума игнорируется.

Задание сигнала воздействия

При задании модельной системы пользователь свободен ввести в правую часть уравнений слагаемые или множители, явно зависящие от времени, задав тем самым неавтономную динамическую или стохастическую систему.

Замечание: для явного задания времени рекомендуется использовать дополнительную фазовую переменную (в примере - x), подчиняющуюся уравнению вида $dx/dt = 1$, при этом ее текущее значение будет отображаться в списке переменных, записываться в файле состояния и корректно передаваться в режиме циклического интегрирования (см. ниже).

Однако для ряда задач требуется более гибкое и оперативное управление параметрами внешнего воздействия. Например, анализ переходных процессов или изучение отклика системы на ограниченное во времени внешнее воздействие предполагает вариацию времени появления и окончания воздействия. С этой целью в ядре ANONS предусмотрены глобально определенные переменные **force**, **force_on** и **force_off**. Первая из них содержит собственно значение сигнала воздействия, определяется пользователем при задании модели и изображается на графиках временных реализаций. Две последующих изменяются полями ввода F_{on} и F_{off} на панели управления и могут быть использованы для задания начала и

окончания воздействия во времени путем задания подходящей оконной функции (см. пример в конце предыдущего раздела).

Возможности режима циклического интегрирования

В зависимости от комбинаций остальных параметров на панели управления режим циклического интегрирования позволяет по-разному организовать вычислительный эксперимент.

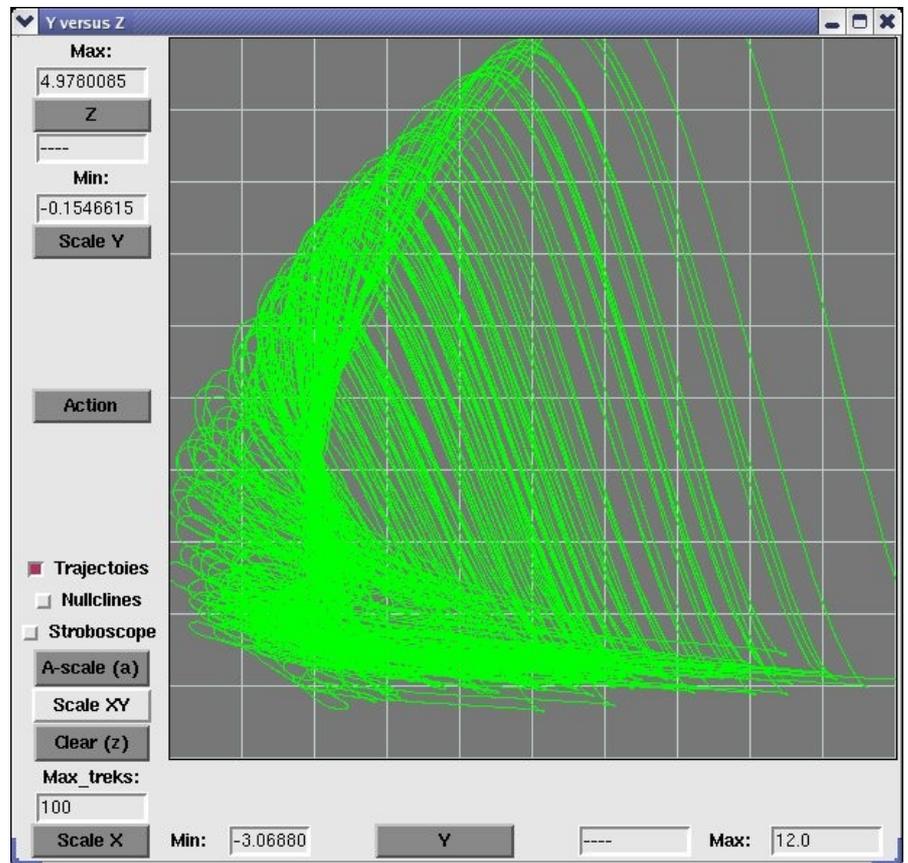
- При отжатой кнопке-индикаторе присвоения начальных условий циклически повторяется интегрирование с одних и тех же начальных условий. При выключенном шуме и неизменных управляющих параметрах временные реализации от раза к разу не меняются, и каждое новое вычисление не несет новой информации. Однако этот режим позволяет наглядно и эффективно изучать действие шума на нелинейную систему, либо эффект от изменения управляющих параметров. В первом случае можно наблюдать вероятностный характер таких событий, как выход из потенциальной ямы, либо генерация импульса возбудимыми системами. Во втором случае можно, например, изучать изменение переходного процесса.
- При нажатой кнопке-индикаторе присвоения начальных условий каждое последующее интегрирование продолжает предыдущее во времени (для неавтономных систем см. замечание в предыдущем пункте). Этот режим аналогичен наблюдению сигнала на экране осциллографа. По прошествии времени релаксации система выходит на установившийся режим. Изменение управляющих параметров без остановки интегрирования позволяет наблюдать реакцию системы в интерактивном режиме. Особенно это удобно делать с использованием окна фазовых проекций.

Возможности окна фазовых проекций

Окно фазовых проекций содержит три группы управляющих элементов, которые задают, соответственно, параметры горизонтальной и вертикальной осей, а также действия, применимые к окну в целом.

Группа управляющих элементов по каждой из осей содержит кнопку меню выбора переменной, индикаторы-поля ввода минимального и максимального значения по данной оси, индикатор текущего положения курсора, а также кнопку изменения масштаба

(*Scale X* или *Scale Y*).



Группа управляющих элементов окна в целом содержит:

- Кнопку меню *Action*, позволяющую экспортировать данные окна в графическую программу, либо закрыть окно.
- Кнопку-индикатор *Trajectories*, включающую/выключающую изображение траекторий фазовой проекции.
- Кнопку-индикатор *Nullclines*, управляющую отображением кривых нульклин на заданной плоскости двух переменных. Нульклины рассчитываются в начале каждого цикла интегрирования, причем значения всех переменных модели, кроме отображаемых в окне фазовой проекции, принимаются равными начальным условиям.

- Кнопку-индикатор *Stroboscope*, управляющую отображением сечения Пуанкаре, либо стробоскопического сечения в соответствии с функцией (плоскость сечения, либо условие), заданной в подпрограмме **cutfun** в файле **<model_name>.c** при описании модели.
- Кнопку *A-scale*, нажатие которой приводит к автомасштабированию по обеим осям. При фокусе на окне фазовых проекций, нажатие этой кнопки эквивалентно нажатию «а» на клавиатуре.
- Кнопку меню *Scale XY*, позволяющую менять масштаб отображения по обеим осям.
- Кнопку *Clear*, нажатие которой вызывает очистку окна. При фокусе на окне фазовых проекций, нажатие этой кнопки эквивалентно нажатию «z» на клавиатуре.
- Поле ввода *Max_treks*, задающее максимальное число отрезков траекторий (графиков нульклин, массивов точек сечения), отображаемых в окне. Достижение этой величины вызывает очистку окна.

Сохранение результатов вычислений, экспорт в графический формат

Текущие результаты вычислений в окнах временных реализаций и в окне фазовых проекций могут быть записаны на диск, либо экспортированы во внешнюю графическую программу для финального оформления в виде иллюстраций. В текущей версии ANONS для Linux в качестве графической программы использована **xmgrace**. Соответствующие действия вызываются выбором первых трех пунктов меню Processes. При их нажатии от пользователя запрашивается уточняющая информация, а далее данные либо записываются на диск в указанный файл, либо непосредственно передаются в программу **xmgrace**. При этом количество и расположение графиков соответствует количеству и расположению (сверху вниз) графических окон на экране. Соответствующий интерфейс более подробно описан в следующем разделе.

Замечание: во всех случаях записи на диск и экспорта данных их расчет производится заново. Это связано с особенностями работы ядра ANONS, где данные из расчетного C-модуля передаются в виде набора координат точек графического окна, а не «физических» значений переменных.

III. Процессы

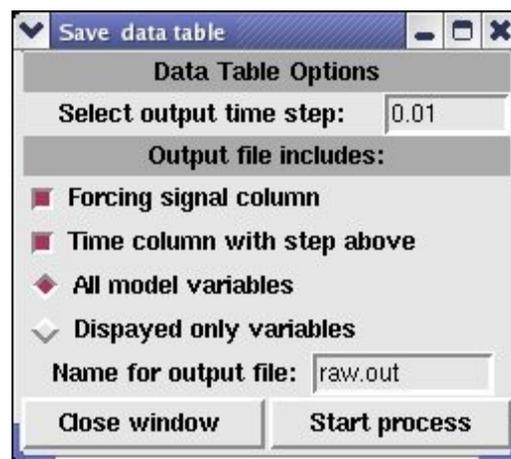
Выше уже упоминались два простейших действия из меню «Процессы»: запись временных реализаций на диск и вывод текущих результатов расчета во внешнюю графическую программу. В этом разделе описаны все возможности, предоставляемые данным меню. Главная идея состоит в том, что запущенный процесс ответвляется от ядра в текущем состоянии модельной системы и, за редкими исключениями, далее с ним уже не взаимодействует. На практике это означает, что можно, например, запустить длительное вычисление усредненного спектра мощности стохастической системы и продолжать работу с другими состояниями, или даже с другой моделью. Можно запускать и несколько процессов (как различных, так и однотипных) одновременно.

Интерфейс всех процессов имеет одинаковую структуру: по выбору пункта меню открывается отдельное графическое окно, предлагающее считать с диска, задать интерактивно, или же записать на диск набор специфичных для данного процесса параметров. Командные кнопки окна процесса позволяют запустить процесс на исполнение, либо закрыть окно.

Открытое окно процесса не препятствует дальнейшей работе с ядром ANONS. Одновременно можно открыть несколько окон различных процессов. Для одного типа процесса может быть открыто только одно окно. Попытка открыть второе окно для одного и того же процесса вызывает устранимую ошибку (преодолевается нажатием клавиши «ОК» окна с сообщением об ошибке).

Запись данных на диск (WFD)

Этот пункт меню предоставляет пользователю возможность записать результаты интегрирования в файл на жестком диске, указав при этом его формат. Так, поле ввода «*Select output time step*» позволяет задать шаг вывода, отличающийся от шага интегрирования при расчетах. Это полезно в случае длинных временных реализаций, когда число шагов интегрирования слишком велико, а величина самого шага не может быть увеличена из соображений точности. По желанию пользователя файл данных может включать либо не включать колонку сигнала воздействия и колонку текущего времени. Можно выбрать запись в файл либо всех переменных модели, либо лишь тех, которые отображены на экране в данный момент. Имя файла данных задается пользователем в поле ввода в правом нижнем углу. При запуске процесса окно автоматически закрывается.



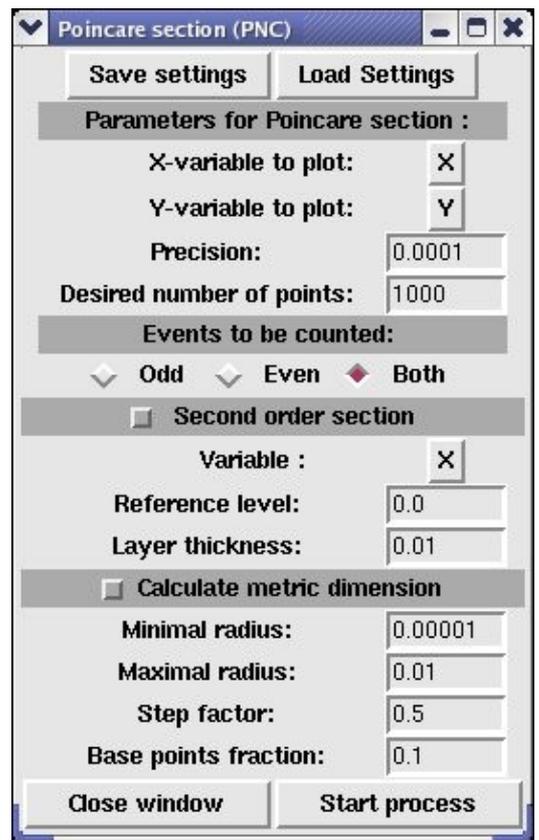
Экспорт временных реализаций (ETS) и фазовых проекций (EPP)

Этот пункт меню позволяет уточнить параметры экспорта данных в программу построения графиков *xmgrace*. А именно, избежать вывода чрезмерно большого количества точек и, соответственно, неоправданно большого объема графического файла. Делается это путем подбора шага вывода в поле ввода. По нажатию клавиши “Enter” количество точек, указанное в строке выше, пересчитывается. Когда это количество удовлетворяет пользователя, нажатием кнопки “*Start process*” данные рассчитываются и передаются в графическую программу. Аналогично осуществляется вывод и фазового портрета (строка меню “*Export phase plot to xmgrace*”).



Построение сечения Пуанкаре и расчет метрической размерности (PNC)

Как указывалось в разделе II, окно фазовых проекций позволяет в интерактивном режиме строить сечение Пуанкаре (либо стробоскопическое сечение) для исследуемой модели. При этом сечение строится за время интегрирования, указанное в окне управления, а точность расчета точек сечения определяется линейной интерполяцией в пределах текущего шага интегрирования. Отдельный процесс для построения сечения Пуанкаре (либо стробоскопического сечения) позволяет выполнять ту же процедуру с заданной (более высокой) точностью и до



накопления заданного числа точек. Кроме того, имеются дополнительные возможности по управлению подмножеством сечения, расчету двойного сечения и расчету метрической размерности.

Две верхние кнопки окна интерфейса позволяют записать на диск, либо загрузить с диска набор параметров расчета. Расположенные ниже две кнопки меню позволяют выбрать переменные двумерной проекции сечения, которые будут отображаться на графике.

Поле ввода *Precision* устанавливает необходимую точность расчета каждой точки, которая трактуется как максимальное расстояние от поверхности сечения, заданной пользователем функции *cutfun* в файле **<model_name>.c**. Простейший пример задания такой поверхности условием $x[0]=0$ приведен ниже:

```
double cutfun(double t, double x[]) {  
    return (x[0]-0.0) ;  
}
```

Использованный алгоритм достижения нужной точности работает как для детерминированных, так и для стохастических систем.

Поле ввода *Desired number of points* устанавливает число точек сечения, по достижению которого программа прекращает свою работу. Отсутствие пересечений с заданной поверхностью сечения данным процессом не отслеживается. Предполагается, что перед запуском процесса пользователь убедился в адекватном выборе плоскости сечения, наблюдая сечение Пуанкаре в окне фазовых проекций.

Радио-кнопки *Odd*, *Even*, *Both* устанавливают режим визуализации сечения: на графике выводятся только четные, только нечетные, либо все пересечения с заданной поверхностью. Эта функция позволяет выбрать более информативный вариант сечения и избавиться от дублирующей информации.

Группа параметров под кнопкой-индикатором *Second order section* задает процесс расчета двойного сечения Пуанкаре. Устанавливаются переменная X , по которой рассчитывается второе сечение, ее опорное значение A и толщина слоя, попадание в который засчитывается как выполнение условия $X=A$.

Группа параметров под кнопкой-индикатором *Calculate metric dimension* задает процесс расчета метрической размерности: устанавливаются минимальный и максимальный радиус сферы покрытия, множитель, согласно которому этот радиус изменяется и доля точек множества, по которым ведется расчет.

Запуск процесса на исполнение завершается выводом в отдельной программе просмотра сечения Пуанкаре (одинарного или двойного) и, в случае, если выбран расчет метрической размерности, выводом соответствующего графика в программе **xmgrace**.

Характеристики точечных процессов (ISI)

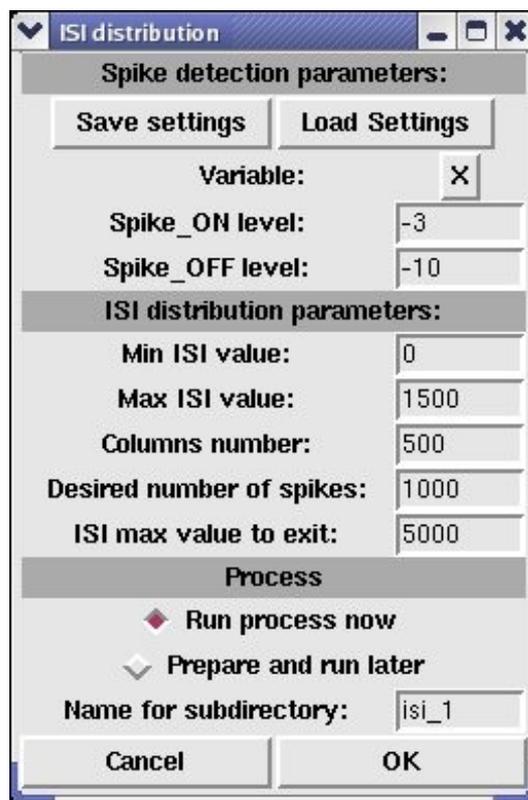
Этот программный модуль позволяет рассчитывать набор характеристик, типичных для процессов, которые удобно описывать как последовательность (в общем случае, нерегулярную) однотипных событий. Классическим примером таких процессов могут служить последовательность спайков нейронов, либо сигнал кардиограммы.

Базовым алгоритмом для расчета группы характеристик служит построение распределения (гистограммы) интервалов времени между событиями (Inter Spike Intervals). На основе этого распределения в файл результатов выводятся среднее, минимальное и максимальное значения ISI, а также соответствующая средняя частота.

В верхней части окна процесса имеются кнопки записи и считывания файла параметров.

Кнопка меню *Variable* позволяет задать переменную, по которой диагностируется момент наступления события, который определяется по достижению снизу вверх уровня, заданного в поле ввода *Spike_ON level*. Момент окончания события фиксируется по пересечению переменной уровня *Spike_OFF level* сверху вниз. Таким образом устанавливается необходимый гистерезис для корректной работы алгоритма в случае стохастических процессов.

Группа параметров в центре окна задает параметры распределения: минимальное и максимальное отображаемые значения, количество столбцов гистограммы, общее количество событий, используемое для расчета, а также



максимальную величину интервала между событиями, по достижению которой процесс аварийно завершается (события не найдены).

После запуска процесса и завершения расчета, распределение ISI отображается в окне программы просмотра, а значение остальных рассчитанных величин помещаются в заголовок файла данных (доступен по нажатию соответствующей кнопки программы просмотра).

Расчет Фурье-спектров (FFT)

Этот процесс реализует расчет спектра мощности на основе быстрого преобразования Фурье по временной реализации сигнала.

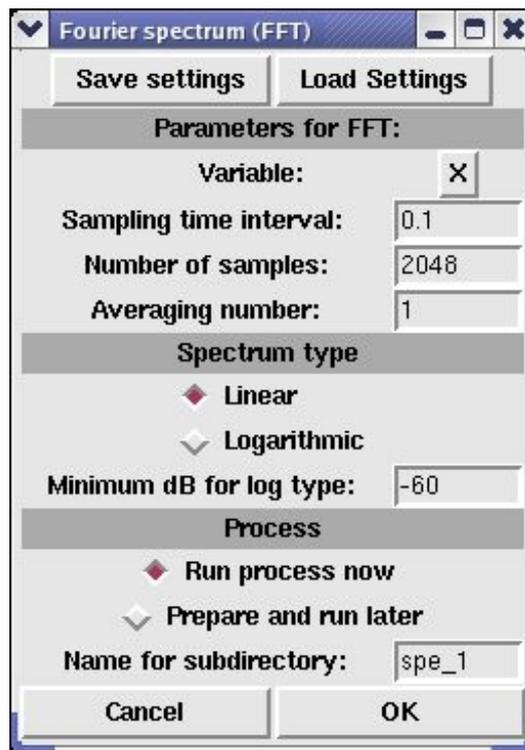
Две кнопки в верхней части окна позволяют записать на диск, либо загрузить стандартные наборы параметров численной схемы.

Кнопка меню *Variable* позволяет выбрать переменную модели, по которой рассчитывается спектр.

Три поля ввода, расположенные ниже, задают интервал времени между отсчетами, количество точек в каждой периодограмме, а также число периодограмм, используемое при расчете усредненного спектра.

Радиокнопки *Linear* и *Logarithmic* позволяют выбрать формат графического представления спектра. Поле ввода здесь же определяет минимальный уровень значений логарифмического спектра в децибеллах.

Группа кнопок внизу позволяет запустить процесс, либо закрыть окно. В зависимости от количества усредняемых периодограмм и длины каждой из них, расчет усредненного спектра мощности может занять значительное время. Текущее состояние процесса отображается в окне терминала, из которого был запущен ANONS.



Устойчивость состояний равновесия (EQP)

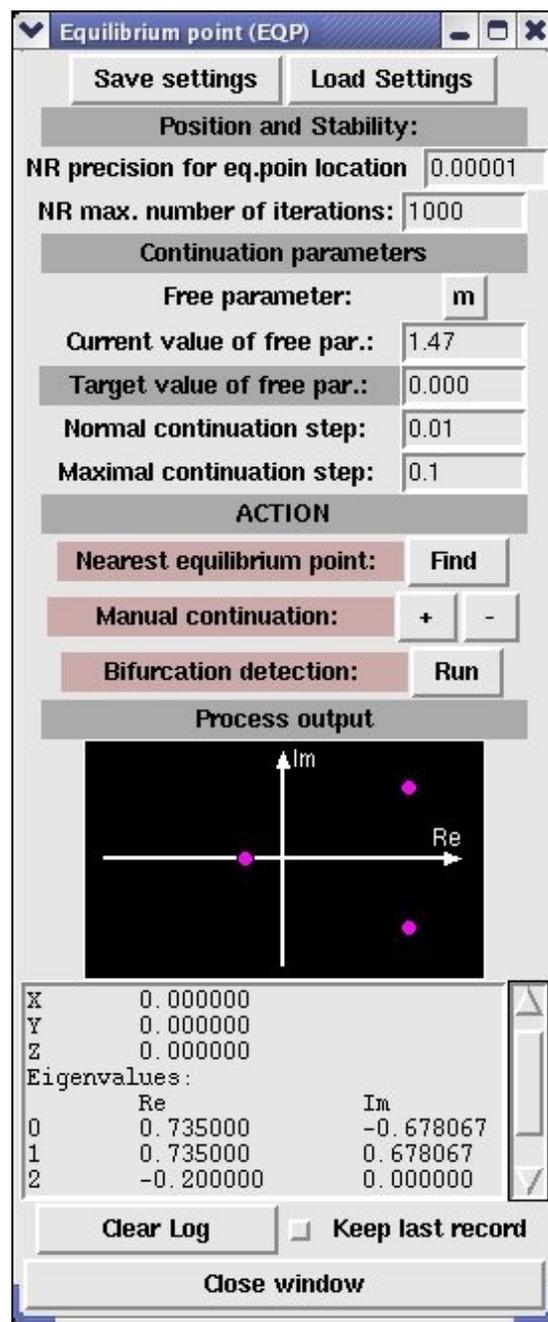
Этот программный модуль предназначен для поиска и локального анализа на устойчивость состояния равновесия модельной системы. Возможное включение шума в правые части уравнений игнорируются. Две кнопки в верхней части окна позволяют записать на диск или загрузить набор параметров численной схемы.

Два поля ввода в верхней части окна управляют работой алгоритма Ньютона-Рафсона по уточнению положения состояния равновесия: они задают требуемую точность при поиске и максимальное число итераций, по достижению которого осуществляется аварийный выход из подпрограммы.

Кнопка меню *Free parameter* позволяет выбрать управляющий параметр модели, который будет изменяться в процессе однопараметрического анализа

на устойчивость. Четыре поля ввода под ним задают характеристики движения по выбранному параметру: текущее и максимальные значения, начальный и максимальный шаг изменения.

Четыре кнопки из группы *Action* управляют процессом поиска состояния равновесия и анализом на устойчивость. Нажатие кнопки *Find* запускает алгоритм уточнения местоположения состояния равновесия, при этом в качестве начальной оценки используются текущие начальные условия из окна параметров ядра ANONS. В случае, если состояние равновесия



найденно, рассчитываются его собственные значения. Результаты расчета выводятся в текстовое и графическое поля вывода в нижней части окна процесса. В текстовой форме сообщаются координаты найденного состояния равновесия и приводится список действительных и мнимых частей собственных значений (см. светлое поле вывода на рисунке). В темном поле вывода отображается графическое представление собственных значений на комплексной плоскости.

Для успешности описанной выше процедуры важна удачная начальная оценка местоположения состояния равновесия, которая делается на основе результатов интегрирования уравнений модели ядром ANONS, либо интерактивно (мышью или через поля ввода значений переменных).

После того как состояние равновесия найденно, возможна его «протяжка» по активному параметру в ручном или автоматическом режиме. В ручном режиме нажатие клавиш «+» или «-» вызывает увеличение или уменьшение активного параметра на шаг, указанный в соответствующем поле ввода, а также перерасчет положения состояния равновесия и его собственных значений. Многократное нажатие этих клавиш позволяет наблюдать эволюцию характеристик состояния равновесия в зависимости от значения активного параметра, что особенно наглядно в графическом окне вывода.

Нажатие кнопки *Run* вызывает автоматическую «протяжку» по активному параметру до нахождения ближайшей точки бифуркации, либо до достижения максимального значения активного параметра, заданного в соответствующем поле ввода.

Устойчивость предельных циклов (SLC)

Этот процесс предназначен для локализации и анализа на устойчивость периодических решений. Как и процесс PNC, он не ответвляется от ядра комплекса, а возвращает результаты расчета в текстовое и графическое поля визуализации окна процесса и заменяет начальные условия на найденную и уточненную в процессе работы точку на цикле. Общая структура управления этим блоком схожа с процессом EQR. Верхние три параметра задают условия поиска уточненного периодического решения: необходимую точность, максимально допустимое число итераций на случай аварийного выхода при отсутствии сходимости алгоритма Ньютона-Рафсона, и так называемую периодичность — количество петель предельного цикла. Следующие три параметра характеризуют процесс «протяжки» по активному параметру, который выбирается кнопкой выпадающего меню. Величина активного параметра синхронизована в окне процесса и в окне параметров ядра ANONS.

Результаты вычислений выводятся в графическом формате — в виде цветных точек, указывающих текущее значение мультипликаторов цикла на комплексной плоскости, а также в текстовом формате — в поле вывода ниже. В дополнение к значениям мультипликаторов отслеживается также величина периода предельного цикла.

(SLC) Stability of limit cycle

Save settings Load Settings

Location and Stability:

Max error for NR algorithm: 1e-5

NR max. number of iterations: 1000

Limit cycle periodicity: 1

Continuation parameters

Free parameter: m

Current value of free par.: .5

Target value of free par.: 2.0

Normal continuation step: 0.01

Maximal continuation step: 0.1

ACTION

Nearest limit cycle: Find

Manual continuation: + -

Bifurcation detection: Run

Process output

Kill

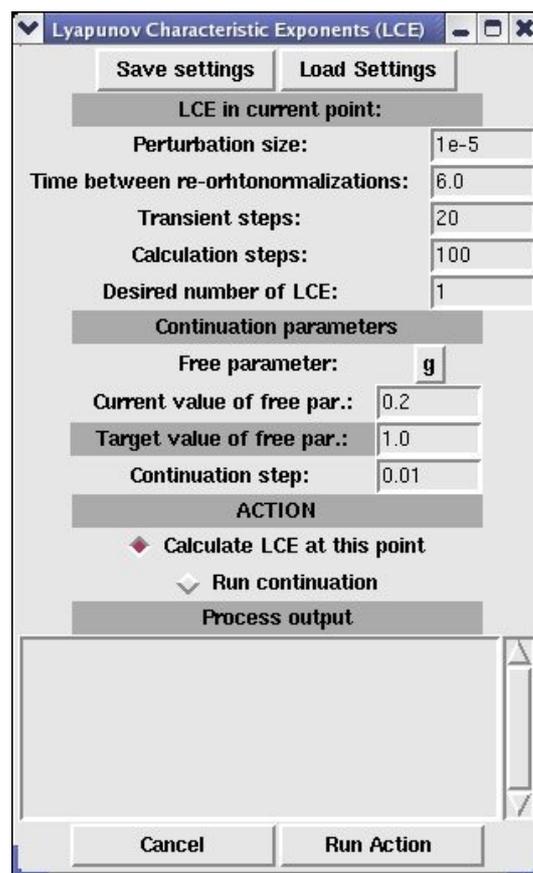
```
# period time
6.214518
# multipliers
      Re          Im
Mod
0:    -0.204095  0.503205  0.543019
1:    -0.204095 -0.503205  0.543019
2:     1.000032  0.000000  1.000032
```

Clear Log Keep last record

Close window

Ляпуновские характеристические показатели (LCE)

Этот процесс предназначен для расчета спектра (упорядоченного набора) ляпуновских характеристических показателей (ЛХП). Данный алгоритм применим к детерминированным системам. При его вызове для стохастических систем наличие шума игнорируется, а метод интегрирования автоматически заменяется на Рунге-Кутты 4-го порядка с переменным шагом. Верхние пять полей ввода задают собственно параметры расчета ЛХП: величину начального возмущения, интервал времени между перенормировками, количество шагов



расчета в начальной фазе и в фазе вычисления, а также выводимое число показателей (не более размерности модельной системы).

Следующая группа органов управления управляет «протяжкой» по параметру, который выбирается кнопкой меню *Free parameter*: задаются начальное и конечное значение параметра, а также шаг его изменения.

Запуск процесса возможен в двух вариантах и управляется радиокнопками *Calculate LCE at this point* / *Run continuation*. В первом случае заданное количество ЛХП рассчитывается для текущих значений управляющих параметров и выводится в текстовое поле *Process output*. Во втором случае вычисление проводится для всех значений активного параметра в заданном интервале и с заданным шагом, а результаты выводятся параллельно в текстовое поле и в файл на диске.

Функция, определяемая пользователем (UDF)

Это окно предоставляет пользователю интерфейс к программному модулю **proc_udf.c**, расположенному в подкаталоге модели. При отсутствии этого файла в указанном месте, используется его шаблон-прототип из подкаталога **c_src** каталога, где размещен ANONS.

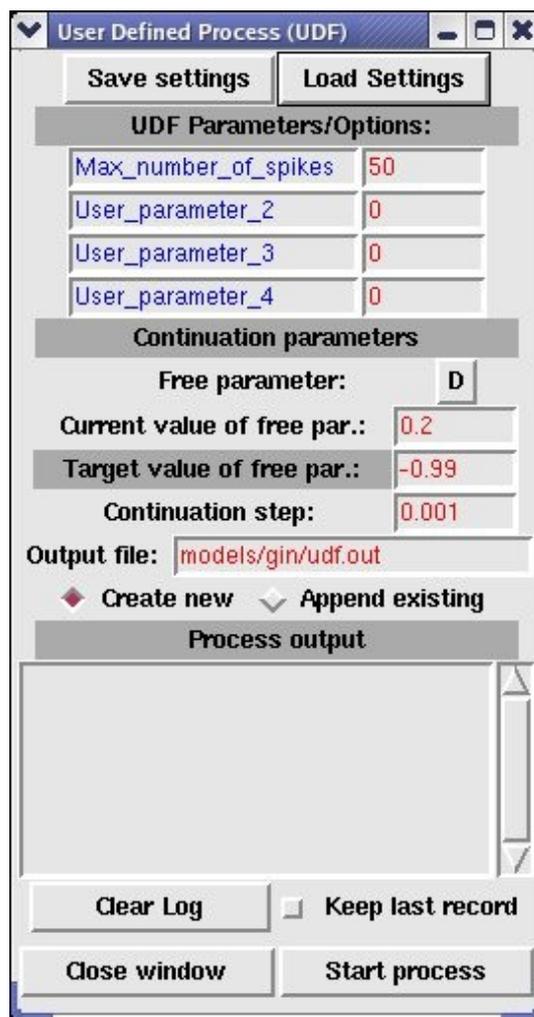
Данный программный модуль позволяет пользователю дополнить стандартные возможности программного комплекса применительно к конкретной модельной системе.

Верхние четыре строки полей ввода дают возможность определить параметры численной схемы в соответствии с потребностями пользователя. Слева

указывается имя нового параметра, справа – его значение.

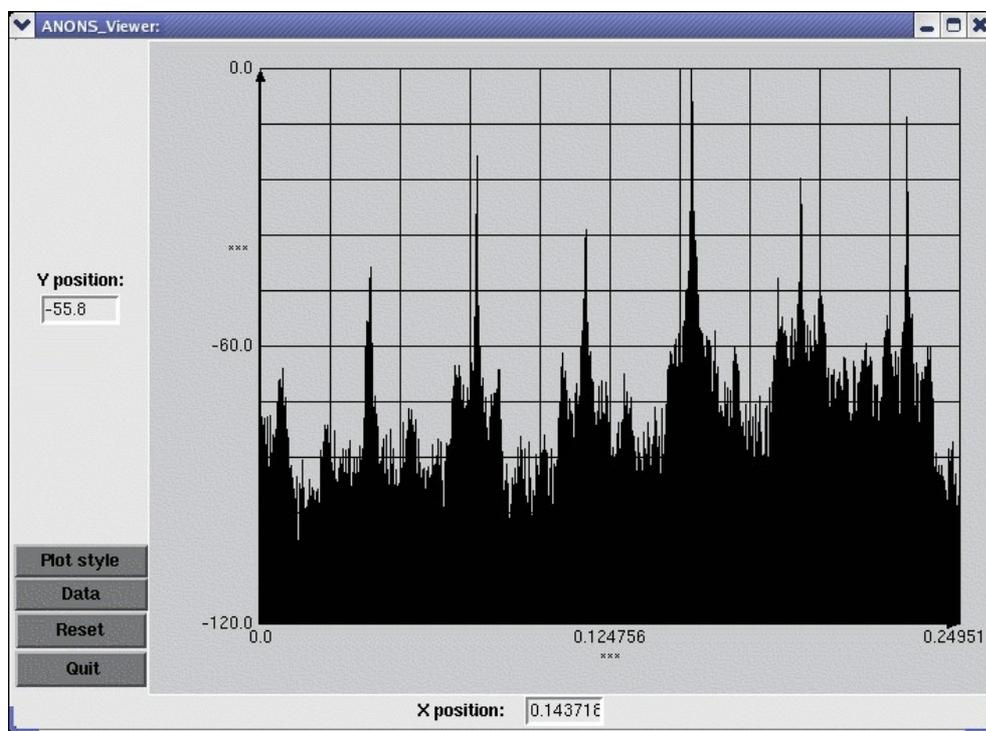
Предполагается, что типичной задачей при исследовании нелинейных систем является построение графика какой-либо рассчитанной величины в зависимости от значения одного или нескольких управляющих параметров. В соответствии с этим окно данного процесса содержит блок органов управления «протяжкой» по активному параметру в *Continuation parameters*, и возможность указания имени файла для вывода результатов.

Использование данного процесса определяется потребностями и квалификацией пользователя. Изначально файл **proc_udf.c** содержит лишь подготовительные (считывание файлов состояния и параметров) операции и пример вызова подпрограммы интегрирования в цикле по активному параметру. Пользователь свободен дополнить текст программы нужным ему алгоритмом и способом вывода результатов.



IV. Программа-просмотрщик `an_viewer.tcl`

Запуск большинства процессов завершается вызовом программы просмотрщика, внешний вид окна которой изображен ниже:



Эта программа является встроенным средством ANONS для визуализации и предварительного просмотра двумерной графики. Ее назначение – оценить результаты расчета и либо вернуться к работе с ядром, удалив созданные процессом файлы, либо сохранить/экспортировать результаты для изготовления иллюстративного материала. При запуске нескольких процессов одновременно или при последовательном запуске нескольких однотипных процессов открывается несколько копий программы-просмотрщика, каждая из которых «привязана» к породившему ее процессу.

Органы управления программы-просмотрщика позволяют подбирать наиболее удобный стиль представления графика в меню *Plot style*, а также выполнять ряд действий в меню *Data*: просматривать заголовочную часть файла результатов (*View data header*), сохранять файл данных (*Data/Save datafile as..*), экспортировать график во внешнюю графическую программу (*Transfer Data to xmgrace*) и др.

При каждом вызове программы-просмотрщика в результате завершения процесса с ней оказываются ассоциированы временные файлы данных и графическое окно-индикатор процесса. Временные файлы данных имеют уникальное имя, созданное на основе текущего времени и имеющее вид последовательности цифр. При завершении работы программы просмотрщика кнопкой *Quit* эти файлы уничтожаются вместе с закрытием программы. При завершении работы просмотрщика другими средствами временные файлы данных могут накапливаться в каталоге, где размещен ANONS. В этом случае их можно удалить вручную.