

NumSim 2.0

Руководство пользователя



Саратов, 2018

Разделы

1. ВВЕДЕНИЕ	3
1.1. Краткое описание возможностей	3
1.2. Уровень подготовки пользователя	3
1.3. Авторы и авторские права	3
2. НАЗНАЧЕНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ NUMSIM 2.0	4
3. ОТЛИЧИЯ ОТ ПРЕДЫДУЩЕЙ ВЕРСИИ	4
4. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ	5
4.1. Главное окно	5
4.2. Загрузка предустановленной системы (для лабораторных работ)	5
4.3. Загрузка системы из файла	6
4.4. Интегрирование/итерирование системы	7
4.4.1. Задание параметров системы и начальных условий	7
4.4.2. Задание параметров интегрирования	7
4.4.3. Задание параметров графика	8
4.4.4. Первый запуск интегрирования	8
4.5. Особые действия с полем графика	9
4.5.1. Основные действия в поле графика	9
1 – Выбор новых начальных условий	9
2 – Добавление нового графика	10
3 – Соединение точек линиями	10
4 – Очитка рисунка	10
5 – Автомасштабирование	10
6 – Экспорт графика	10
4.5.2. Масштабирование графика	11
4.6. Экспорт данных	11
4.6. Особые функции при интегрировании/итерировании системы	11
4.6.1. Интегрирование в обратном времени	11
4.6.2. Добавление аддитивного белого гауссовского шума	12
4.6.3. Добавление внешнего воздействия	12
4.7. Добавление своей системы	14
5. АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ	17

1. Введение

1.1. Краткое описание возможностей

NumSim – аббревиатура от Numerical Simulation, это программный комплекс, предоставляющий пользователю разнообразные возможности по исследованию динамики математических моделей нелинейных систем, сводя при этом к минимуму необходимость в самостоятельном программировании. NumSim написан на языке программирования C++ с использованием компонент QT, кроссплатформенного инструментария разработки ПО.

1.2. Уровень подготовки пользователя

Пользователь должен иметь опыт работы с UNIX- операционными системами, а также обладать следующими знаниями:

- знать соответствующую предметную область;
- знать теоретические основы нелинейной динамики;
- понимать модели соответствующей предметной области;

Квалификация пользователя должна позволять:

- формировать отчеты по полученным результатам;
- осуществлять анализ данных.

1.3. Авторы и авторские права

Версия 2.0 программного комплекса создана в 2018 г. на кафедре радиофизики и нелинейной динамики ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского». Автор-разработчик: Н.И. Семенова. NumSim является программным продуктом с открытым кодом (Open Source software) и распространяется в соответствии с General Public License (GPL). Текущая версия доступна на сайте <http://chaos.sgu.ru> или <http://semenova.com.ru/NumSim>.

2. Назначение и условия применения NumSim 2.0

Программный комплекс может эффективно использоваться для:

- Обучения студентов основам нелинейной динамики;
- Изучения и освоения методов численного анализа нелинейных систем;
- Разработки и тестирования новых математических моделей, в том числе многопараметрических и высокой размерности.
- Многостороннего анализа динамики нелинейных систем в рамках научно-исследовательской работы.
- Построения фазовых портретов динамических систем
- Построения реализаций динамических систем
- Интегрирования систем дифференциальных уравнений 1-го порядка
- Итерирования отображений

Текущая версия программного комплекса **не предназначена** для исследования распределенных систем.

3. Отличия от предыдущей версии

- Улучшена стабильность работы программы и производительность
- Появился ряд предустановленных уравнений динамических систем
- Добавлена возможность выбора метода интегрирования
- Появилась возможность добавления mod в систему уравнений
- Пользователь может добавлять внешнее воздействие или белый шум в систему
- Выполнен ряд доработок, которые позволили улучшить взаимодействие с программой
- Выбор цвета графика
- Интегрирование в обратном времени

4. Описание основных операций

4.1. Главное окно

Перед началом работы с NumSim необходимо кликнуть по ярлыку «NumSim» на рабочем столе. Начальная форма программы выглядит следующим образом:

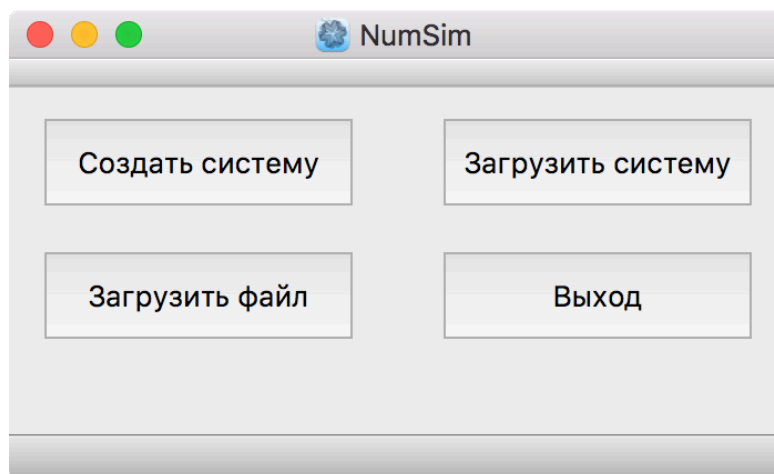


Рис. 1: Основное окно программы NumSim

Дальнейшую работу на программном комплексе NumSim можно разделить на три основных этапа: работа с уже предустановленной системой (*загрузить систему*), загрузка системы из файла (*загрузить файл*) и создание своей системы (*создать систему*). Предполагается, что в учебной деятельности последний пункт не используется.

4.2. Загрузка предустановленной системы (для лабораторных работ)

Для начала работы выберите пункт «*загрузить систему*» в главном окне программы. В программе предустановлен набор основных динамических систем. Окно выбора этих систем приведено на Рис. 2. Левый или правый щелчок мыши позволяет просмотреть заданные уравнения систем. Уравнения системы изменять нельзя, можно задавать только значения параметров и начальные условия. Если уравнения предустановленных систем Вам не подходят, то задайте систему самостоятельно (см. п. 4.7).

После выбора нужной системы нажмите на кнопку «OK». Это приведет к открытию окна, отвечающего за интегрирование (или итерирование) выбранной системы (Рис. 3). Подробнее это будет рассмотрено в п. 4.4.

В разделе загрузки предустановленной системы не предусмотрено какого-либо ввода данных, что исключает возникновение ошибок. Если появляется ошибка, связанная с загрузкой систем, значит произошёл внутренний сбой. Для его исправления следует зайти в папку ~/Documents/, и удалить оттуда папку NumSim. Однако эта ошибка может возникнуть только вследствие умышленных поломок.

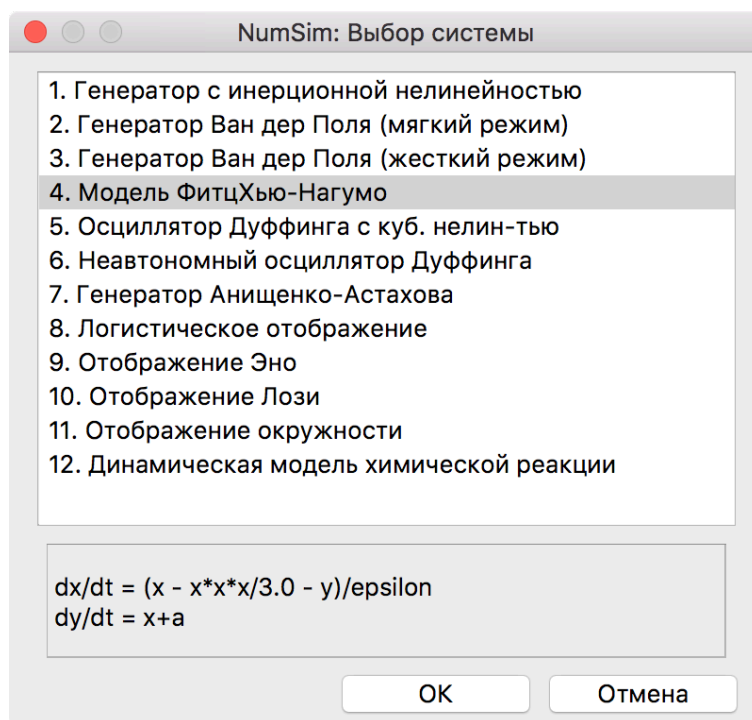


Рис. 2: Окно выбора предустановленной системы

4.3. Загрузка системы из файла

Для загрузки своего уравнения системы из файла выберите «*загрузить файл*» в главном окне NumSim. После этого откроется меню выбора файла. Программа воспринимает только файлы с расширением “*.sem”. Если Ваш файл не отображается, убедитесь, что файл имеет нужное расширение.

ВНИМАНИЕ! Не пытайтесь создавать загрузочный файл вручную. Скорее всего, это приведет к ошибке при загрузке «*Неверный формат данных*». Для создания своей системы уравнений см. п. 4.7.

Если формат входного файла корректен, то откроется окно интегрирования или итерирования выбранной системы (Рис. 3). Для продолжения работы см. п. 4.4.

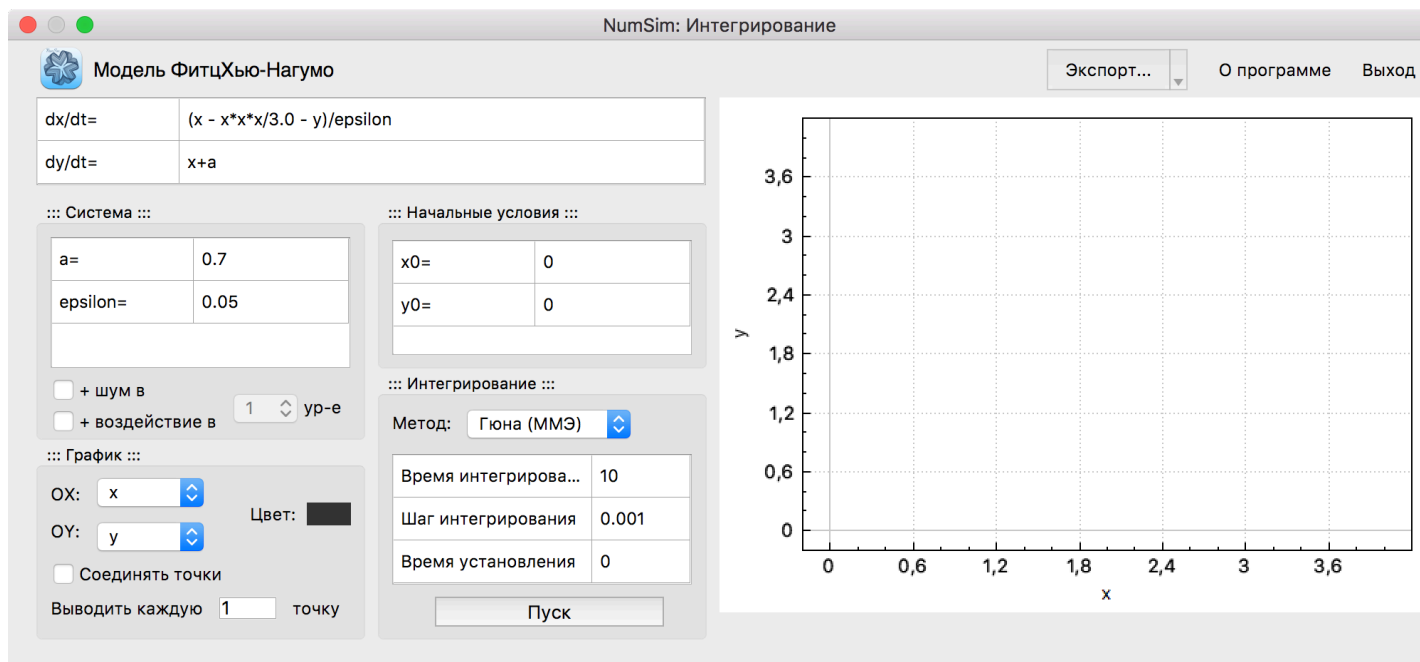


Рис. 3: Типовое окно интегрирования системы

4.4. Интегрирование/итерирование системы

Окно интегрирования системы приведено на Рис. 3. Оно открывается при выборе системы ОДУ первого порядка. В случае выбора отображения окно может незначительно отличаться.

4.4.1. Задание параметров системы и начальных условий

Загрузите систему в соответствии с пп. 4.2. или 4.3.

В окне, показанном на Рис.3, в разделе «*::: Система :::*» можно изменять все значения параметров системы. Названия параметров изменять нельзя.

В окне, показанном на Рис.3, в разделе «*::: Начальные условия :::*» можно изменять все начальные условия.

4.4.2. Задание параметров интегрирования

Параметры интегрирования системы задаются в разделе «*::: Интегрирование :::*». В случае, если исследуемая система является системой ОДУ первого порядка, возможно изменение следующих параметров:

- 1) Метод интегрирования: Гюна (модифицированный метод Эйлера), Эйлера или Рунге-Кутты 4-го порядка.
- 2) Время интегрирования T . Для учебных ознакомительных целей рекомендуется $T=100$. При необходимости время можно увеличить.
- 3) Шаг интегрирования h . Чем меньше шаг интегрирования, тем точнее будет результат. Рекомендуемое значение для учебных ознакомительных целей: $h=0.01$ или $h=0.001$.

- 4) Время установления. Время установления – это время, которое будет отбрасываться. При этом время интегрирования T добавляется к времени установления. Поэтому время установления может быть больше времени интегрирования.

Если же исследуемая система является отображением, то можно задавать следующие параметры:

- 1) Количество итераций;
- 2) Время установления.

При построении графика по умолчанию выводятся все точки, но для облегчения графика можно задавать количество отбрасываемых точек. Для этого увеличьте значение в строке «*Выводить каждую ... точку*».

4.4.3. Задание параметров графика

Параметры отображения графика задаются в разделе «*::: График :::*». Здесь можно выбрать, что будет откладываться по горизонтальной и вертикальной координатным осям (« OX », « OY », соответственно). Если в системе только одна фазовая переменная, то можно построить только реализацию. Если несколько – фазовый портрет. В случае итерирования отображений допускается построение итерационной диаграммы.

По умолчанию все графики строятся при помощи точек, но можно добавить соединение линиями. Для этого нужно поставить галочку в поле «*Соединять точки*».

В поле «*Цвет*» можно выбирать цвет следующего графика.

4.4.4. Первый запуск интегрирования

- 1 – задать все параметры системы и начальные условия (п. 4.4.1)
- 2 – задать все параметры интегрирования (п. 4.4.2)
- 3 – задать параметры отображения графика
- 4 – нажать кнопку «*Пуск*»

ВАЖНО! При повторных нажатиях на кнопку «*Пуск*» предыдущее содержимое графика будет удаляться. Чтобы добавить к имеющимся графикам новый, воспользуйтесь следующим разделом 4.5.

4.5. Особые действия с полем графика

Поле графика остается неактивным до добавления первого графика. На рисунке 4 показан вид этого поля после добавления первого графика.

В поле графика имеется функция отслеживания координат курсора. Координаты отображаются в правом нижнем углу окна («ОХ: 0.398159 ОУ: 0.402178» на Рис. 4). При помощи левой кнопки мыши осуществляется изменение масштаба и «перетаскивание» графика вдоль по осям. При помощи правой кнопки мыши можно производить различные действия с графиком (см. П. 4.5.1).

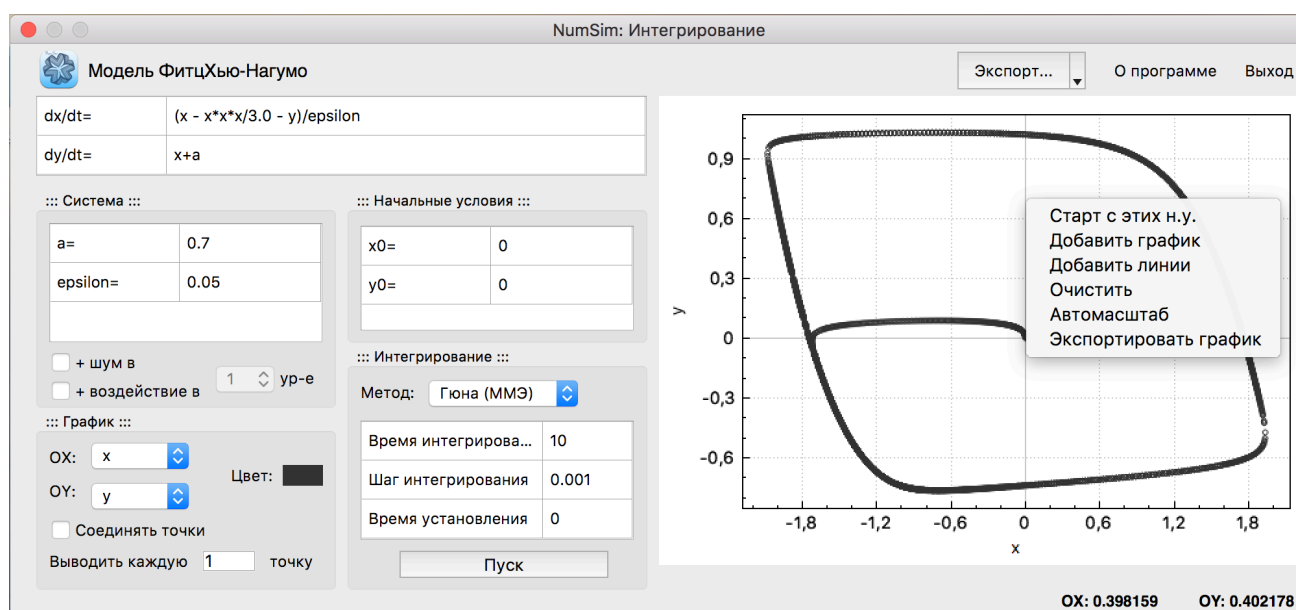


Рис. 4: Типовое окно интегрирования системы с уже построенным графиком.

4.5.1. Основные действия в поле графика

При нажатии правой кнопки мыши в поле графика появляется выпадающее меню, показанное на Рис. 4. Ниже описаны основные действия.

1 – Выбор новых начальных условий

Программа запоминает координаты курсора в поле графика. Чтобы построить график с определенных начальных условий, переведите курсор в место, из которого Вы хотите начать построение, щелкните правой кнопкой мыши и выберите «Старт с этих н.у.» в выпадающем меню.

В этом случае к имеющемуся графику добавится новый график. Новые начальные условия автоматически заносятся в раздел «::: Начальные условия :::». Все остальные параметры будут задаваться в соответствии с текущими параметрами, указанными в форме.

2 – Добавление нового графика

Повторное нажатие на «Пуск» приводит к полному удалению предыдущего содержимого графика и добавлению одного нового графика. Если Вы хотите построить на одном рисунке несколько графиков, воспользуйтесь функцией «Добавить график». Это будет полезно, например, для исследования влияния разных параметров системы (см. Рис. 5). Новый график имеет случайный цвет.

Также эта функция выделяет последний график. Для этого не меняйте параметры системы и интегрирования, а сразу добавляйте график для тех же параметров поверх уже имеющихся.

3 – Соединение точек линиями

Если Вы забыли при построении графика выбрать соединение точек линиями, то можно добавить линии поверх уже имеющегося графика. Для этого в выпадающем меню выберите «Добавить линии».

4 – Очитка рисунка

Для удаления всех графиков выберите «Очистить» в выпадающем меню.

5 – Автомасштабирование

Если вы добавили график, но он не отобразился, значит, скорее всего, он попал за пределы рассматриваемого фазового портрета или реализации. Чтобы это исправить, выберите «Автомасштаб» в выпадающем меню.

6 – Экспорт графика

Полученный рисунок можно экспортировать в png-формате. Для этого в выпадающем меню выберите «Экспортировать график».

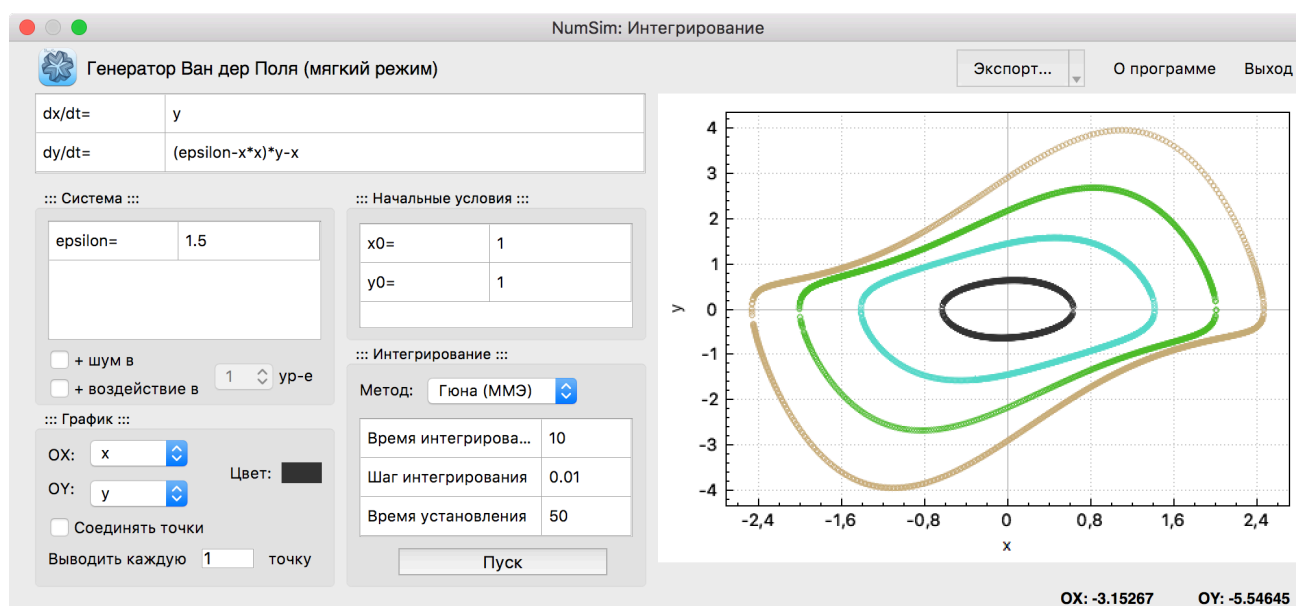


Рис. 5: Пример построения нескольких графиков для разных параметров системы.

4.5.2. Масштабирование графика

Перемещение графика вдоль горизонтальной и вертикальной осей осуществляется при помощи нажатой левой кнопки мыши.

Для изменения масштаба одной из осей щелкните по ней левой кнопкой мыши. После этого числа координатной оси подсвечиваются красным цветом. Масштабирование осуществляется при помощи прокрутки. Для окончания масштабирования кликните левой кнопкой мыши в любой области графика.

Для приближения конкретной области графика установите курсор в эту область и выполните действие прокрутки.

Если выбранный масштаб Вас не устраивает, выберите «Автомасштаб» в выпадающем меню (п. 4.5.1).

4.6. Экспорт данных

Программа поддерживает три основных типа экспорта данных:

- 1) **Экспорт графика**. Сохраняет полученный рисунок в виде png-картинки.
- 2) **Экспорт реализации**. Сохраняет данные последней реализации, по которой в дальнейшем можно построить свой график.

Реализация для непрерывной системы сохраняется в виде $(n+1)$ столбцов, где n – это размерность системы. 1 – время t , 2 – первая фазовая переменная x , 3 – вторая фазовая переменная y и т.д.

Реализация для отображения сохраняется в виде $(2n+1)$ столбцов, где n – это размерность системы. Например, для двумерной системы: 1 – номер итерации i , 2 – значение первой переменной x_i , 3 – значение второй переменной y_i , 4 – значение первой переменной на предыдущем шаге x_{i-1} , 5 – значение второй переменной на предыдущем шаге y_{i-1} .

- 3) **Экспорт программы**. Экспортирует C++ программу, которая позволяет получить все результаты для выбранной системы самостоятельно.

Для выполнения вышеперечисленных действий, нажмите кнопку «Экспорт...» на форме интегрирования.

ВНИМАНИЕ: Не забывайте добавлять расширение к создаваемым файлам!!!

4.6. Особые функции при интегрировании/итерировании системы

4.6.1. Интегрирование в обратном времени

Для решения некоторых задач необходимо интегрировать систему в обратном времени. Для этого нужно задать отрицательный шаг интегрирования.

4.6.2. Добавление аддитивного белого гауссовского шума

Для добавления белого гауссовского шума поставьте галочку напротив «+ шум» в разделе «::: Система :::». Это приводит к появлению нового параметра D – интенсивности шума (см. Рис. 6). Воздействие можно добавлять в любое уравнение системы. Этот параметр задается в этом же разделе.

В случае шумового воздействия интегрирование осуществляется только при помощи метода Гюна.

Модель ФитцХью-Нагумо

dx/dt=	(x - x*x*x/3.0 - y)/epsilon + sqrt(2D)*xi(t)
dy/dt=	x+a

::: Система :::

a=	0.7
epsilon=	0.05
D=	0

☒ + шум в ☐ + воздействие в ур-е

::: Начальные условия :::

x0=	0
y0=	0

::: Интегрирование :::

Метод: Гюна (ММЭ)

Время интегрирова...	10
Шаг интегрирования	0.001
Время установления	0

Пуск

График:

OX: x OY: y Цвет: [black square]

☐ Соединять точки

Выводить каждую 1 точку

Рис. 6: Добавление шумового воздействия.

4.6.3. Добавление внешнего воздействия

Для добавления внешнего воздействия поставьте галочку напротив «+ воздействие» в разделе «::: Система :::» (см. Рис. 7). Воздействие можно добавлять в любое уравнение системы. Этот параметр задается в этом же разделе.

Воздействие может зависеть от времени и переменных системы. Например,

$\Phi = \sin(t*x/100.0)$ для непрерывной системы. Здесь t – время.

$\Phi = \sin(n*x/100.0)$ для отображения. Здесь n – номер итерации.

Для задания особого внешнего воздействия, включающего условия, нажмите на «...» в том же разделе. В появившейся форме (Рис. 7) можно задавать несколько условий, но для этого они должны удовлетворять следующим синтаксическим требованиям:

1. (условие) ? (действие при выполнении условия)
2. (условие) ? (действие при выполнении условия) : (действие при невыполнении)
3. несколько условий сразу:
(условие1) ? (действие при выполнении условия1) : (действие при невыполнении условий 1 и 2);
(условие2) ? (действие при выполнении условия2);

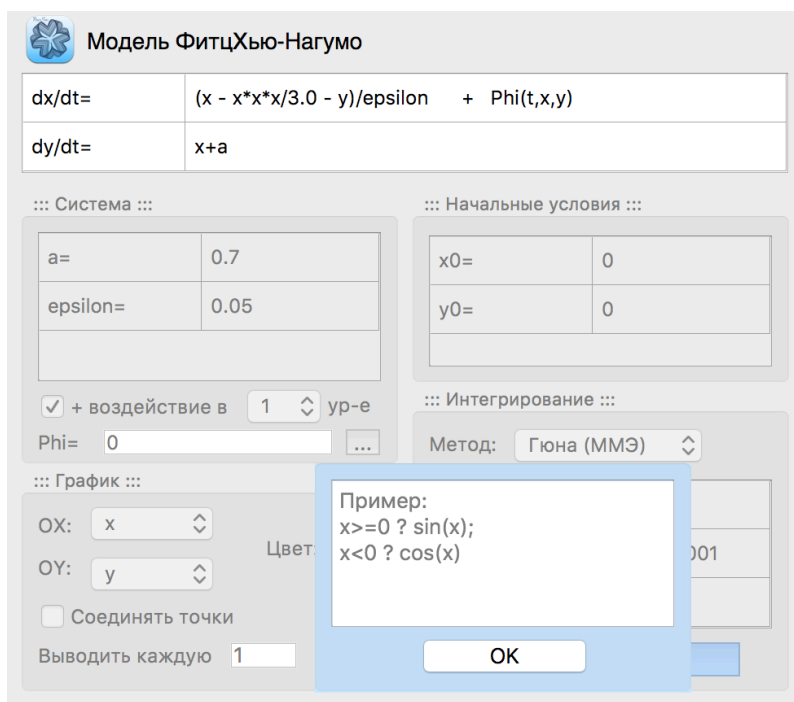


Рис. 7: Добавление особого внешнего воздействия.

Требования к условиям такие же, как и в языке программирования Си:

! (условие)	отрицание
x==0	проверка на равенство
x!=0	проверка на неравенство
(условие1) && (условие2)	логическое И
(условие1) (условие2)	логическое ИЛИ

4.7. Добавление своей системы

Для добавления своей системы выберите «Создать систему» в главном окне приложения (Рис. 1). После нажатия появляется соответствующее окно, приведенное на Рис. 8,а.

Для продолжения требуется ввести следующие данные:

- 1) название системы
- 2) число переменных
- 3) число параметров
- 4) тип системы. В качестве типа системы можно выбрать два варианта: система ОДУ 1-го порядка, отображение.

После задания количества переменных и параметров пользователю предлагается задать их названия и сами уравнения. Значения всех появившихся полей можно изменять (см. Рис. 8,б).

(а)

NumSim: Создать систему

Название:

Число переменных:

Название	Уравнение производной
----------	-----------------------

Число параметров:

Название	Значение по умолчанию
----------	-----------------------

Тип системы:

☒ ОДУ 1-го порядка

☐ Отображение

(б)

NumSim: Создать систему

Название: Система ФитцХью-Нагумо

Число переменных:

Название	Уравнение производной
1 x	$(x - x*x*x/3.0 - y)/\epsilon$
2 y	$x+a$

Число параметров:

Название	Значение по умолчанию
1 epsilon	0.01
2 a	1.05

Тип системы:

☒ ОДУ 1-го порядка

☐ Отображение

Рис. 8: Окно создания своей системы уравнений.

Для добавления ограничения mod в уравнение нажмите на кнопку «modulo». В появившемся меню (Рис. 9) можно задать все необходимые параметры:

- 1) в какое именно уравнение добавляется mod;
- 2) значение.

После задания необходимых параметров нужно нажать кнопку «Добавить mod». Если всё правильно, то в уравнении системы добавится «| mod значение».

Чтобы удалить эту функцию, выберите необходимое уравнение и нажмите «Отменить mod».

Рис. 9: Добавление mod в уравнение.

При задании уравнений обратите внимание, что на вводимое уравнение накладываются требования языка Си. Это означает, что для деления одного числа на другое следует писать, например, $x/3.0$. А для возведение x в степень 3 требуется написать $x*x*x$ или $\text{pow}(x,3)$. Ниже приведен короткий перечень математических функций.

Функция	Описание	Пример
$\text{abs}(a)$	модуль или абсолютное значение от a	$\text{abs}(-3.0) = 3.0$ $\text{abs}(5.0) = 5.0$
$\text{sqrt}(a)$	корень квадратный из a , причём a не отрицательно	$\text{sqrt}(9.0) = 3.0$
$\text{pow}(a, b)$	возведение a в степень b	$\text{pow}(2,3) = 8$
$\text{ceil}(a)$	округление a до наименьшего целого, но не меньше чем a	$\text{ceil}(2.3) = 3.0$ $\text{ceil}(-2.3) = -2.0$
$\text{floor}(a)$	округление a до наибольшего целого, но не больше чем a	$\text{floor}(12.4) = 12$ $\text{floor}(-2.9) = -3$
$\text{fmod}(a, b)$	вычисление остатка от a/b	$\text{fmod}(4.4, 7.5) = 4.4$ $\text{fmod}(7.5, 4.4) = 3.1$

Функция	Описание	Пример
$\exp(a)$	вычисление экспоненты e^a	$\exp(0)=1$
$\sin(a)$	a задаётся в радианах	
$\cos(a)$	a задаётся в радианах	
$\log(a)$	натуральный логарифм a (основанием является число e)	$\log(1.0)=0.0$
$\log_{10}(a)$	десятичный логарифм a	$\log_{10}(10)=1$
$\text{asin}(a)$	арксинус a, где $-1.0 < a < 1.0$	$\text{asin}(1)=1.5708$

ВНИМАНИЕ: Программа не проверяет правильность уравнений! После нажатия на кнопку «ОК» их уже нельзя будет изменить. **Внимательно проверяйте всё, что вводите в поля!**

После заполнения всех необходимых полей, нажмите на кнопку «ОК» и выберите название файла и путь сохранения. **Не забудьте добавить расширение “.sem”**

5. Аварийные ситуации

Ошибка	Описание	Требуемые действия при возникновении
##### При создании системы: #####		
Название системы не задано	---	В форме создания системы обязательно должно быть название системы
Должна быть хотя бы одна переменная	При создании системы не задано ни одной переменной	Добавьте переменные в поле «Число переменных»
Заданы не все поля переменных	Не заданы уравнения системы	Задайте уравнения системы (все!)
Неприемлемые символы в значениях параметров	Значение параметра должно быть числом	Задайте нормальные параметры. Целая и дробная части разделяются точкой
Нет такого уравнения	Вы добавляете модуль в несуществующее уравнение	Не добавляйте mod в несуществующее уравнение. Скорее всего, уравнения еще вообще не добавлены
В уравнении нет mod	Вы отменяете mod в уравнении, в котором его нет	Если так нужно убрать mod, попробуйте с другим уравнением
##### При загрузке файла: #####		
	Я открываю нужную папку, а файла там нет	Проверьте, что файл имеет расширение .sem
Файл не задан	Вы нажали на кнопку «отмена»	
Неверный формат данных	Вы пытаетесь открыть файл, который не был создан программой NumSim	Попробуйте сломать программу как-нибудь по-другому
##### При загрузке системы: #####		
Файл не найден	Эта ошибка может возникнуть только если кто-то специально ломает программу	Перезагрузить и перестать лазить по папке «Документы»
Некоторые уравнения не удалось загрузить	Эта ошибка может возникнуть только если кто-то специально сломал программу	Поздравляю! Вам все же удалось сломать программу. Обратитесь к разработчику или переустановите программу
Я загружаю одну систему, а в итоге загружается другая система	Эта ошибка может возникнуть только если кто-то специально сломал программу	Перейдите в папку «Документы» и удалите папку «NumSim»
##### При интегрировании/итерировании системы: #####		

Параметры заданы неправильно	Значение параметра должно быть числом	Задайте нормальные параметры. Целая и дробная части разделяются точкой
Н.у. заданы неправильно	Значения начальных условий должны быть числами	Задайте нормальные начальные условия. Целая и дробная части разделяются точкой
Параметры интегрирования заданы неправильно	---	Параметры интегрирования должны быть числами. Целая и дробная части разделяются точкой
Параметры итерирования заданы неправильно	---	Параметры итерирования должны быть числами. Целая и дробная части разделяются точкой
Неправильное условие	При задании особого внешнего воздействия возникла ошибка	Проверьте правильность задаваемого условия (см. п. 4.6.3)
0 в «Phi=» не удаляется	---	Задайте сначала какое-нибудь значение, а потом удалите 0.
Не удалось скомпилировать программу! Проверьте правильность всех параметров и уравнений	---	Проверьте все значения полей. Скорее всего, где-то есть неправильные значения, функции или названия переменных и параметров не совпадают с тем, что есть в уравнениях
Программа зависла	---	Перезагрузите программу. Попробуйте в следующий раз уменьшить время интегрирования, увеличить шаг интегрирования или выводить не каждую первую точку. Рекомендуемые значения: время интегрирования – не больше 100, шаг интегрирования – не меньше 0.001. Оптимальные значения – 10 и 0.01, соответственно.