

## **Разработка и применение пакета расширения Spektr\_SM системы VisSim+Mathcad**

В.В. Рыбин

*В настоящее время для визуального математического моделирования используются интегрированные системы Simulink+Matlab[4] и VisSim+Mathcad [5, 10, 11]. Для изучения теории систем автоматического регулирования и управления на базе системы VisSim создан учебно-методический комплекс[8]. Для изучения спектральной формы математического описания систем управления разработан и применяется в процессе обучения пакет расширения Spektr\_SM [2] системы Simulink+Matlab.*

*В данной статье рассмотрены технологические особенности разработки пакета расширения Spektr\_SM системы VisSim+Mathcad, который базируется на пакете расширения MLSY\_SM [1] СКМ Mathcad, а ввод постановки задачи осуществляется с использованием функциональной блок-схемы системы управления. Дается характеристика и описание пакета. Приводятся примеры составления моделей системы управления и их расчета с использованием пакета расширения Spektr\_SM системы VisSim+Mathcad.*

### **1. Технологические особенности разработки пакета Spektr\_SM системы VisSim+Mathcad.**

Пакет расширения Spektr\_SM и технология его разработки в интегрированной среде Simulink+Matlab рассмотрены в работе [2]. Однако вызывают интерес универсальные системы визуального моделирования (СВМ), способные к интеграции с другими СКМ. СВМ VisSim (версии 4.5 и 5.0) интегрируются с СКМ Mathcad [5, 9,10]. На базе интегрированной системы VisSim+Mathcad можно создать пакет расширения Spektr\_SM, проект и технология создания которого (см. рис. 1) подобны пакету Spektr\_SM+ Simulink+Matlab [2].

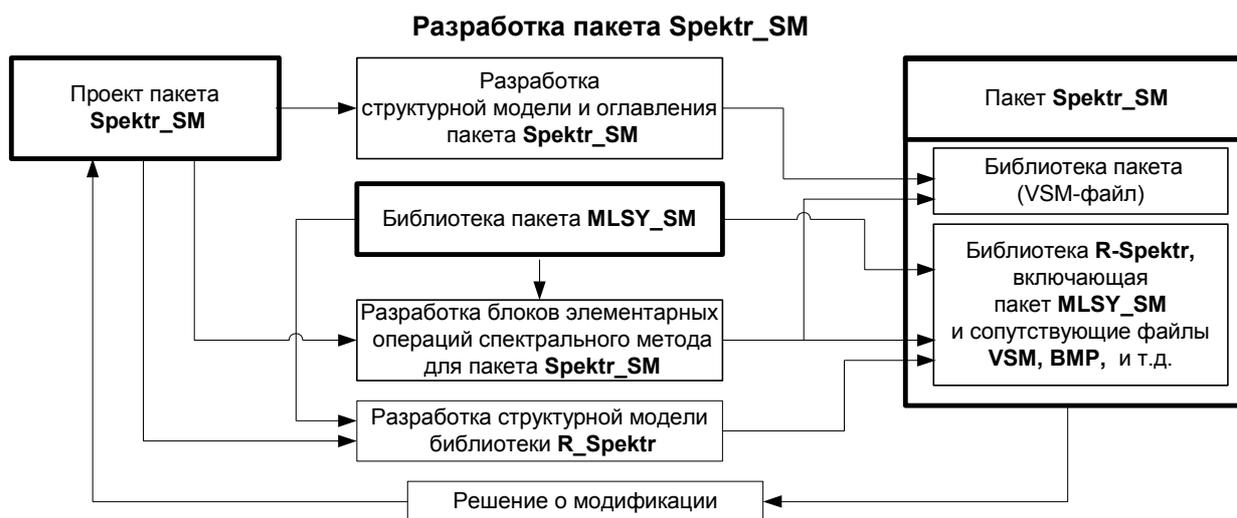


Рис. 1.

Существует две технологии создания библиотек расширения пакета VisSim, позволяющие внедрять в систему собственные процедуры и функции. Первая - создание библиотечных модулей, используя технологию создания внешних "dll-моделей" [7]. По этой технологии пользователь может, используя известный ему язык программирования C, C++, Pascal (Delphi), Basic, Fortran, создавать собственные процедуры и функции. Существенно упростить процесс создания блока пользователя по этой технологии позволяет мастер dllWizard, который встраивается в программу MS Visual C++ 6 [9]. Вторая – основана на механизме создания субблоков и механизме интеграции VisSim с Mathcad, которая осуществляется путем применения специализированных блоков – объектов Mathcad Object. По этой технологии пользователь может внедрять собственные процедуры и функции, написанные на языке системы Mathcad, в моделирующую программу VisSim.

Технологические особенности процесса разработки версии пакета Spektr\_SM+ VisSim+Mathcad диктуются специализированным механизмом создания собственных блоков и библиотек пакета VisSim. Здесь рассматривается библиотека блоков пакета Spektr\_SM разработанная на уровне субблоков средствами основной библиотеки блоков и технологии встраивания Mathcad-блоков в диаграмму VisSim.

Проект пакета Spektr\_SM содержит:

- 1) проект структурной модели и оглавления пакета Spektr\_SM;
- 2) проект структурной модели библиотеки R\_Spektr;
- 3) проект системы блоков элементарных операций спектрального метода.

Рассмотрим реализацию этих проектов средствами пакета VisSim.

## 2. Разработка структурной модели и оглавления пакета расширения Spektr\_SM

Механизм разработки структуры библиотеки блоков и оглавления пакета Spektr\_SM отражает схема, расположенная на рис. 2.

В процессе разработки проекта пакета Spektr\_SM была разработана версия структурной модели и оглавления пакета Spektr\_SM следующего вида:

1. НСХ сигналов и систем.
  - 1.1. Одномерных сигналов.
  - 1.2. Двумерных сигналов.
2. ДНПФ систем управления.
  - 2.1. ДНПФ непрерывных систем.
  - 2.2. ДНПФ дискретных систем.
  - 2.3. ДНПФ непрерывно-дискретных систем.
  - 2.4. ДНХС.
  - 2.5. ДНПФ начальных значений.
  - 2.6. ДНПФ соединения с обратной связью.
3. ОП сигналов и систем.
  - 3.1. ОП ОНСХ.
  - 3.2. ОП ДНСХ.
  - 3.3. ОП ДНПФ.
4. Графики - специальные регистраторы.
5. Задание и выбор базисной системы.
  - 5.1. Непрерывные системы.
  - 5.2. Дискретные системы.
  - 5.3. Непрерывно-дискретные системы.



Рис. 2

Для каждого раздела библиотеки Spektr\_SM разрабатывается своя индивидуальная пиктограмма. Пиктограмму для VisSim можно создать, используя практически любой графический редактор или файл графического формата, который поддерживается системой VisSim. Технология создания пиктограммы включает технологию создания графического файла:

- 1) Сначала разрабатывается версия формулы (рисунок).

- 2) Затем данная формула набирается в текстовом редакторе Word при помощи редактора математических формул Microsoft Equation.
- 3) Далее формула копируется через буфер в графический редактор Paint и преобразуется в файл графического формата (например, формата BMP) и запоминается с нужным названием.

Для создания новой библиотеки необходимо:

- 1) В любом пустом окне VisSim (блок-диаграммы) необходимо задать структуру (ранее разработанную) будущей библиотеки. Для этого в окно библиотеки необходимо перенести любой блок (который после создания библиотеки можно будет удалить) и выделить его.
- 2) Используя команду **Создать составной блок...**(Create Compound Block...) в позиции меню VisSim **Правка** (Edit) выводим окно создания субблока.
- 3) Формируем субблок с нужной пиктограммой и названием, выполняя команду поиска и подключения bmp-файла пиктограммы самого нижнего уровня вложенности.
- 4) Выделяем созданный субблок и, используя команду **Создать составной блок...**, формируем субблок более высокого уровня вложенности.
- 5) Применяем эту технологию до тех пор, пока структура и оглавление создаваемой библиотеки не совпадет с версией структурной модели и оглавления пакета Spektr\_SM.

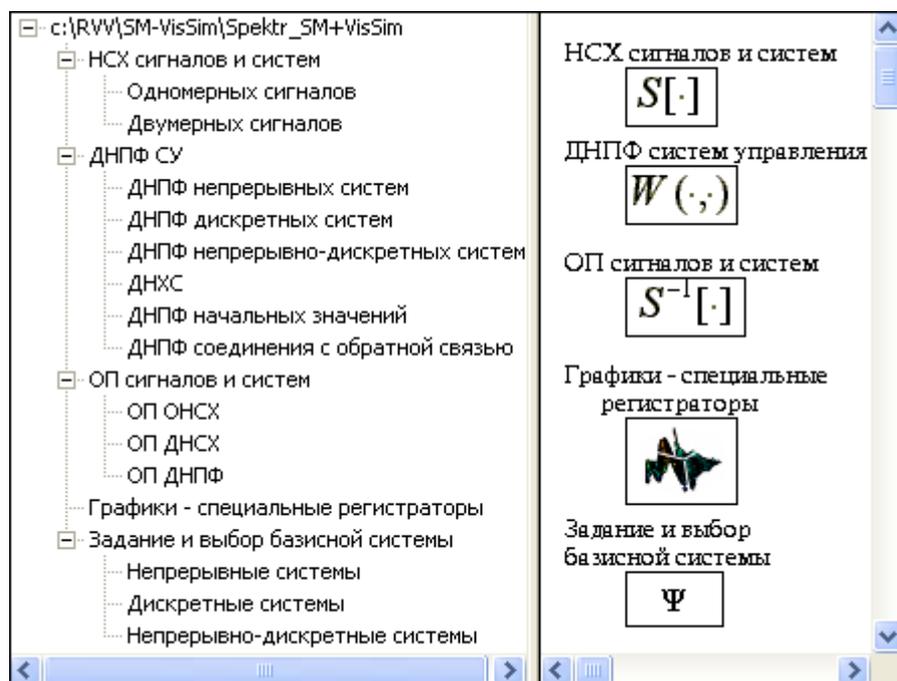


Рис. 3

На рис. 3 показано специальное окно с разделами основной библиотеки пакета Spektr\_SM. В левой части этого окна показана полная структура библиотеки пакета, а в правой части – пиктограммы основных разделов библиотеки.

Созданную пустую форму библиотеки далее необходимо заполнить разработанными блоками пользователя. Сохранить созданную библиотеку на диске нужно с именем Spektr\_SM+VisSim.

### **3. Разработка собственных блоков пакета расширения *Spektr\_SM***

#### **3.1. Разработка структурной модели библиотеки *R\_Spektr***

Разработка блоков элементарных операций спектрального метода сопровождается созданием версий этих блоков (*vsm*-файлы), моделей их отладки (*vsm*-файлы). Эти блоки используют программные модули элементарных операций спектрального метода пакета *MLSY\_SM* [1], через связанные с ними *Mathcad*-файлами и сопутствующими блокам *BMP*-файлами пиктограмм и файлами справочной системы. Размещение всех этих файлов требует создание структурированной библиотеки *R\_Spektr* пакета *Spektr\_SM* (рис. 1), файловую организацию которой смотри в работе [2].

Разработанные версии блоков и сопутствующие им файлы размещаются в соответствующих разделах.

#### **3.2. Технология формирования блока и сопутствующих программ**

Механизм разработки блоков элементарных операций спектрального метода в системе визуального моделирования *VisSim*, на базе пакета *MLSY\_SM* демонстрирует схема, расположенная на рис. 4.

Как видно из схемы, в конечном счёте, версия блока реализуется механизмом создания субблока для разработанной ранее подсистемы, при помощи разработанной версии сопутствующего *mcd*-файла элементарной операции спектрального метода, версии пиктограммы, версии описания блока и справочной документации по блоку. Вследствие этого необходимо рассмотреть механизм создания подсистемы, *mcd*-файла и справочной документации.

**Разработка версии подсистемы блока.** *VisSim* обеспечивает создание моделей, внутри которых располагаются подсистемы (субмодели). Внутри подсистем первого уровня, в свою очередь, могут располагаться подсистемы второго уровня и т.д. Это напоминает ситуацию, когда сложная система набирается из отдельных систем – модулей, каждый из которых, в свою очередь, является системой.

Подсистема (субблок) набирается из стандартных блоков библиотеки *VisSim* и/или встраиванием в нее *Mathcad* блоков. Основное отличие подсистемы заключается в том, что она может иметь входы (*in0*, *in1*, ...) и выходы (*out0*, *out1*, ...). С помощью команды **Добавить выход** (*Add Connector*) в позиции **Правка** меню можно (перемещением **объекта-стрелки** мышью) добавить вход или выход, а с помощью команды **Удалить выход** (*Remove Connector*) удалить вход или выход.

## Разработка блоков элементарных операций спектрального метода для пакета Spektr\_SM

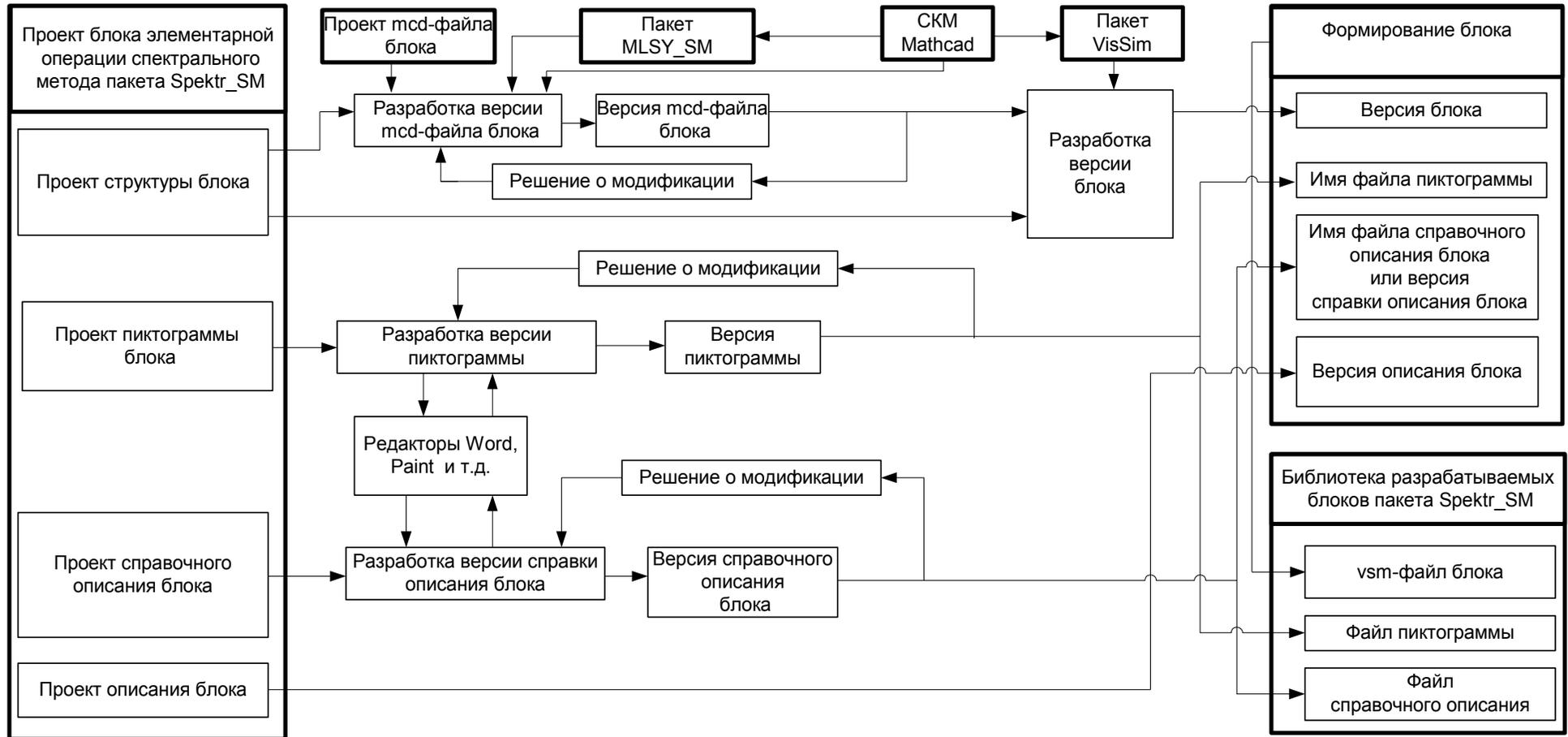


Рис. 4

**Пример 1.** Надо создать подсистему, вычисляющую в системе Mathcad усеченную НСХ [1] входного непрерывного сигнала, заданного в виде аналитической функции, относительно непрерывных базисных функций, идентификаторы которых приведены в приложении 1.1. работы [1].

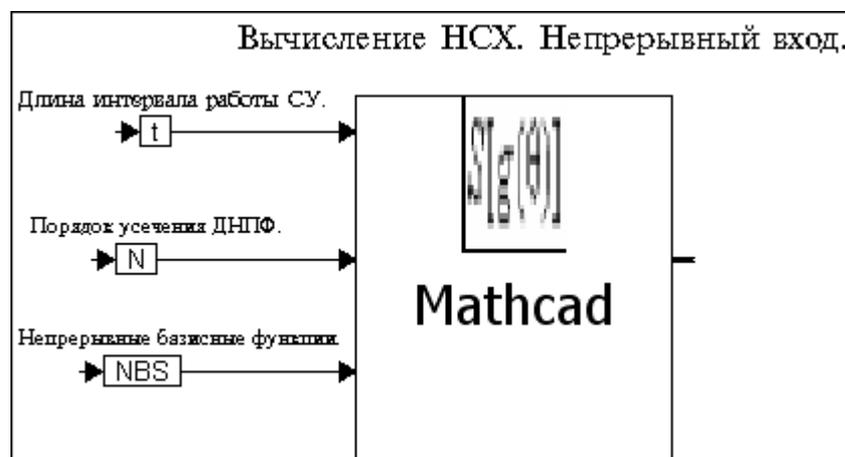


Рис. 5

Решение задачи. Эта подсистема показана на рис. 5. Для создания этой подсистемы необходимо:

- 1) Открыть пустое окно блок-диаграммы системы VisSim.
- 2) Открыть список **Вставить Mathcad-объект** (Insert Mathcad Object) в позиции **Инструменты** (Tools) меню и выполнить команду **Из файла...** (From File...) открытия окна загрузки Mathcad-файлов. Эта команда выводит показанное на рис. 6 окно выбора нужного Mathcad-файла.

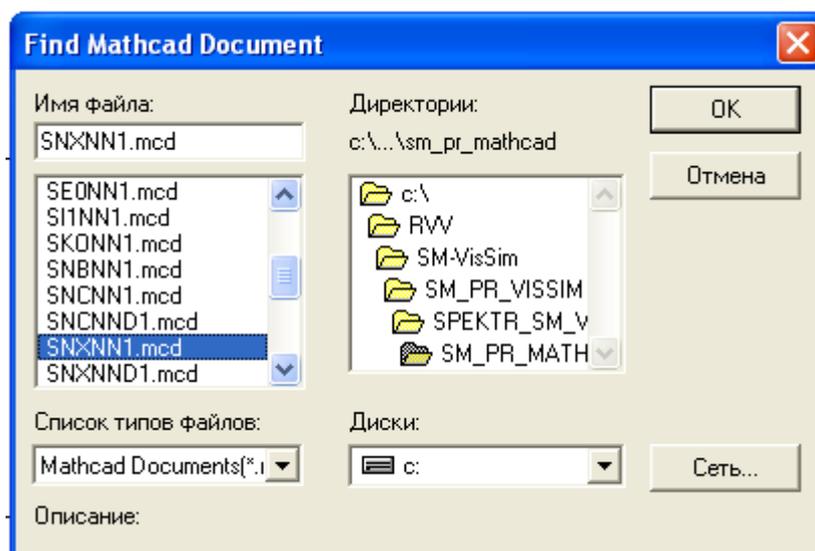


Рис. 6

- 3) Выбрать и загрузить заранее подготовленный и отлаженный Mathcad-файл с именем SNXNN1. При этом в окне модели появится объект системы Mathcad (окно, содержащее файл SNXNN1). Он имеет вид прямоугольника с заштрихованной рамкой с одним входом и одним выходом.

- 4) Одинарным щелчком правой клавиши мыши на объекте системы Mathcad (после его выделения) открываем выпадающее меню (Рис. 7,а) и из него открываем окно свойств Mathcad объекта (Рис. 7,б).

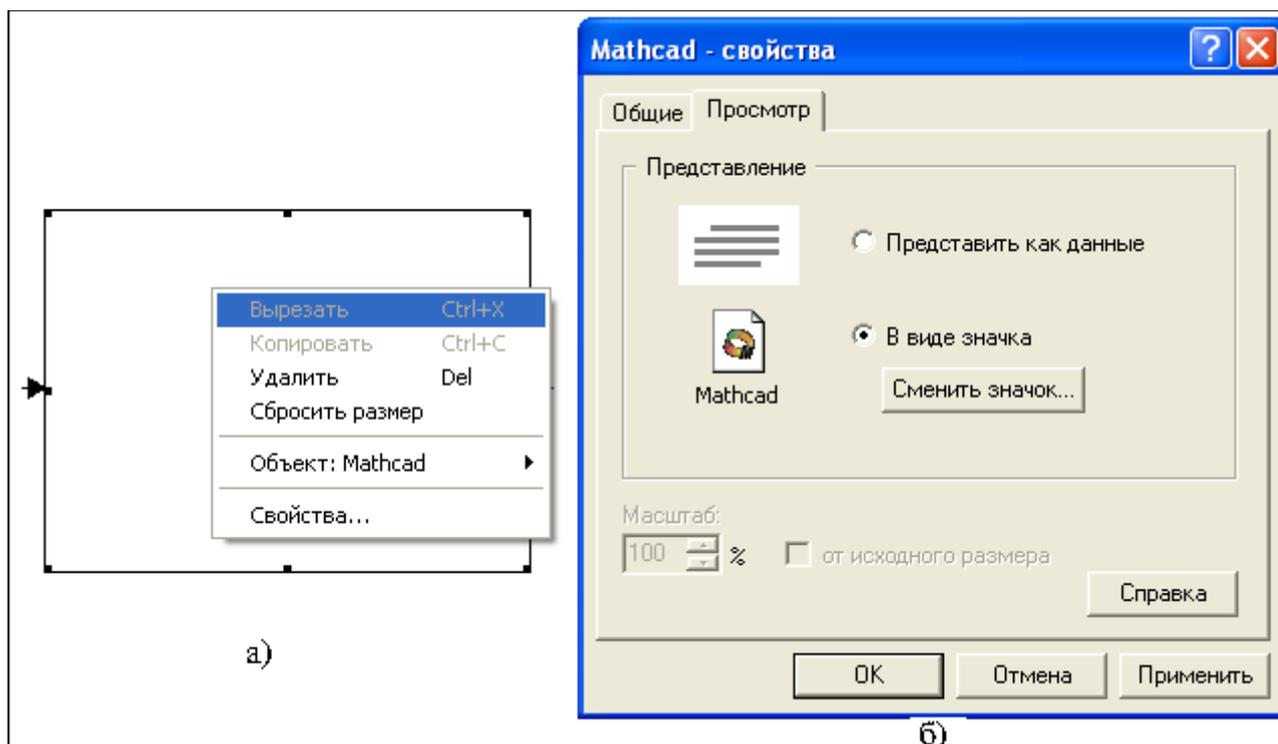


Рис. 7

- 5) Заменяем Mathcad-файл его пиктограммой (заранее подготовленной), используя команду **Сменить значок...** в окне **Mathcad – свойства**.
- 6) С помощью команды **Добавить выход** в позиции **Правка** меню добавляем в Mathcad-блок два входа.
- 7) На вход Mathcad-блока подключаем типовые блоки задания переменных (**variable**). В созданную подсистему через эти блоки передаются параметры: **t** (вход in0) - длины интервала работы системы управления; **N** (вход in1) - порядок усечения матрицы-столбца **HCX**; **NBS** (вход in2) – номер непрерывной базисной системы, по которой вычисляется **HCX**.
- 8) Используя типовой блок **Метка** (Label), снабжаем формируемую подсистему и ее входы текстовыми комментариями.

Остается рассмотреть формирование программы **Mathcad**-блока из файла **SNXNN1.mcd**.

Для создания программы вычисления **HCX** относительно некоторой базисной системы (файл **SNXNN1**) необходимо:

- 1) В пакете расширения **MLSY\_SM СКМ Mathcad** найти программные модули: **SNXPP1**, **SNXTT1**, **SNXUU1**, **SNXCC1**, **SNXFF1**, **SNXXX1**, **SNXYY1** и вставить их через буфер обмена в файл **SNXNN1**. Каждый программный модуль вычисляет усеченную одномерную **HCX** относительно заданной базисной системы. На рис. 8 показан

программный модуль вычисления НСХ относительно полиномов Чебышева первого рода. Параметр  $g$ , передаваемый в программу, задает функцию пользователя (входной сигнал системы управления) по которой вычисляется усеченная НСХ. Параметр  $N1$  задает порядок усечения НСХ, а параметр  $t$  – длина интервала работы системы управления.

$\text{SNXTT1}(g, N1, t) :=$	$\eta \leftarrow 4$ $L1 \leftarrow 2 \cdot \eta \cdot N1$ $\text{for } l \in 0..L1 - 1$ $\tau_l \leftarrow \frac{t}{2} \cdot \left( 1 + \cos\left(\frac{2 \cdot L1 - 2 \cdot l - 1}{2 \cdot L1} \cdot \pi\right) \right)$ $a_{l,0} \leftarrow g(\tau_l)$ $Q_{l,0} \leftarrow \sqrt{\frac{1}{\pi}}$ $\text{for } m \in 1..N1 - 1 \quad \text{if } N1 \geq 2$ $Q_{l,m} \leftarrow (-1)^m \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \cos\left[\frac{m \cdot \pi}{L1} \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)\right]$ $\text{for } h \in 0..N1 - 1$ $\text{for } i \in 0..N1 - 1$ $X_h \leftarrow \frac{\pi}{L1} \cdot \sum_{l=0}^{L1-1} a_{l,i} \cdot Q_{l,h}$ $X$
------------------------------	---

Рис. 8

2) В файле SNXNN1 сформировать программный модуль, обеспечивающий выбор базиса и вычисление НСХ в этом базисе. Эта программный модуль имеет вид:

$\text{SNXNN1}(g, N1, t, \text{BAZIS}) :=$	$\text{SNXPP1}(g, N1, t) \text{ if BAZIS} = 1$ $\text{SNXTT1}(g, N1, t) \text{ if BAZIS} = 2$ $\text{SNXUU1}(g, N1, t) \text{ if BAZIS} = 3$ $\text{SNXCC1}(g, N1, t) \text{ if BAZIS} = 4$ $\text{SNXFF1}(g, N1, t) \text{ if BAZIS} = 5$ $\text{SNXXX1}(g, N1, t) \text{ if BAZIS} = 6$ $\text{SNXYY1}(g, N1, t) \text{ if BAZIS} = 7$
--	--

Параметр BAZIS (это целое число от 1 до 7), передаваемый в программу, обеспечивает выбор нужного базиса по следующей таблице соответствия:

- 1 - полиномы Лежандра;
- 2 - полиномы Чебышева первого рода;
- 3 - полиномы Чебышева второго рода;
- 4 - косинусоиды;
- 5 - комплексные экспоненциальные функции;
- 6 - функции Хаара;
- 7 - функции Уолша.

- 3) В файле SNXNN1 формируем функцию пользователя  $g(x)$  и программный модуль, обеспечивающий вычисление усеченной НСХ и присвоения результата этого вычисления (матрицы-столбца) выходной переменной **out0** Mathcad-блока.

```

g(x) := 1      <- задание аналитического выражения входного сигнала.

out0 := | augment(Re(SNXNN1(g,in1,in0,in2)),Im(SNXNN1(g,in1,in0,in2))) if in2 = 5
        | SNXNN1(g,in1,in0,in2) otherwise

out0T = |

```

Обратим внимание на использованный здесь способ передачи комплексных НСХ от одного Mathcad-блока к другому Mathcad-блоку в виде матрицы порядка  $in1 \times 2$ , первый столбец которой содержит ординаты действительной части НСХ, а второй мнимой части НСХ. Это связано с тем, что комплексные числа в системе Mathcad и в системе VisSim представляются по-разному.

**Пример 2.** Надо создать типовой библиотечный блок (маскированную подсистему) пакета Spekr\_SM из подсистемы, рассмотренной в примере 1.

Решение задачи. Для создания этого блока необходимо:

- 1) Выделить созданную подсистему (рис. 5) и используя команду **Создать составной блок...** в позиции меню VisSim **Правка** вывести окно создания субблока.
- 2) Сформировать субблок с нужной пиктограммой и названием, выполняя команду поиска и подключения bmp-файла нужной пиктограммы.

В результате выполнения всех этих действий получаем блок, внешний вид которого показан на рис. 9.

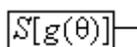


Рис. 9

**Пример 3.** Используя созданный блок вычисления НСХ найти усеченную НСХ (порядок усечения равен 7) для функции  $g(x)=x$  в базе полиномов Лежандра.

Решение этой задачи показано на Рис. 10.

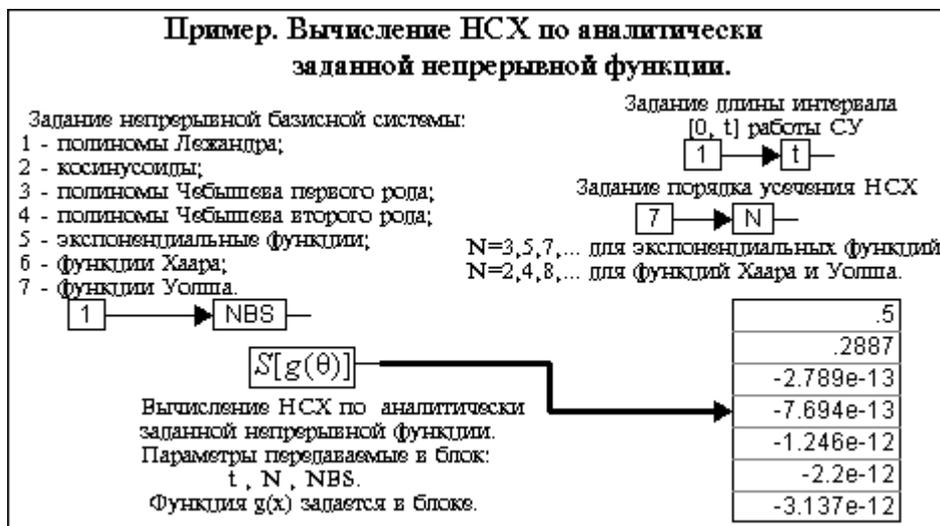


Рис. 10

### 3.3. Состав типовых блоков библиотеки *Spektr\_SM*

Библиотека типовых блоков пакета расширения *Spektr\_SM+VisSim* практически совпадает с аналогичной библиотекой пакета расширения *Spektr\_SM+Simulink* [2]. Внешний вид блоков в пакетах расширения *Spektr\_SM+VisSim* и *Spektr\_SM+Simulink*, реализующих одну и ту же элементарную операцию, совпадает. Отличие заключено в способе обозначения входов и выходов. Однако в библиотеку пакета расширения *Spektr\_SM+VisSim* включены новые блоки. Рассмотрим только эти блоки.

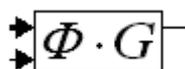


Рис. 11

В раздел **НСХ сигналов и систем**, включен новый блок (рис. 11), реализующий спектральную связь вход-выход при детерминированном воздействии [1]. Этот блок содержит Mathcad-блок, который реализует алгоритм (рис. 12) перемножения ДНПФ СУ (вход **in0**) и НСХ входного сигнала (вход **in1**) в заданном базисе (вход **in2**).

$$\begin{aligned}
 \text{Ain0} &:= \begin{cases} \text{submatrix}\left(\text{in0}, 0, \text{rows}(\text{in0}) - 1, 0, \frac{\text{cols}(\text{in0})}{2} - 1\right) \dots & \text{if } \text{in2} = 5 \\ + i \cdot \text{submatrix}\left(\text{in0}, 0, \text{rows}(\text{in0}) - 1, \frac{\text{cols}(\text{in0})}{2}, \text{cols}(\text{in0}) - 1\right) & \\ \text{in0} & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \text{Ain1} &:= \begin{cases} \text{submatrix}\left(\text{in1}, 0, \text{rows}(\text{in1}) - 1, 0, \frac{\text{cols}(\text{in1})}{2} - 1\right) \dots & \text{if } \text{in2} = 5 \\ + i \cdot \text{submatrix}\left(\text{in1}, 0, \text{rows}(\text{in1}) - 1, \frac{\text{cols}(\text{in1})}{2}, \text{cols}(\text{in1}) - 1\right) & \\ \text{in1} & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \text{Aout0} &:= \text{Ain0} \cdot \text{Ain1} \\
 \text{out0} &:= \begin{cases} \text{augment}(\text{Re}(\text{Aout0}), \text{Im}(\text{Aout0})) & \text{if } \text{in2} = 5 \\ \text{Aout0} & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 12

В раздел **ДНПФ СУ** включены новые блоки, обеспечивающие выполнение операции вычисления ДНПФ соединения с обратной связью (рис. 13,в). Блок задания прямой цепи (рис. 13,а) и цепи обратной связи (рис. 13,б) это заготовки для формирования прямой цепи и цепи обратной связи из блоков пакета расширения *Spektr\_SM+VisSim*.

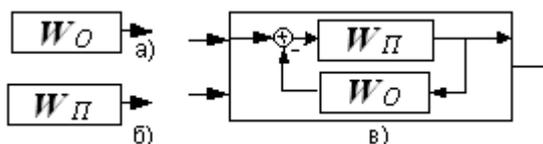


Рис. 13

Сформированные и вычисленные ДНПФ прямой цепи и цепи обратной связи передаются на входы блока вычисления ДНПФ соединения с обратной связью. Этот субблок содержит Mathcad-блок, который реализует нужный алгоритм (рис. 14).

$$\begin{aligned}
 \text{Ain0} &:= \begin{cases} \text{submatrix}\left(\text{in0}, 0, \text{rows}(\text{in0}) - 1, 0, \frac{\text{cols}(\text{in0})}{2} - 1\right) \dots & \text{if } \text{in2} = 5 \\ + i \cdot \text{submatrix}\left(\text{in0}, 0, \text{rows}(\text{in0}) - 1, \frac{\text{cols}(\text{in0})}{2}, \text{cols}(\text{in0}) - 1\right) & \\ \text{in0} & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \text{Ain1} &:= \begin{cases} \text{submatrix}\left(\text{in1}, 0, \text{rows}(\text{in1}) - 1, 0, \frac{\text{cols}(\text{in1})}{2} - 1\right) \dots & \text{if } \text{in2} = 5 \\ + i \cdot \text{submatrix}\left(\text{in1}, 0, \text{rows}(\text{in1}) - 1, \frac{\text{cols}(\text{in1})}{2}, \text{cols}(\text{in1}) - 1\right) & \\ \text{in1} & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \text{Aout0} &:= (\text{identity}(\text{rows}(\text{in0})) + \text{Ain0} \cdot \text{Ain1})^{-1} \cdot \text{Ain0} \\
 \text{out0} &:= \begin{cases} \text{augment}(\text{Re}(\text{Aout0}), \text{Im}(\text{Aout0})) & \text{if } \text{in2} = 5 \\ \text{Aout0} & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис.14

В раздел **Графики – специальные регистраторы** оставлены блоки, предназначенные для визуализации двумерных функций.

Введен новый раздел - **Задание и выбор базисной системы**. Этот раздел содержит блоки с текстовыми комментариями, обеспечивающими выбор непрерывной (рис. 15,а), дискретной (рис. 15,б) и непрерывно-дискретной (рис. 15,в) базисной системы и блок, обеспечивающий автоматический выбор непрерывной и дискретной базисной системы по выбранной непрерывно-дискретной базисной системы (рис. 15,г).



Рис. 15

Система VisSim допускает интеграцию со многими программными системами, в частности с текстовыми и графическими редакторами. В нашем случае блоки **НБС**, **ДБС** и **НДБС** созданы по технологии формирования субблоков и технологии интеграции VisSim с графическим пакетом Microsoft Paint [5]. Например, от одинарного щелчка правой клавиши мыши на блоке **НБС** открывается окно с текстовыми комментариями, обеспечивающими выбор непрерывной базисной системы (рис. 16).

**Задаваемые непрерывной базисной системы:**

- 1 - полиномы Лежандра;
- 2 - полиномы Чебышева первого рода;
- 3 - полиномы Чебышева второго рода;
- 4 - косинусоиды;
- 5 - комплексные экспоненциальные функции;
- 6 - функции Хаара;
- 7 - функции Уолша.

Рис. 16

#### **4. Особенности применения пакета *Spektr\_SM* в системе *VisSim* для анализа систем управления при детерминированных и случайных воздействиях.**

В предыдущем разделе были рассмотрены основные виды блоков пакета **Spektr\_SM**, используемые для анализа систем управления в спектральной области и находящихся под воздействием как детерминированных, так и случайных сигналов.

Сложные модели многомерных систем управления, для анализа их спектральным методом формируются как одномерные модели из блоков библиотеки пакета **Spektr\_SM**, которые входят в разделы **ДНПФ СУ**. Входные сигналы такой модели формируются из блоков находящихся в разделе **НСХ сигналов и систем**. Множество выходных сигналов, от каждого входа к каждому выходу, вычисляется при помощи блоков, входящих в раздел **ОП сигналов и систем**. Готовая и отлаженная модель запускается на выполнение. Но запуску системы *VisSim* на выполнение должен предшествовать этап ее настройки. Это связано с тем, что моделирование системы управления в спектральной области проводится за один такт ее работы.

Для настройки параметров модели: в меню **Симуляция** (Simulate) окна модели необходимо выбрать пункт **Настройки симуляции...** (Simulation Properties) – откроется окно **Simulation Properties** с открытой вкладкой **Диапазон** (Range). В этом окне можно установить параметры, как показано на рис. 16.

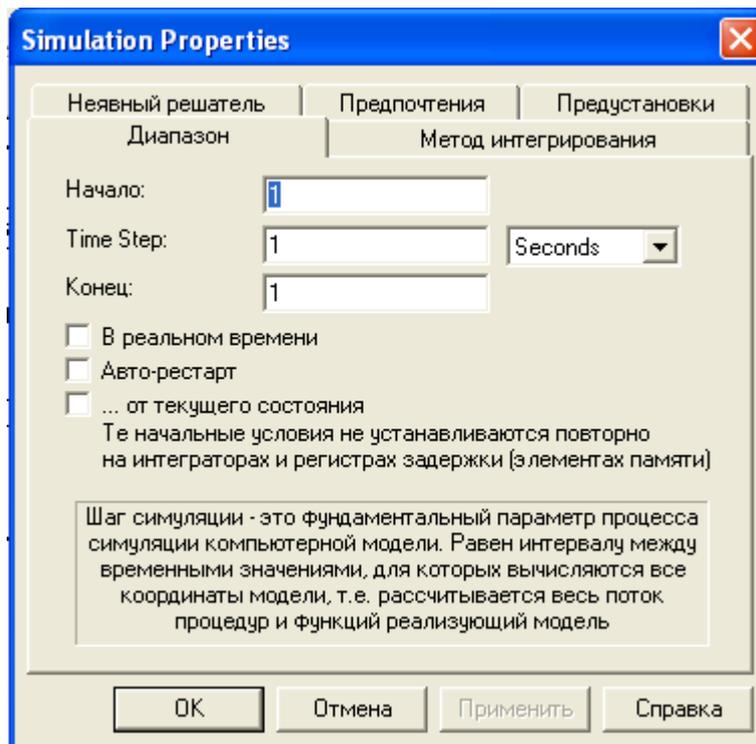


Рис. 16

Данная настройка производится во всех случаях анализа систем управления спектральным методом, а при параметрическом синтезе необходимо в **Начало** (Start) и **Конец** (End) установить соответствующие значения, а фиксированному шагу присвоить нужное значение (например, для параметра меняющегося от 1 до 10, **Начало** = 1, а **Конец** = 10, при **Time Step** = 1).

После проведённой настройки необходимо нажать кнопку **Применить** (Apply) или **ОК**, затем можно запускать процесс моделирования.

Если требуется вычислить математические ожидания выходных сигналов по математическим ожиданиям входных сигналов, то сложные модели многомерных систем управления формируются аналогично тому, как они формировались для анализа их спектральным методом при детерминированных воздействиях. Вычисления корреляционных функций выходных сигналов по корреляционным функциям входных сигналов возможно в случае отсутствия взаимной корреляции между входными сигналами. Тогда связь вход-выход

$$S_{xi} = \sum_{k=1}^n W_{ik} S_{gk} W_{ik}^T, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

моделируется в VisSim с использованием типового блока, обеспечивающего выполнение операции

$$S_x = W \cdot S_g \cdot W^T,$$

которая требует моделирования подсистем, вычисляющих ДНПФ  $W_{i,k}$  от  $k$ -го входа к  $i$ -му выходу.

## 5. Пример анализа системы управления (делитель) в СВМ VisSim с применением пакета расширения Sptktr\_SM

### 5.1. Математическая модель делителя и задачи ее анализа

Рассматриваемая замкнутая система управления представляет собой устройство, приближённо реализующее операцию деления. Её математическая модель задана структурной схемой, которая изображена на рис. 17. Прямая цепь системы состоит из интегрирующего звена 2 и аperiodического звена 1. В цепь обратной связи включено усилительное звено 3. Если сигнал  $u(\theta)$  мал, то  $y(\theta) \approx v_2(\theta)$ , и поэтому выходной сигнал замкнутого контура  $x(\theta)$  примерно равен частному от деления входного сигнала  $y(\theta)$  и  $r(\theta)$ :  $x(\theta) \approx y(\theta)/r(\theta)$ . Входной сигнал  $y(\theta)$  будем рассматривать как детерминированную функцию времени  $y(\theta) = g(\theta)$  или как случайную, состоящую из полезного случайного сигнала  $g(\theta)$  и случайной помехи  $n(\theta)$ . Идеальный выходной сигнал системы  $z(\theta) = g(\theta)/r(\theta)$ . Ошибку определим выражением  $\varepsilon(\theta) = z(\theta) - x(\theta)$ . Идеальной системой является усилительное звено с коэффициентом передачи  $1/r(\theta)$ . В дальнейшем примем  $r(\theta) = 0.5 + \theta$ .

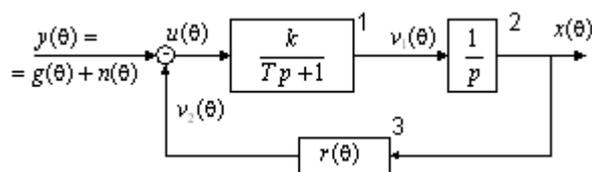


Рис. 17

Для численного расчёта приняты следующие параметры:

- интервал работы системы равен 4 с.;
- коэффициент усиления и постоянная времени аperiodического звена соответственно равны  $k = 1$ ,  $T = 0.2$ ;
- на вход подаётся единичное воздействие;
- базисные системы функций заданы в виде полиномов Чебышева первого рода;
- размер усечения матриц НСХ и НПФ равен 8.

Требуется найти реальный выходной сигнал  $x(\theta)$  и сравнить его с идеальным выходным сигналом  $z(\theta)$ .

### 5.2. Формирование визуальной модели непрерывной системы управления и решение основной задачи ее анализа при детерминированном и случайном воздействии

Для формирования визуальной модели системы управления, которая задана структурной схемой (рис. 17), необходимо выполнить следующие действия:

- 1) Открыть окно новой модели (Diagram...);
- 2) Загрузить библиотеку пакета расширения Spektr\_SM;
- 3) Из библиотечных блоков системы VisSim (позиция Blocks (Блоки) меню) и пакета расширения Spektr\_SM сформировать нужную модель (основная диаграмма).

- 4) В основной диаграмме, по мере необходимости, выделить и сформировать субмодели.
  - 5) Разработать документацию, которая необходима для сопровождения изучаемой модели.
- Снабдить основную диаграмму и ее субблоки необходимой документацией.



Рис. 18

Модель изучаемого примера для детерминированного воздействия, сформированная по данной технологии, приведена на рис. 18. Она содержит субмодель Делитель (рис. 19), которая предназначена для вычисления ДНПФ математической модели делителя (рис. 17) и НСХ выходного сигнала. Так как рассматриваемая система (рис. 17) представляет собой устройство, приближённо реализующее операцию деления, то параллельно к входу (блок вычисления НСХ входного сигнала) подсоединено усилительное звено (блок вычисления ДНПФ усилительного звена с коэффициентом усиления  $a(\theta) = \frac{1}{(0.5 + \theta)}$ ) для получения идеального выхода. Для нахождения величины ошибки найдена разность между НСХ идеального и реального выходных сигналов. Текстовые комментарии, сопровождающие основную диаграмму, субмодели и субблоки визуальной модели системы управления, позволяют самостоятельно изучить данный пример, выполнить настройку, как глобальных параметров модели, так и локальных параметров ее подсистем и проанализировать результаты расчета. Результаты моделирования видны из блока виртуального графопостроителя.

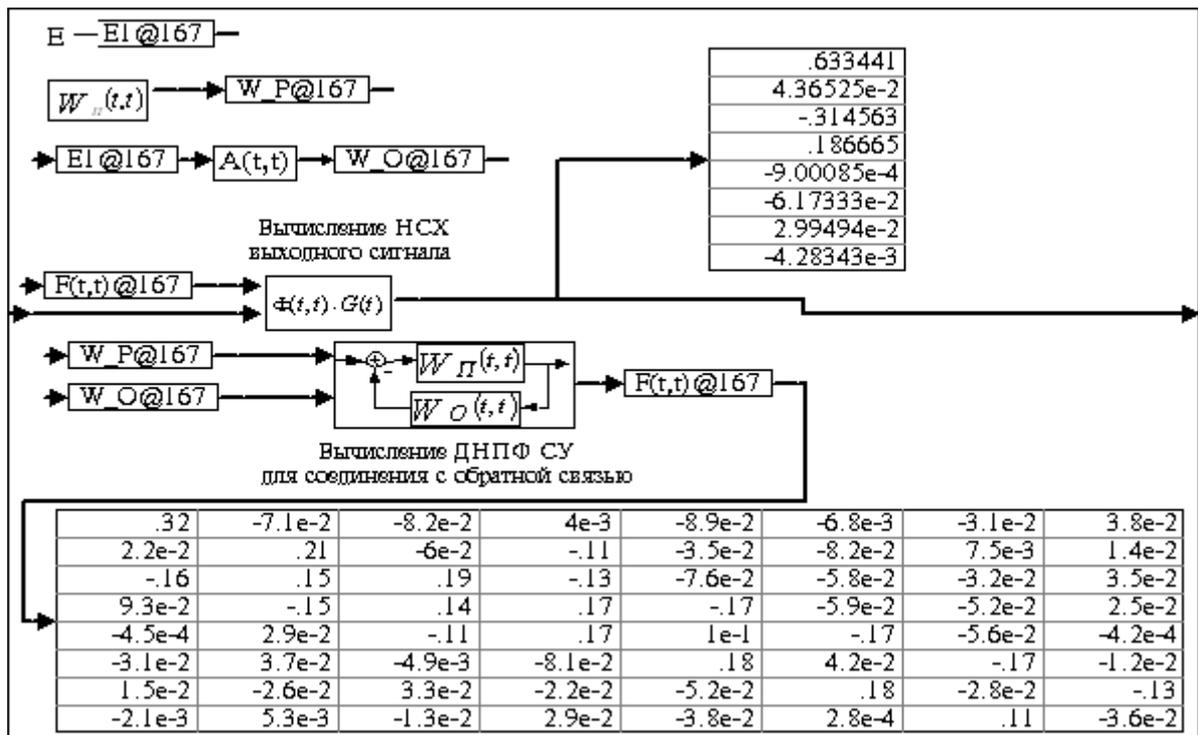


Рис. 19

Пусть теперь на вход заданной системы (рис. 17) поступает случайный сигнал, который имеет нулевое математическое ожидание и заданную корреляционную функцию  $R(\theta, \tau) = 5 \exp(-10 |\theta - \tau|)$ . Требуется найти дисперсию случайного выходного сигнала на заданное воздействие.

Формирование визуальной модели (рис. 20), решающей эту задачу, проводится по той же самой схеме, что и в предыдущем случае. В ней использована та же самая субмодель **Делитель** (рис. 19), которая в данном случае вычисляет ДНПФ математической модели делителя (рис. 17). Результаты моделирования видны из блока виртуального графопостроителя.

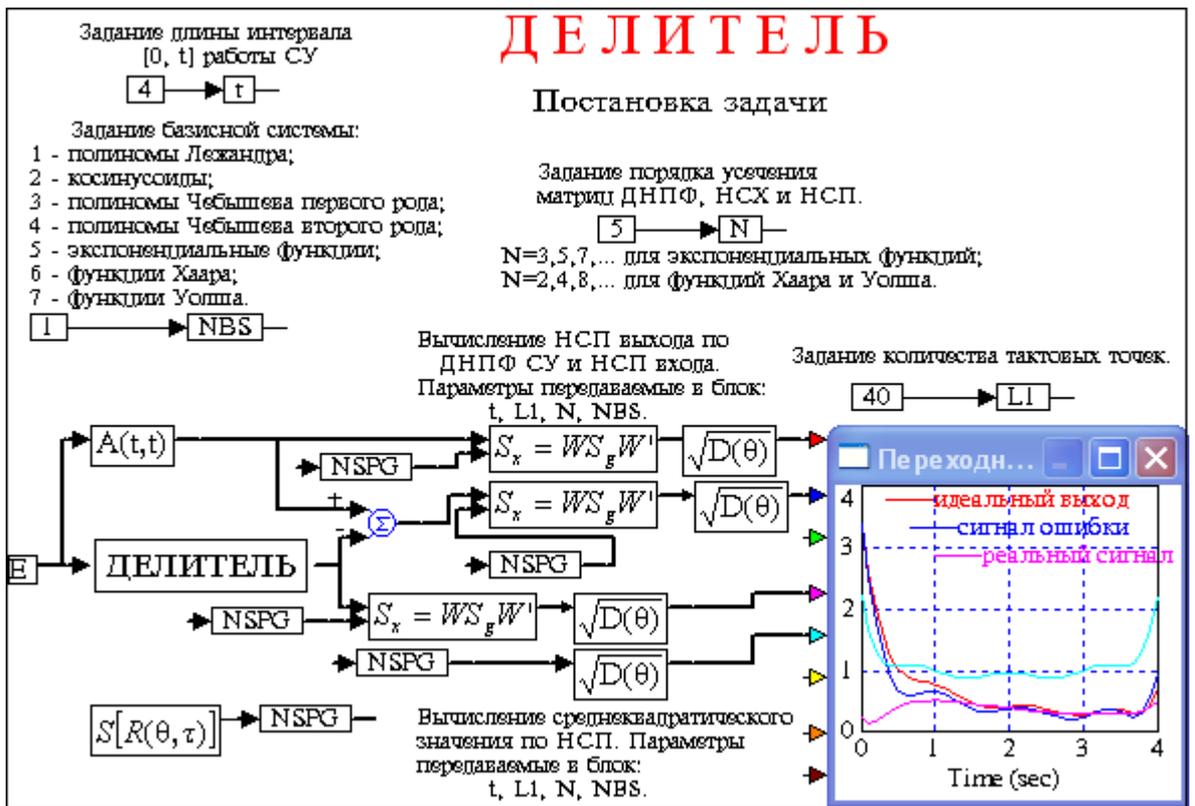


Рис. 20

5.3. *Формирование визуальной модели непрерывно-дискретной системы управления и решение основной задачи ее анализа при детерминированном воздействии*

Рассмотрим теперь непрерывно-дискретную математическую модель делителя, структурная схема которой приведена на рис. 21. Прямая цепь системы состоит из интегрирующего звена, апериодического звена и экстраполятора нулевого порядка. Входным сигналом прямой цепи является дискретный сигнал ошибки  $u(\theta_m)$ , образуемый как разность дискретного входного сигнала  $g(\theta_m)$  и дискретного сигнала обратной связи  $v_3(\theta_m)$ . Эти сигналы связаны с тактовыми моментами времени  $\theta_m$  ( $m = 0, 1, \dots, L - 1$ ). Цепь обратной связи образована дискретным элементом (ключ) и дискретным усилительным звеном.

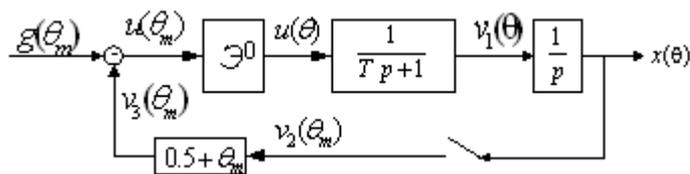


Рис. 21

Для численного расчёта зададимся следующими дополнительными данными:

- число тактовых точек  $L$  в дискретной части за время работы системы равно 16;
- базисные системы функций заданы в виде дискретных полиномов Хана-Чебышева первого рода и непрерывных полиномов Чебышева первого рода;
- порядок усечения матриц ДНПФ непрерывных звеньев положим равным 8;

- порядок усечения матриц НСХ входного сигнала и ДНПФ дискретного усилительного звена положим равным 16.

Сформированная модель и результаты моделирования показаны на рис. 22.

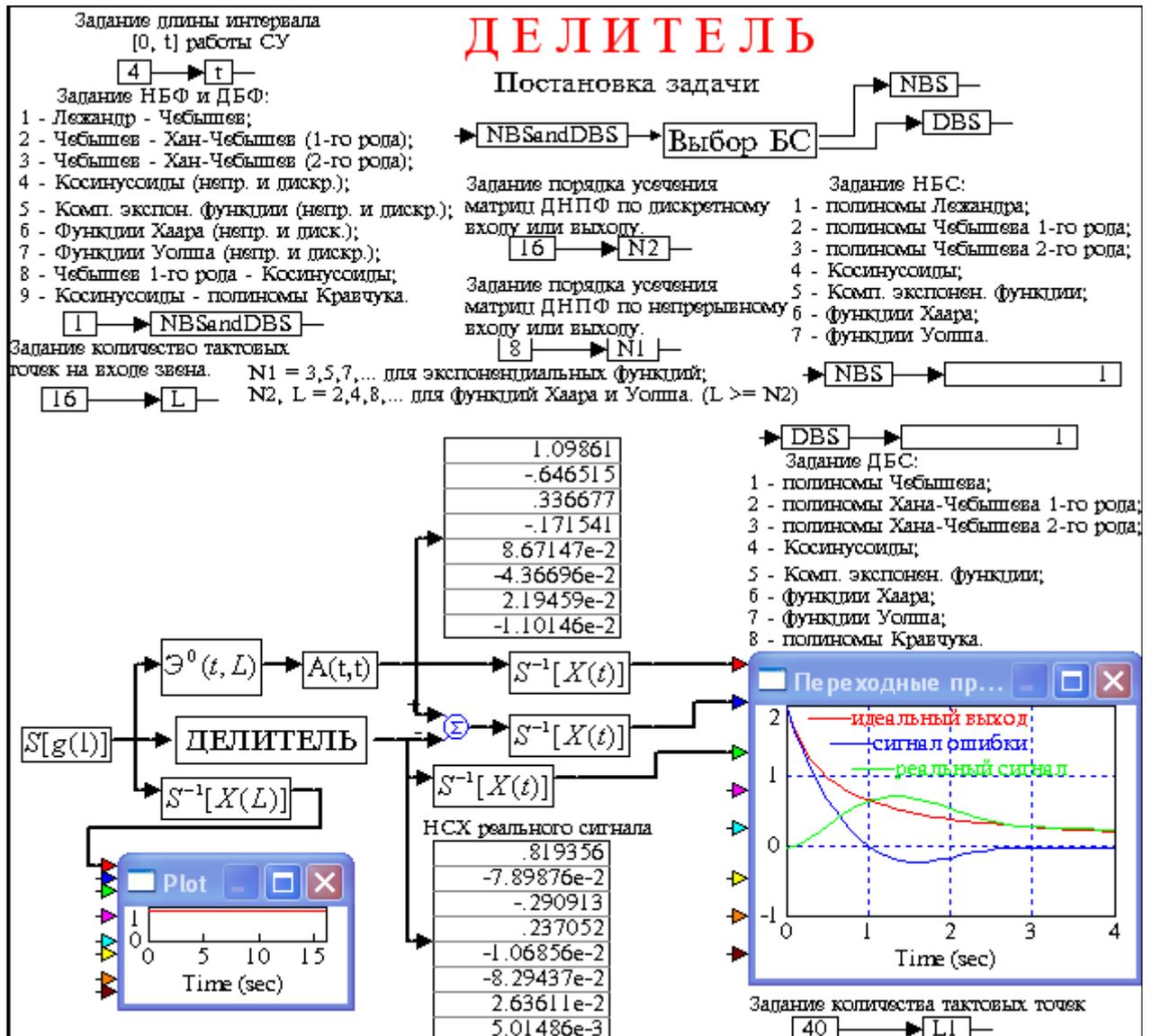


Рис. 22

#### Список литературы

1. Рыбин В.В. Разработка и применение пакетов расширения MLSY\_SM CKM Mathcad, Maple, Mathematica, Matlab.// Электронный журнал "Труды МАИ", № 13. - <http://www.mai.ru> (21.10.2003)
2. Рыбин В.В. Разработка и применение пакета расширения Spektr\_SM пакета Simulink CKM Matlab.// Электронный журнал "Труды МАИ", № 13. - <http://www.mai.ru> (21.10.2003)
3. Рыбин В.В. Приближение функций. Компьютерная практика в системе компьютерной математики MATHCAD: Учебное пособие. – М.: МАИ, 2004. – 80 с.

4. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя. - М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 768 с.
5. Дьяконов В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. - М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.
6. Дьяконов В.П. MathCAD 2001: Специальный справочник. - СПб.: Питер, 2002. – 360 с.
7. Клиначёв Н.В. Технология создания внешних “dll-модулей” для моделирующей программы VisSim. –Website: <http://www.vissim.nm.mydll.html>, Челябинск, 2000.
8. Клиначёв Н.В. Теория систем автоматического регулирования и управления: Учебно-методический комплекс. - Website: [http://www.vissim.nm.ru/tau\\_knv.zip](http://www.vissim.nm.ru/tau_knv.zip), [http://www.vissim.nm.ru/tau\\_lec.html](http://www.vissim.nm.ru/tau_lec.html), Челябинск, 2003.
9. Федосеев Б.Т. Создание блока пользователя для программы VisSim 5 в среде MS Visual C++ с использованием мастера dllWizard. - Website: <http://www.vissim.nm.ru>, Челябинск, 2003.
10. Сайт “VisSim в России” <http://www.vissim.nm.ru>.
11. Сайт фирмы Visual Solutions Inc <http://www.vissim.com>.

---

*Рыбин Владимир Васильевич, доцент кафедры математической кибернетики Московского  
Авиационного института (государственного технического университета), к.т.н.  
контактный телефон: 158-48-11  
E-mail: dep805@mai.ru*