

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра радиотехнических систем (РТС)**

Утверждаю:  
Зав. каф. РТС, проф., д.т.н.  
\_\_\_\_\_ Мелихов С.В.  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.



**Кологривов В. А., Шпарова Е. В.**

**«ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ**  
**СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСОВ РЭЛЕЯ И ЧАСТОТНОГО**  
**РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ»**

**Учебно-методическое пособие по лабораторной и самостоятельной**  
**работе и практическим занятиям**  
**для студентов направления**  
**«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**  
**по дисциплине**

**«Теоретические основы систем мобильной связи»**

Разработчики:  
Доц. каф. РТС  
\_\_\_\_\_ Кологривов В. А.  
Студент гр.1В3  
\_\_\_\_\_ Шпарова Е. В

**Кологривов В. А., Шпарова Е. В.**

**«Исследование сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Рэлея и частотного разнесения каналов»:** Учебно-методическое пособие по лабораторной и самостоятельной работе и практическим занятиям для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине **«Теоретические основы систем мобильной связи»** – Томск: ТУСУР. Научно-образовательный портал, 2017. – 26 с.

Учебно-методическое пособие содержит описание функциональной модели для исследование сверхширокополосной многоканальной системы, выполненной в среде функционального моделирования **Simulink**, системы для инженерных и научных расчетов **MatLab**.

В пособии приведены краткие теоретические сведения о сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Рэлея, краткая характеристика пакета **Simulink** системы **MatLab**, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки **Simulink**.

© Кологривов В. А., Шпарова Е. В., 2017 г.

© ТУСУР, РТФ, каф. РТС, 2017 г.

## АННОТАЦИЯ

Лабораторная работа **«Исследование сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Рэля и частотного разделения каналов»** посвящена экспериментальному исследованию сверхширокополосной связи на основе частотного разделения с использованием пакета функционального моделирования **Simulink**, системы для инженерных и научных расчетов **MatLab**.

Работа **«Исследование сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Рэля и частотного разделения каналов»** относится к циклу лабораторных работ, входящему в дисциплины по направлению **«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**.

В описании сформулирована цель лабораторной работы, приведены краткие теоретические сведения о частотном разделении каналов в цифровых системах передачи и способах модуляции, краткая характеристика пакета **Simulink** системы **MatLab**, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки **Simulink**, а также требования к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы, ответы на которые необходимы для успешной защиты лабораторной работы.

Лабораторная работа рассчитана на два задания по 2 часа.

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.....	5
1.1 Теоретическая часть.....	5
2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK.....	8
2.1 Общая характеристика пакета Simulink.....	8
2.2 Запуск и работа с пакетом Simulink.....	8
3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА.....	11
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	16
5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	18
6 ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ БЛОКОВ БИБЛИОТЕКИ SIMULINK	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	25

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

**Цель работы:** Изучить принцип работы и особенности сверхширокополосной многоканальной системы на основе импульсов Релея и частотного разделения каналов.

### 1.1 Теоретическая часть

СШП сигнал представляет собой короткий импульс без высокочастотного заполнения (видеоимпульс) или короткий отрезок периодического колебания, состоящий из одного — полутора — двух, максимум четырех, периодов. Поэтому у СШП сигналов, как правило, отсутствует понятие несущей частоты. Кроме того, спектр СШП сигнала обычно не является симметричным; фактически, во многих случаях большая часть энергии находится ниже частоты, которую можно было бы назвать центральной.

Характерной особенностью, присущей системам связи на основе СШПС, является высокая электромагнитная совместимость с существующими системами связи. Малые уровни сигналов, использование кодирования и шумоподобная структура СШП систем практически не создает помех для других устройств, что позволяет в большинстве случаев работать на безлицензионной основе.

Теоретически системы передачи информации с СШП сигналами должны иметь высокую скорость передачи информации. В традиционных системах рабочая частота и ширина отведенной полосы спектра в основном определяют пропускную способность канала связи, а мощность передатчика - ее дальность. В СШП два этих понятия тесно взаимосвязаны, позволяя перераспределять имеющиеся возможности между дальностью связи и скоростью передачи.

Расширение полосы канала связи, переход к каналам со сверхширокой полосой дает возможность практически неограниченного увеличения числа

каналов связи. Заранее распределив сигналы (их частоты, виды модуляции и пр.) между абонентами, можно обеспечить независимую в смысле взаимного прослушивания и взаимных помех связь между ними. При этом многоканальная, но разделенная во времени связь не требует увеличения мощности передатчика, тогда как одновременная передача независимой (разной) информации нескольким абонентам потребует увеличения этой мощности или сокращение скорости передачи информации.

Еще одним преимуществом данной системы по сравнению с обычными узкополосными является их слабая чувствительность к искажениям в условиях многолучевого распространения радиоволн. Данный эффект, обусловленный поступлением на приемную антенну как прямого сигнала от передатчика, так и сигналов, отразившихся от окружающих предметов, являются одним из важнейших факторов, ухудшающих условия радиоприема в любых системах. Образование искажений в таких каналах связано с наложением одного сигнала на другой с примерно равной амплитудой, но отличающегося по фазе. В результате происходит частичное или полное подавление одного луча другим. В настоящее время ни одна из традиционных технологий не способна бороться с отраженными сигналами, имеющими задержку в единицы наносекунд.

Для передачи в СШП системах применяются очень короткие импульсы, поэтому не возникают и межсимвольные искажения – энергия принятого импульса практически всегда успевает фактически полностью затухнуть до момента прихода его следующей копии.

Важнейшим критерием, характеризующим эффективность систем беспроводной связи, является высокая потенциальная удельная плотность передачи данных. Она определяется как величина достижимой суммарной скорости передачи данных на один квадратный метр рабочей зоны и имеет размерность «бит/с/м<sup>2</sup>». СШП системы имеют наивысшее на сегодняшний день значение этого показателя – порядка 1 Мбит/с/м<sup>2</sup>. Масштабность этой величины становится более ясной, если, например, указать, что у Bluetooth аналогичный параметр составляет всего 30 кбит/с/м<sup>2</sup> [1].

## Классификация СШП сигналов по форме

Форма СШП сигналов принципиально отличается от формы узкополосных сигналов, обычно используемых в радиолокации и связи. СШП сигналы по их форме можно подразделить на четыре основных класса: видеоимпульсы (рисунок 1), однопериодные и многопериодные радиоимпульсы (рисунок 2), кодированные сигналы (рисунок 3) [2].

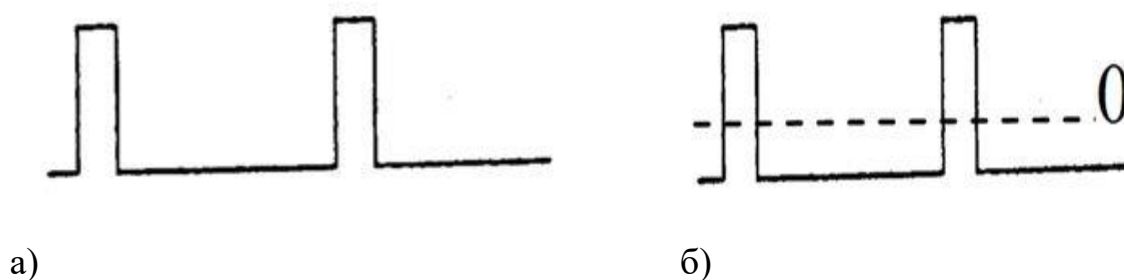


Рисунок 1 — Видеоимпульсный сигнал

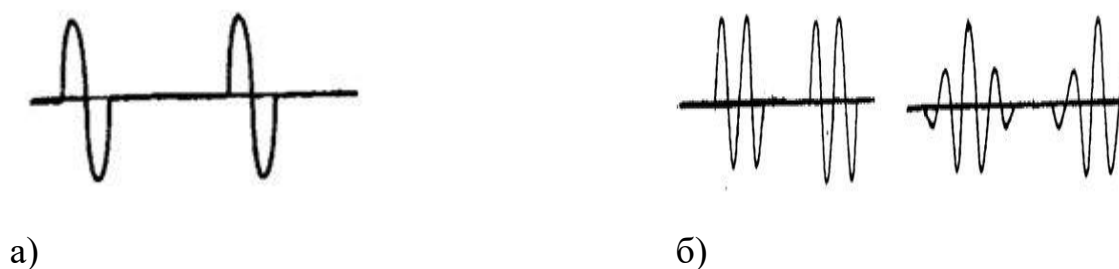


Рисунок 2 — Однопериодный (а) и многопериодные (б)  
радиоимпульсы



Рисунок 3 — Кодированные сигналы на основе видеоимпульсов (а)  
и однопериодных радиоимпульсов (б)

## Импульс Рэля

Временной форме импульса Рэля соответствует выражение:

$$S_{\text{ИГ}}(t) = \frac{4\pi t}{\sigma^2} * \exp * \left( -\frac{2\pi t^2}{\sigma^2} \right),$$

где  $\sigma$  – коэффициент формы импульса. Производная от импульса Рэля для всех случаев будет иметь вид:

$$S^n(t) = -\frac{4\pi t}{\sigma^2} * S^{n-1}(t) - \frac{4\pi t}{\sigma^2} * S^{n-2}(t),$$

где  $n$  – порядок производной [3].


## 2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK

### 2.1 Общая характеристика пакета Simulink

Пакет Simulink распространяется в составе математического пакета MatLab. Пакет основан на графическом интерфейсе и является типичным средством визуально-ориентированного программирования. Пакет Simulink обладает обширной библиотекой готовых блоков с модифицируемыми параметрами для построения моделей рассматриваемых систем и наглядными средствами визуализации результатов моделирования.

### 2.2 Запуск и работа с пакетом Simulink

Для запуска системы Simulink необходимо выполнить запуск системы MatLab. После открытия командного окна системы MatLab нужно запустить систему Simulink. Существует три способа запуска системы Simulink:

- нажать кнопку  (Simulink) на панели инструментов системы MatLab;
- в строке командного окна MatLab напечатать Simulink и нажать клавишу Enter;
- выполнить опцию Open в меню File и открыть файл модели (mdl-файл).



При применении двух первых способов открывается окно обозревателя библиотеки блоков (Simulink Library Browser). Если нам не требуется добавление новых блоков, а нужно лишь открыть уже готовую модель и провести моделирование, то следует воспользоваться третьим способом.

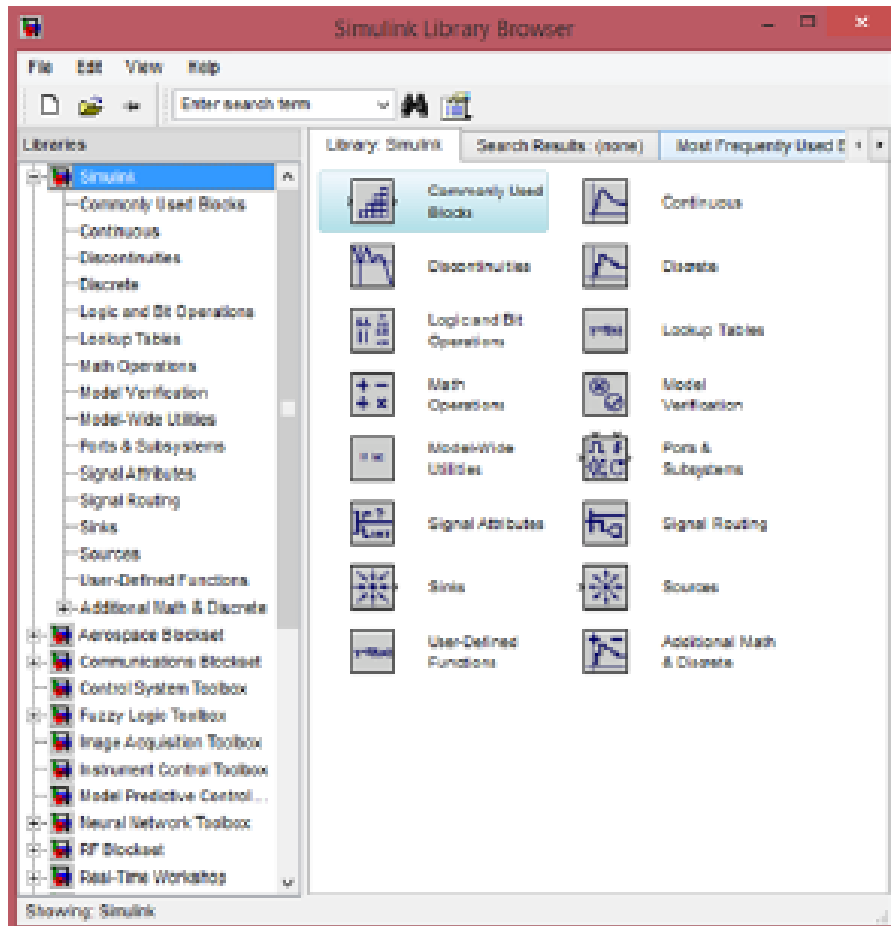


Рисунок 2.1 – Библиотека блоков Simulink Library Browser

На рисунке 2.1 выведена библиотека системы Simulink показаны ее разделы. Основная библиотека системы содержит следующие разделы:

- Continuous– блоки аналоговых элементов;
- Discontinuous– блоки нелинейных элементов;
- Discrete– блоки дискретных элементов;
- Look-Up Tables – блокитаблиц;
- MathOperations – блоки элементов, определяющие математические операции;

- ModelVerification – блоки проверки свойств сигнала;
- Model-WideUtilities – раздел дополнительных утилит;
- Port&Subsystems – порты и подсистемы;
- SignalAttributes – блоки задания свойств сигналов;
- SignalRouting – блоки маршрутизации сигналов;
- Sinks – блоки приема и отображения сигналов.

Правила работы со списком разделов библиотеки: пиктограмма свернутого узла содержит символ «+», а пиктограмма развернутого - символ «-».

Для того чтобы развернуть или свернуть узел, достаточно щелкнуть на его пиктограмме левой клавишей мыши (ЛКМ).

При работе элементы разделов библиотек "перетаскивают" в рабочую область удержанием ЛКМ на соответствующих изображениях. Для соединения элементов достаточно указать курсором мыши на начало соединения и затем при нажатии левой кнопки мыши протянуть соединение в его конец.

При двойном щелчке ЛКМ на выделенном блоке всплывает меню, в котором задаются параметры блоков.

Работа Simulink происходит на фоне открытого окна системы MatLab, закрытие которого приведёт к выходу из Simulink [4, 5, 6].

### 3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Лабораторный макет предназначен для исследования модема СШП системы передачи данных с частотным разделением. Функциональная схема 3-х канального модема приведена на рисунке 3.1.

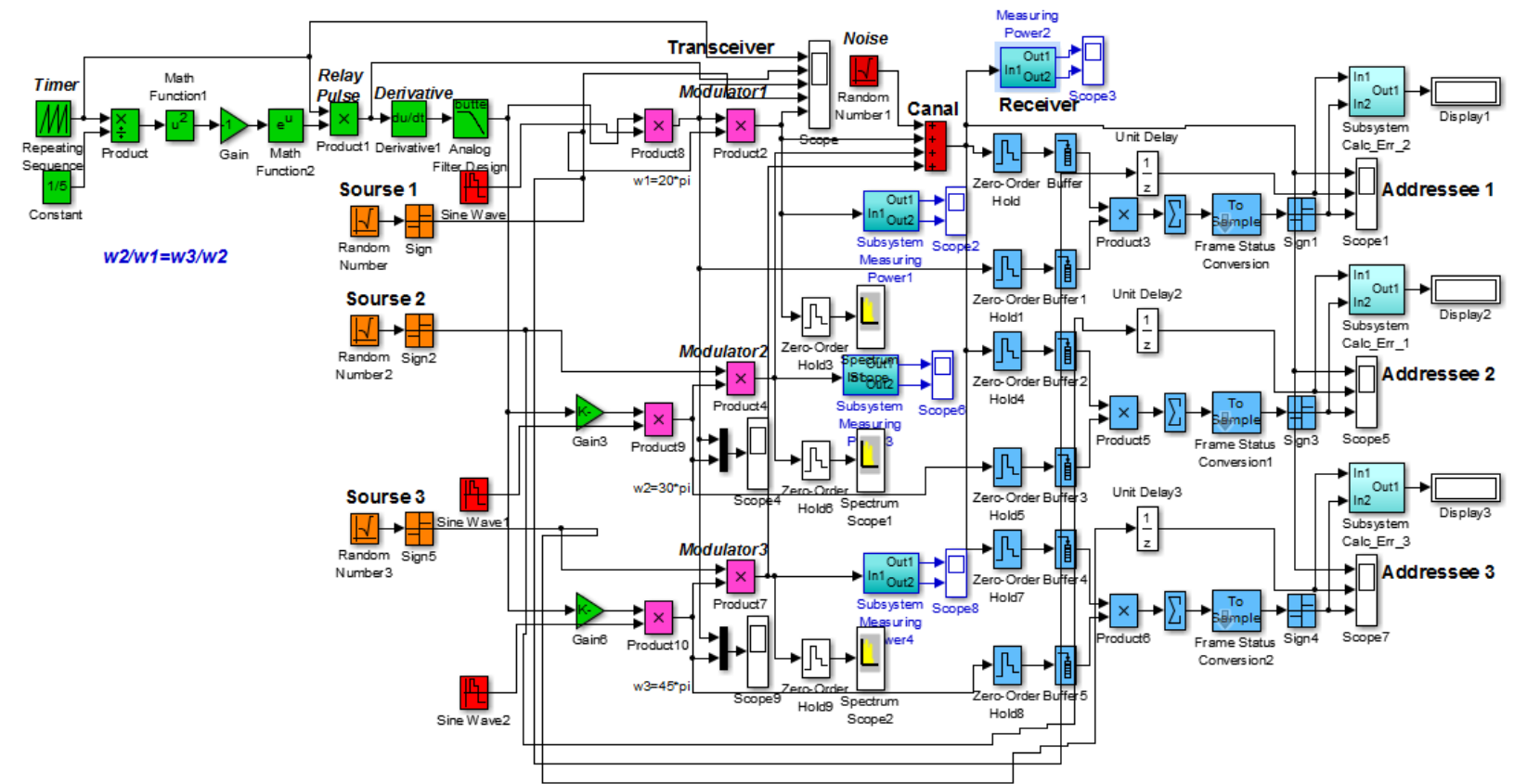


Рисунок 3.1 - Функциональная модель 3-х канальной сверхширокополосной радиосвязи на основе импульсов Релея и частотного разделения каналов

Функциональная модель подсистемы формирования Релеевского импульса и его производной приведена на рисунке 3.2.

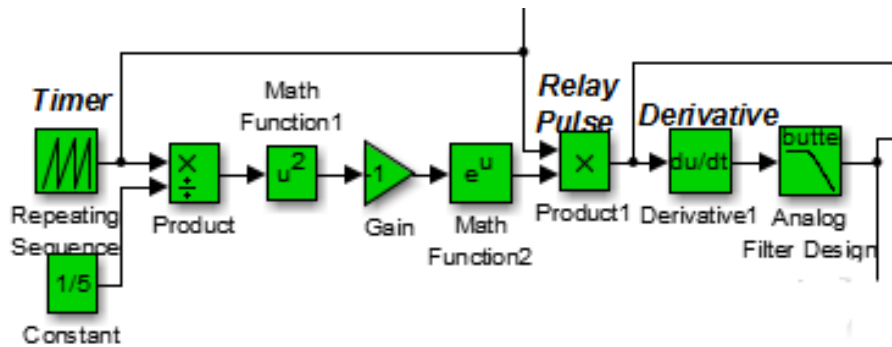


Рисунок 3.2 – Функциональная схема генератора импульсов Рэля и его производной

**Формирование импульса Рэля и его производной.** С помощью генератора «пилы» (блока **Repeating Sequence** - повторяющейся последовательности) задаются импульсы интервала реального времени **Time values** от 0 до 1, а так же модельное время **Output values** (амплитуда) от 0 до 2, т.е. задаем значение параметра  $t$  из выражения импульса Рэля:

$$S_{\text{ИР}}(t) = \frac{4\pi t}{\sigma^2} * \exp\left(-\frac{2\pi t^2}{\sigma^2}\right).$$

Блоком *Constant* (постоянный по уровню сигнал) задается значение пропорциональное  $\frac{\sqrt{2\pi}}{\sigma}$ . С помощью блоков **Product**, **Math Function  $u^2$** , **Gain** и функции **exp** формируется экспоненциальная часть импульса Рэля. В **Product3** умножается текущее время  $t$  на экспоненту и тем самым формируется импульс Рэля. Далее с помощью блока **Derivative**, вычисляется производная импульса Рэля. После первой производной сигнал фильтруется в блоке аналогового фильтра типа **Butterworth (Analog Filter Design)** с целью сглаживания (для того чтобы убрать резкие переходы).

Множитель  $\frac{4\pi}{\sigma^2}$  стоящий перед **exp** определяет амплитуду импульса и не влияет на широкополосность, поэтому им пренебрегаем.

На осциллографе **Scope** отображаются осциллограммы этапов формирования Релеевского импульса и его производной.

Функциональная модель 3-х канальной передающей части СШП системы с частотным разделением приведена на рисунке 3.3

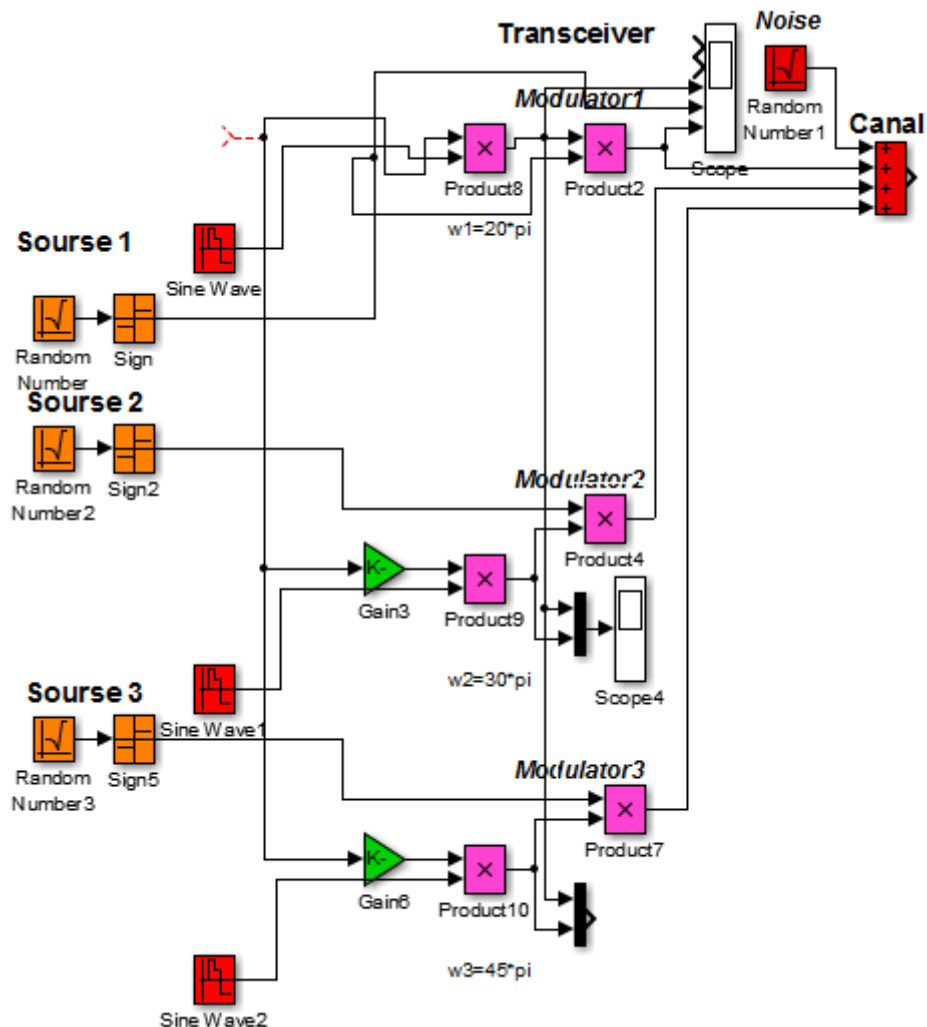


Рисунок 3.3 – Функциональная схема передатчика

Разделение по частоте реализуется в соответствии с правилом распределения несущих опорных колебаний в рабочем диапазоне  $w_3/w_2 = w_2/w_1$ , где  $w_1 = 20 \cdot \pi$ ;  $w_2 = 30 \cdot \pi$ ;  $w_3 = 45 \cdot \pi$ . Информационные каналы реализуются блоками **Random Number** и **Sign**. Блоки **Product 8, 9, 10** реализуют распределение информационных источников по частотным каналам, а блоки **Product 2, 4, 7** осуществляют модуляцию информационных потоков первой производной Релеевского импульса.

Далее блок **Sum** объединяет частотные каналы и добавляет шумы канала распространения реализованные блоком **Random Number 1**.

Функциональная модель 3 – х канальной принимающей части СШП системы с частотным разделением приведена на рисунке 3.4

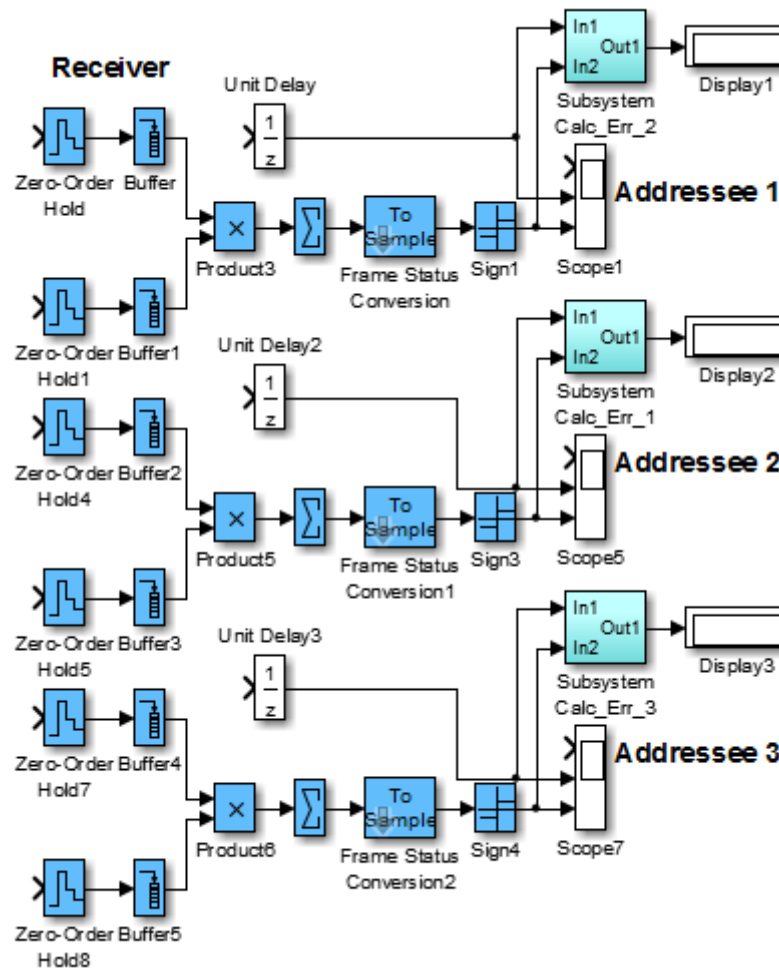


Рисунок 3.4 – Функциональная схема приемника

На первые входы трех корреляторов поступает принятый суммарный сигнал, а на вторые входы поступают соответствующие несущие, промодулированные первой производной Релеевского импульса. Несущие трех каналов распределены в частотном диапазоне в соответствии с правилом  $w_3/w_2 = w_2/w_1$  (в нашем случае  $w_1 = 20 \cdot \pi$ ;  $w_2 = 30 \cdot \pi$ ;  $w_3 = 45 \cdot \pi$ ).

В реальных системах подсистема формирования производных Релеевских импульсов и несущие колебания реализуются в приемнике и синхронизируются по сигналам передатчика.

Подсистема корреляционной обработки реализованы с помощью блоков **Zero-Order Hold, Buffer, Product, Sum**. Блоки **Zero-Order Hold**

обеспечивают дискретизацию входных данных. Блоки **Buffer** организует накопление отсчетов принятых сигналов и опорных импульсов первых производных Релеевской формы. Блоки **Product** организует перемножение отсчетов опорных импульсов с отсчетами принятого зашумленного сигнала (в виде скалярного произведения). В блоках **Sum** вычисляется сумма этих скалярных произведений.

С выходов подсистем корреляционной обработки с помощью блоков **Frame Status Conversion** сигналы подаются на блоки **Sign** с целью масштабирования. Масштабированные сигналы с целью визуализации подаются на блоки **Scope** и подсистемы **Subsystem Calc Err**. Для подсчетов ошибок на второй вход подсистемы **Subsystem Calc Err** подаются задержанные на один такт с помощью блока информационные импульсы **Unit Delay**.

**Детектор ошибок.** Для обеспечения контроля помехоустойчивости реализован составной блок (**Sub System**) детектора ошибок, который подсчитывает и отображает на блоке (**Display**) количество битовых ошибок (несовпадений импульсов). Функциональная схема подсистемы подсчета ошибок изображено на рисунке 3.5.

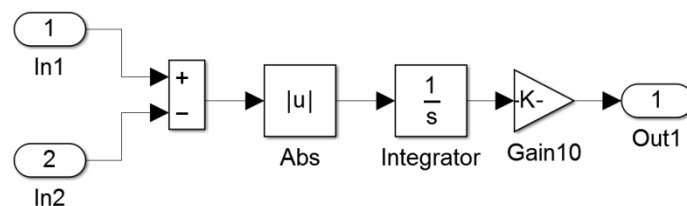


Рисунок 3.5 – Подсистема подсчета числа ошибок

На вход 1 поступает полученный сигнал, а на вход 2 поступает, задержанный во времени, исходный сигнал. Далее вычисляется разность текущих значений входных сигналов и абсолютное значение разности сигналов. Число ошибок высчитывается как интеграл модуля разности исходной и принятой битовых последовательностей (блок  $\frac{1}{s}$  - *Integrator*). Далее

используется блок **Gain** для коррекции значения ошибок при использовании бит разной длительности и полярности. Сигнал с выхода детектора ошибок для отображения подается на **Display**.

Для обеспечения возможности исследования помехоустойчивости СШП системы от соотношений сигнал/шум использовалась, подсистема измерителя мощности, которая изображена на рисунке 3.6.

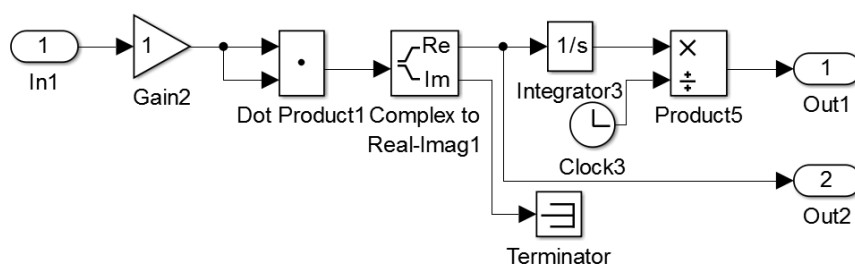


Рисунок 3.6 – Подсистема измерителя мощности

**Измеритель мощности.** Измеритель предназначен для измерения мощности, как регулярных сигналов, так и псевдослучайных последовательностей, как вещественных, так и комплексных. Для обеспечения возможностей измерения мощности комплексных сигналов использован блок **Dot Product**, который позволяет перемножить сигнал со своим комплексным сопряжением. Блок **Integrator** позволяет вычислить энергию сигнала, а деление энергии на время с помощью блока **Product**, позволяет определить мощность.

## 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Прежде всего, отметим, что моделирование в среде **Simulink** ведется во временной области с использованием относительных масштабов по времени и частоте. В процессе исследования отслеживалось соотношение сигнал/шум (**SNR**).

1. Собрать **Sim**-модель трехканального модема на основе импульсов Рэлея и частотного разделения каналов, в соответствии с рисунком 3.1.



2. Выставить параметры блоков **Sim**-модели, согласовывая между собой.
3. Пронаблюдать и зафиксировать основные осциллограммы, иллюстрирующие работу 3-х канальной функциональной модели СШП.
4. Построить водопадоподобные характеристики трехканальной системы и каждого из каналов.
5. Сделать выводы о проделанной работе.
6. Написать и оформить отчет.

*Комментарий:*

- Повторяющаяся последовательность задается блоком **Repeating Sequence**, задаются импульсы интервала реального времени **Time values**: от 0 до 1. и модельное время **Output values**: от 0 до 2.
- Длительность бит информационных последовательностей устанавливается в блоках **Random Number** помощью параметра **Sample time** = 1.
- Обеспечение дискретизации входных данных реализуется блоком **Zero-Order Hold** = 1/64.
- Накопление отсчетов принятых сигналов и опорных импульсов первых производных Рэлеевской формы организует блок **Buffer** = 64.
- Путем изменения мощности шума канала подобрать такое значение сигнал/шум, при котором наблюдается одна ошибка за 1000 шагов. Затем путем увеличения шума канала находим несколько точек водопадоподобной характеристики.

## 5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое сверхширокополосная связь?
2. Какие сигналы относятся к СШП сигналам?
3. Укажите и отобразите на приборах модели форму Релеевского импульса и его производной.
4. Какую функцию в схеме выполняют блоки *Product*, *Math Function  $u^2$* , *Gain*?
5. По каким опорным импульсам производится корреляционный прием и обработка принимаемых сигналов?
6. Что реализуется в блоках *Pulse Generator* и *Transport Delay*?
7. Какие сигналы поступают на входы подсистем корреляционной обработки?
8. По какому правилу реализуется распределение частот несущих колебаний в рабочем диапазоне?
9. Объясните принцип работы подсистемы детектора ошибок.
10. Объясните принцип работы подсистемы измерителя мощности.

## 6 ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ БЛОКОВ БИБЛИОТЕКИ SIMULINK

Ниже представлено описание основных базовых разделов библиотеки Simulink, которые используются в функциональной схеме.



Random  
Number

**Random Number** – источник случайного сигнала с нормальным распределением. Назначение: формирование случайного сигнала с нормальным распределением уровня сигнала. Параметры блока: Mean – среднее значение сигнала; Variance – дисперсия; Initial seed – начальное значение генератора случайного сигнала; Sample time – такт дискретности.



**Sign** – блок определения знака сигнала. Назначение: определяет знак входного сигнала, при этом, если  $x$  - входной сигнал, то сигнал на выходе определяется выражением

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} -1 & \text{при } x < 0, \\ 0 & \text{при } x = 0, \\ 1 & \text{при } x > 0. \end{cases}$$

Параметры блока: флажок - **Enable zero crossing detection** позволяет фиксировать прохождение сигнала через нулевой уровень.



Scope

**Scope** – блок осциллографа.

Назначение: построение графиков исследуемых сигналов как функций времени. Открытие окна осциллографа производится двойным щелчком ЛКМ на пиктограмме блока. Настройка окна осциллографа выполняется с помощью панелей инструментов, позволяющих: осуществить печать содержимого окна осциллографа; установить параметры, в частности, **Number of axes** - число входов осциллографа, **Time range** – отображаемый временной интервал и

другие; изменить масштабы графиков; установить и сохранить настройки; перевести в плавающий режим и так далее.



Sine Wave2 **Sine Wave** – блок источника синусоидального сигнала.

Назначение: формирование синусоидального сигнала с заданной частотой, амплитудой, фазой и смещением. Для формирования выходного сигнала блоком могут использоваться два алгоритма. Вид алгоритма определяется параметром **Sine Type** – способ формирования сигнала реализуется двумя алгоритмами: **Time-based** – по текущему времени (для аналоговых систем) или по значению сигнала на предыдущем шаге и величине такта дискретности (для дискретных систем); **Sample-based** – по величине такта дискретности и количеству расчетных шагов на один период синусоидального сигнала. Вид окна задания параметров меняется в зависимости от выбранного способа формирования синусоидального сигнала.

Параметры блока в режиме Time-based: **Amplitude** – амплитуда; **Bias** – постоянная составляющего сигнала (смещение); **Frequency (rads/sec)** – частота (рад/с); **Phase (rads)** – начальная фаза (рад); **Sample time** – такт дискретности. Параметр может принимать следующие значения: 0 (по умолчанию) – используется при моделировании непрерывных систем; > 0 (положительное значение) – задается при моделировании дискретных систем; -1 (минус один) – такт дискретности устанавливается таким же, как и в предшествующем блоке. Флажок **Interpreted vector parameters as 1 – D** – интерпретировать вектор как массив скаляров. Для очень больших значений времени точность вычисления значений сигнала падает.

Параметры блоков режиме Sample - based: **Amplitude** – амплитуда; **Bias** – постоянная составляющего сигнала (смещение); **Samples per period** – количество тактов на один период синусоидального сигнала:

$$N = \text{Sample per second} = \frac{1}{f * T};$$

$$P = \text{Sample per period} = 2 * \pi * N.$$

**Number of offset samples** – начальная фаза сигнала, задается количеством тактов дискретности  $l = \varphi * p(2 * \pi)$ . **Sample time** – такт дискретности. Флажок **Interpret vector parameters as 1 - D** – интерпретировать вектор как одномерный. В данном режиме ошибка округления не накапливается, поскольку **Simulink** начинает отсчет номера текущего шага с нуля для каждого периода.

Unit Delay



**Unit delay** – блок единичной дискретной задержки. Назначение:

выполняет задержку дискретного сигнала на заданный такт дискретности.

Параметры блока: **Initial conditions** – начальное значение выходного сигнала;

**Sample time** – такт дискретности (при задании значения параметра равного -1 такт дискретности наследуется от предшествующего блока).



Product

**Product** – блок умножения и деления. Назначение: вычисление

произведения текущих значений сигналов. Параметры блока: **Number of**

**inputs** – количество входов, может задаваться как число или как список знаков.

В списке знаков можно использовать знаки: \* - умножить и / - разделить.

**Multiplication** – способ выполнения операции, может принимать значения из

списка: **Element-wise** – поэлементный; **Matrix** – матричный. Флажок **Show**

**additional parameters** – показать дополнительные параметры. При

выставленном флажке отображается окно списка **Output data type mode**, в нашем случае флажок не используется.



Gain

**Gain** – блок усилителя. Назначение: выполняет умножение

входного сигнала на постоянный коэффициент; Параметры блока: Gain -

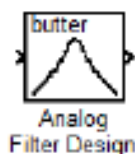
коэффициент усиления. **Multiplication** – способ выполнения операции,

значение параметра выбирается из списка: **Element-wise** **K\*u** –

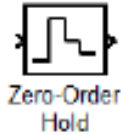
поэлементный; **Matrix** **K\*u** – матричный, коэффициент усиления является

левосторонним оператором; **Matrix  $u \cdot K$**  – матричный, коэффициент усиления является правосторонним оператором; **Matrix  $K \cdot u$**  ( $u$ -вектор) – векторный, коэффициент усиления является левосторонним оператором. Флажок **Show additional parameters** – показать дополнительные параметры, при выставленном флажке отображаются окна списков **Parameter data type mode**, **Output data type mode**. **Saturate on integer** – подавлять переполнение целого. При установленном флажке ограничение сигналов целого типа выполняется корректно.

Блоки **Gain** и **Matrix Gain** по сути есть один и тот же блок, но с разными начальными установками параметра **Multiplication**.



**Analog Filter Design** – блок аналогового фильтра заданного метода проектирования и типа из подраздела **Filter Design**. Назначение: аналоговая фильтрация низкочастотных составляющих спектра входного сигнала. Параметры блока: **Design method** – метод проектирования, выбирается из списка: **Butterworth** – фильтр Баттерворта; **Chebyshev I** – фильтр Чебышева 1-го рода; **Chebyshev II** – фильтр Чебышева 2-го рода; **Elliptic** – фильтр эллиптический; **Bessel** – фильтр Бесселя. **Filter type** – тип фильтра, выбирается из списка: **Lowpass** – нижних частот; **Highpass** – верхних частот; **Bandpass** – полосно-пропускающий; **Bandstop** – полосно-заграждающий. Далее для каждого метода проектирования и типа фильтра выдается свой список параметров. Так для фильтра Баттерворта типа нижних частот параметрами являются: **Filter order** – порядок фильтра; **Passband edge frequency (rads/sec)** – нижняя граничная частота (радиан в секунду). Для других методик проектирования и типов фильтров определяемые параметры очевидны.



**Zero-Order Hold** – экстраполятор нулевого порядка.

Назначение: экстраполяция входного сигнала на интервале дискретизации. Блок фиксирует значение входного сигнала в начале интервала дискретизации и поддерживает на выходе это значение до окончания интервала дискретизации. Затем выходной сигнал изменяется скачком до величины входного сигнала на следующем шаге дискретизации. Параметры блока: **Sample time** – такт дискретности. Блок экстраполятора нулевого порядка может использоваться также для согласования работы дискретных блоков, имеющих разные такты дискретности.

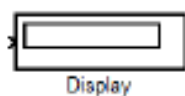


**Constant** – блок источника постоянного сигнала. Назначение:

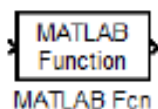
задает постоянный по уровню сигнал. Параметры блока: **Constant value** – постоянная величина. **Interpret vector parameters as 1-D** – интерпретировать вектор как массив скаляров. **Show additional parameters** –показать дополнительные параметры. При выставленном флажке появится окно списка **Output data type mode**. **Output data type mode** – выбор типы выходных данных. **Output data type** – тип выходных данных. **Output Scaling Mode** – способ масштабирования выходного сигнала. **Output scaling value** – величина масштаба.



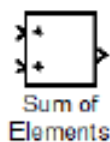
**Mux** – мультиплексор. Назначение: объединяет входные сигналы в вектор. Параметры блока: **Number of Inputs** - количество выходов. **Display option** - способ отображения, выбирается из списка: **bar** - вертикальный узкий прямоугольник черного цвета; **signals** - прямоугольник с белым фоном и отображением меток входных сигналов. **None** - прямоугольник с белым фоном без отображения меток входных сигналов.



**Display** – цифровой дисплей. Назначение: отображает значение сигнала в виде числа. Параметры блока: **Format** – формат отображения данных, может принимать следующие значения: **short** – 5 цифр, включая десятичную точку; **long** - 15 цифр с фиксированной точкой; **short\_e** - 5 цифр с плавающей точкой; **long\_e** - 15 цифр с плавающей точкой; **bank** – банковский формат. **Decimation** – прореживание. **Sample time** – такт дискретности. **Floating display** – изменяющийся режим.



**MATLAB Function** – блок задания М-функции. Назначение: задает выражение в стиле языка программирования MATLAB. Параметры блока: **MATLAB Function** – выражение на языке MATLAB. **Output dimensions** – размерность выходного сигнала. **Output signal type** – тип выходного сигнала. Выбирается из списка: **real** - действительный сигнал; **complex** – комплексный сигнал; **auto** - автоматическое определение типа сигнала. **Collapse 2 - D resultsto 1-D** - преобразование двумерного выходного сигнала в одномерный.



**Sum** – блок сумматора. Назначение: вычисление алгебраической суммы текущих значений входных сигналов. Параметры блока: **Iconshape** – форма блока, выбирается из списка: **round** – круг; **rectangular** – прямоугольник. **Listofsign** – список знаков из набора: + - **плюс**; - - **минус**, | - **разделитель**. Флажок **Show additional parameters** – показать дополнительные параметры, при выставленном флажке отображаются окна списка **Output data type mode**, в нашем случае не используется. Количество входов и соответствующие им операции определяются списком знаков **List of sign**. При этом метки входов обозначаются соответствующими знаками. В



списке **List of sign** можно также указать число входов, при этом все входы будут суммирующими.



Buffer

Buffer – буфер преобразует длину фрейма. Последовательность фреймов на выходе генерируется с задержкой, определяемой формулой  $T_{T_{fr\text{ вых}}} = T_{\max}\{L_{fr\text{ вых}}; L_{fr\text{ вх}}\}$ , где  $L_{fr\text{ вых}}$  - длина фрейма на выходе,  $L_{fr\text{ вх}}$  - длина фрейма на входе,  $T$  - период дискретизации (параметр Sample time блока на входе). Блок имеет параметр Initial conditions (Начальные условия) — значения начальных отсчетов на интервале задержки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дубровин, В. С., Колесникова, И. В. Сверхширокополосные системы связи [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/UWB\\_communication\\_systems.pdf](http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/UWB_communication_systems.pdf)
2. Сверхширокополосные сигналы [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://www.uwbgroup.ru/index.php?option=com\\_content&view=category&id=47&layout=blog&Itemid=39](http://www.uwbgroup.ru/index.php?option=com_content&view=category&id=47&layout=blog&Itemid=39)
3. Грахова, Е.П. Системы, сети и устройства телекоммуникаций: повышение эффективности сверхширокополосных беспроводных систем связи на основе спектральной модуляции: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук [Электронный ресурс]/ Грахова Е.П. – Уфа 2016, 197 стр. — Режим доступа: [http://www.ugatu.ac.ru/assets/files/documents/dissov/07/2016/Grakhova\\_E\\_P/diss.pdf](http://www.ugatu.ac.ru/assets/files/documents/dissov/07/2016/Grakhova_E_P/diss.pdf)
4. Гультяев, А.К. **MatLab 5.3**. Имитационное моделирование в среде **Windows**: Практическое пособие / А.К. Гультяев. – СПб.: КОРОНА принт, 2001.- 400 с.

5. Черных, И.В. **Simulink**: среда создания инженерных приложений. / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.- 496 с.
6. Дьяконов, В.П. **MatLab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6** в математике и моделировании. Сер. Библиотека профессионала / В.П. Дьяконов. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005.- 576 с.