

УДК 519.876.5

**Н.В. Ипатова**, студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,  
**А.А. Ипатов** студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,  
**Т. В. Гордяскина**, доцент каф. радиоэлектроники, к.ф.-м.н., ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,  
603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АМ И ЧМ - СИГНАЛОВ В РАДИОТЕХНИЧЕСКОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MATLAB SIMULINK R2009B

*Ключевые слова:* радиотехнический канал связи, цифровой радиотехнический сигнал, белый шум, модуляция, детектирование, программная среда Simulink Matlab.

*Проводится сравнительный анализ помехозащищенности сигналов с амплитудной и частотной модуляцией при распространении в радиотехническом канале связи в программной среде Matlab R2009b Simulink.*

Для передачи радиосигнала между двумя пространственно разделенными точками без линий передачи, т. е. средствами радиосвязи, необходимо сформировать радиотехнический канал связи. Общепринятая структура радиотехнического канала связи представлена на рис. 1. [1]

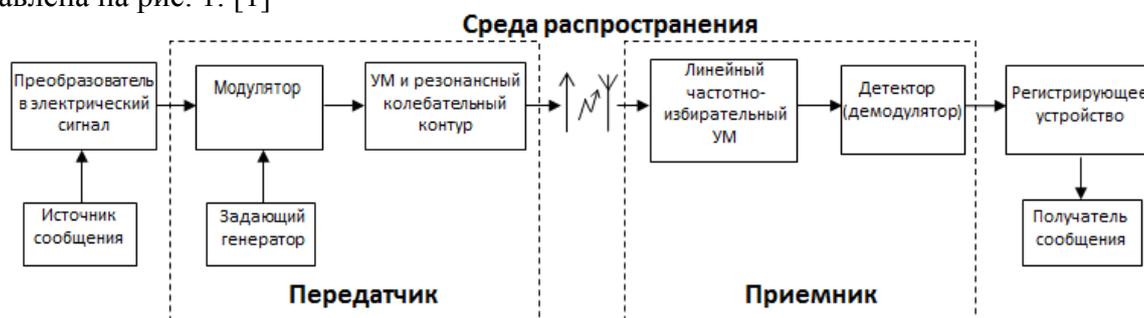


Рис. 1. Упрощенная структура радиотехнического канала связи

Рассмотрим процесс преобразования амплитудно-модулированных (АМ) и частотно-модулированных (ЧМ) сигналов в радиотехническом канале связи.

Рассмотрим математические модели однотоновых АМ и ЧМ сигналов.

Преобразование АМ сигнала рассмотрено подробно в [2], остановимся подробнее на теории ЧМ сигнала.

$$U_{\text{ЧМ}} = U_m \cos(\omega_0 t + \int S_{\text{упр}}(t)), \text{ где } S_{\text{упр}}(t) = U_m \cos \Omega t$$

$$U_{\text{ЧМ}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \frac{U_m}{\Omega} \sin \Omega t), \text{ где } m = \frac{U_m}{\Omega}$$

$$U_{\text{ЧМ}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t) \cos(m \sin \Omega t) - U_m \sin(\omega_0 t) \sin(m \sin \Omega t)$$

Сомножители  $\cos(m \sin \Omega t)$  и  $\sin(m \sin \Omega t)$  являются периодическими функциями во времени, поэтому их можно разложить в ряд Фурье при этом используя специальные функции Бесселя.

$$\sin(m \sin \Omega t) = 2I_1(m) \sin \Omega t + 2I_3(m) \sin 3\Omega t + \dots$$

$$\cos(m \sin \Omega t) = I_0(m) + 2I_2(m) \cos 2\Omega t + 2I_4(m) \cos 4\Omega t + \dots$$

*Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов*

$I_n(m)$ - функция Бесселя первого рода n-го порядка от аргумента m.

Подставляем данные сомножители в выражения для частотной модуляции.  
 $U_{ЧМ}(t) = U_m \{ I_0(m) \cos \omega_0 t + I_1(m) [\cos(\omega_0 + \Omega)t + \cos(\omega_0 - \Omega)t] + I_2(m) [\cos(\omega_0 + 2\Omega)t + \cos(\omega_0 - 2\Omega)t] + I_3(m) [\cos(\omega_0 + 3\Omega)t + \cos(\omega_0 - 3\Omega)t] + \dots$   
 Анализируя полученное выражение для сигнала с частотной модуляцией следует отметить, что спектр сигнала содержит бесконечное число гармонических составляющих, расположенных попарно симметрично относительно несущей частоты  $\omega_0$ .

k \ m	1	2	3	4	5
0	0.765	0.224	-0.260	-0.397	-0.178
1	0.440	0.577	0.339	-0.066	-0.328
2	0.115	0.353	0.486	0.364	0.047
3	0.020	0.129	0.309	0.430	0.365
4	0.002	0.034	0.132	0.281	0.391
5	$2 \cdot 10^{-4}$	0.007	0.043	0.132	0.261
6	$2 \cdot 10^{-5}$	0.001	0.011	0.049	0.131
7	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0.003	0.015	0.053

Рис. 2. Таблица функций Бесселя  $I_k(m)$

В ЧМ-сигнале при  $m=1$  учитываются только 0, 1 и 2 гармоники, а остальными можно пренебречь, т.к. они малы. В результате получен спектр, состоящий из несущего колебания, умноженного на  $I_0$ , двух боковых гармоник, умноженных на  $I_1$  и еще двух боковых гармоник, умноженных на  $I_2$ .

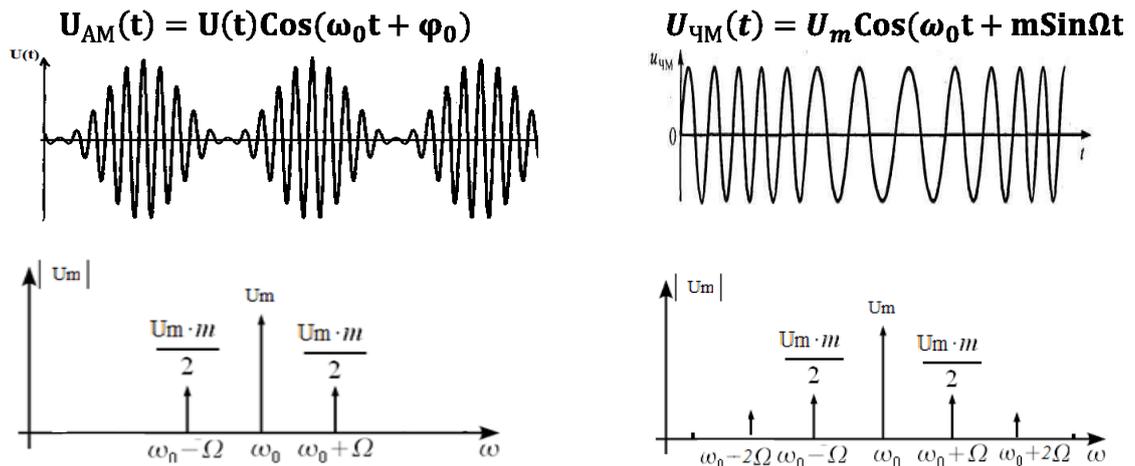


Рис. 3. Математическая модель АМ и ЧМ сигнала соответственно

Анализируя математическую модель АМ и ЧМ сигнала, можно сделать вывод, что при однотоновой модуляции при  $m=1$ , спектр ЧМ сигнала в 2 раза шире спектра АМ сигнала.

На приемной стороне с выхода частотно-избирательной системы сигнал поступает на демодулятор, где домножается на несущее колебание и подается на фильтр низкой частоты, где выделяется низкочастотный управляющий сигнал.

**Компьютерное моделирование в Matlab.** При реализации радиотехнического канала в Matlab, используются следующие параметры сигналов: источник сообщений формирует гармонический сигнал с управляющей частотой 5 кГц, задающий генератор формирует гармонический сигнал с несущей частотой 50 кГц, модуляторы формируют радиосигналы с однотоновой амплитудной и частотной модуляцией, помеха в канале связи моделируется «белым шумом», частота дискретизации 200кГц; регистрирующие устройства – осциллограф и анализатор спектра. (Рис. 4.)

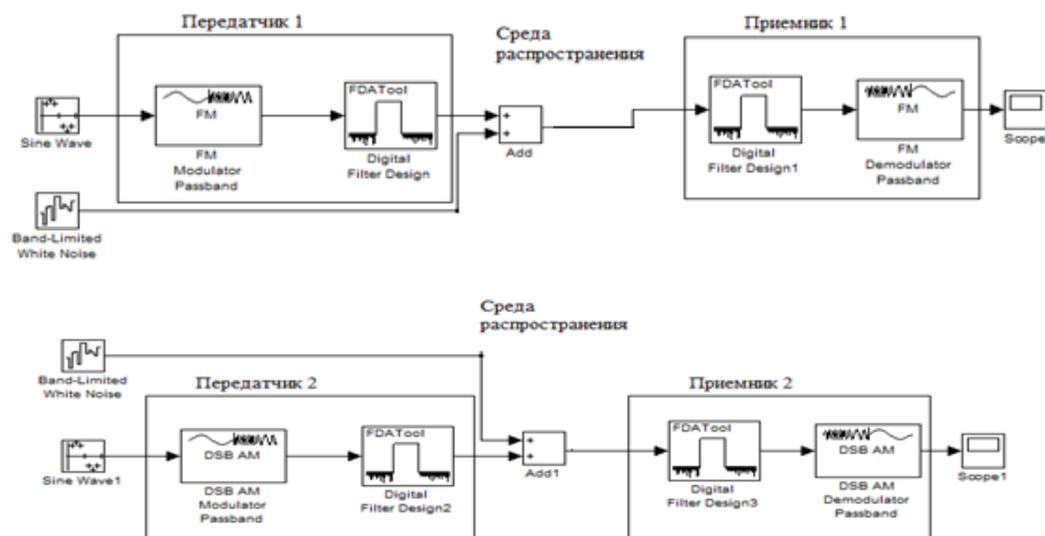


Рис. 4. Исследуемые радиотехнические каналы связи с амплитудной и частотной модуляцией

**Исследование влияния помехи на АМ и ЧМ сигналы.** Сравним сигналы на выходе приемника при амплитудной и частотной модуляции.

Параметры сигналов:  $f_d=200\text{кГц}$ ,  $f_y=5\text{кГц}$ ,  $f_n=50\text{кГц}$ ,  $m=1$ , сигнал/шум=5, Апомехи=0,2В

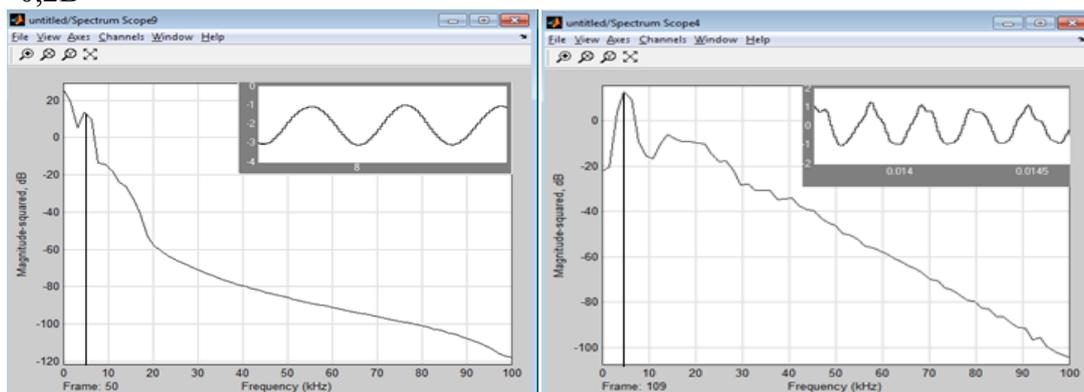


Рис. 5. Осциллограмма и спектр выходного сигнала приемника при АМ и ЧМ соответственно

При отношении сигнал/шум  $\approx 5$ , переданный управляющий сигнал восстанавливается.

Параметры сигналов:  $f_d=200\text{кГц}$ ,  $f_y=5\text{кГц}$ ,  $f_n=50\text{кГц}$ ,  $m=1$ , сигнал/шум=1, Апомехи=1В

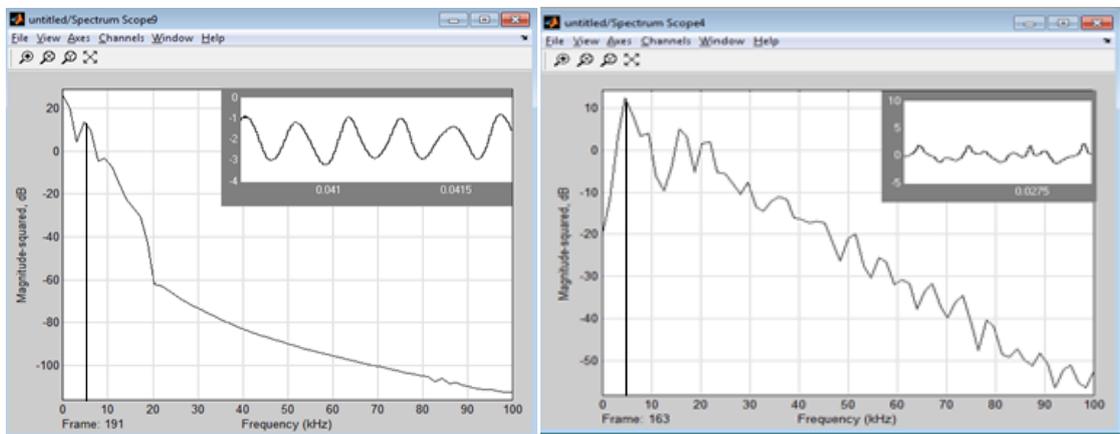


Рис. 6. Осциллограмма и спектр выходного сигнала при АМ и ЧМ

При отношении сигнал/шум =1 при частотной модуляции сигнал восстановить не удалось, при амплитудной модуляции сигнал восстановлен, но с потерей качества. То есть, при малом значении отношения сигнал/шум помехозащищенность сигнала с ЧМ хуже, чем с АМ.

### Рассмотрим влияние полосы пропускания ПФ на восстановление сигнала с ЧМ в приемнике.

Рассмотрим пример исследования, где полоса пропускания (ПП) полосового фильтра (ПФ) ПП=16 кГц. Параметры АМ и ЧМ сигналов:  $f_d=200\text{кГц}$ ,  $f_y=5\text{кГц}$ ,  $f_n=50\text{кГц}$ ,  $m=1$  Параметры фильтра:  $F_{stop1}=40\text{кГц}$ ,  $F_{stop2}=60\text{кГц}$ ,  $F_{pass1}=42\text{кГц}$ ,  $F_{pass2}=58\text{кГц}$ ,  $F_s=200\text{кГц}$  (ПП=16кГц), ОСШ=5.

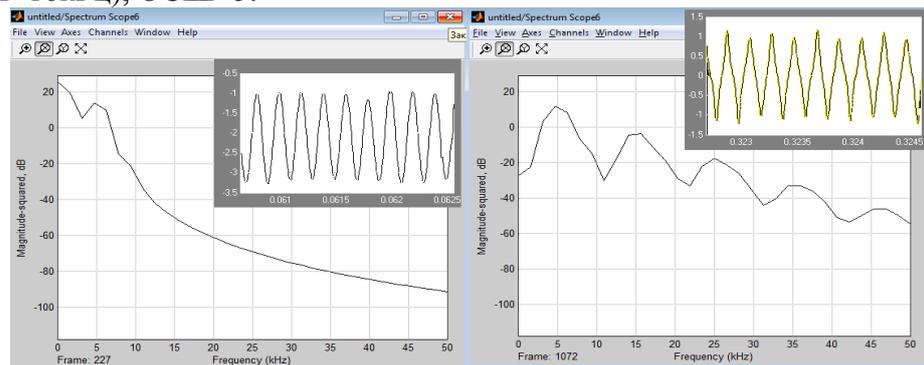


Рис. 7. Осциллограмма и спектр АМ и ЧМ сигнала соответственно при выбранных параметрах фильтра

Спектр АМ сигнала располагается в полосе пропускания (ПП) ПФ, поэтому проблем с выделением на выходе приемника нет. Спектр ЧМ сигнала выходит за пределы ПП, боковые гармоники срезаются, что приводит к искажению ЧМ сигнала (форма сигнала у ЧМ-пилообразная). При ЧМ сигнале полосовой фильтр должен иметь ПП не менее, чем ширина спектра ЧМ сигнала.

Рассмотрим пример исследования, где полоса пропускания ПФ =36 кГц. Параметры АМ и ЧМ сигнал  $f_d=200\text{кГц}$ ,  $f_y=5\text{кГц}$ ,  $f_n=50\text{кГц}$ ,  $m=1$ . Параметры фильтра:  $F_{stop1}=30\text{кГц}$ ,  $F_{stop2}=70\text{кГц}$ ,  $F_{pass1}=32\text{кГц}$ ,  $F_{pass2}=68\text{кГц}$ ,  $F_s=200\text{кГц}$  (ПП=36кГц), ОСШ=5. При таких условиях проходят без искажений и АМ и ЧМ сигналы.

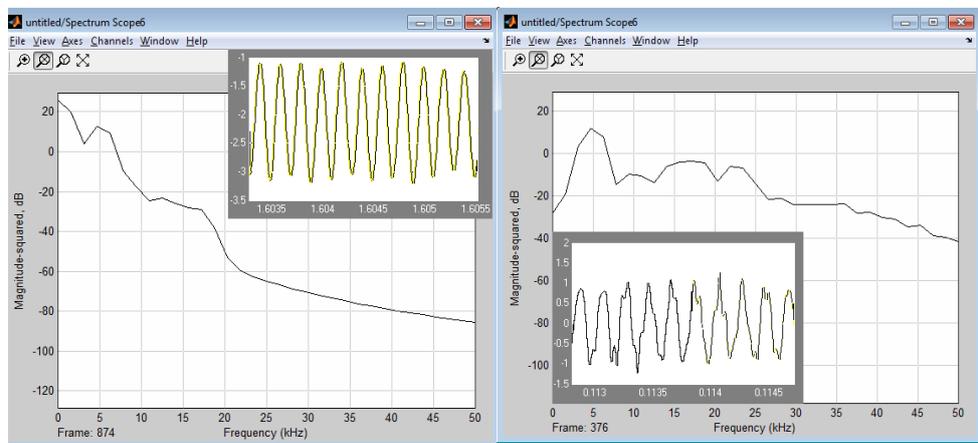


Рис. 8. Осциллограмма и спектр АМ и ЧМ сигнала соответственно при выбранных параметрах фильтра

### Исследуем процесс многоканального приема сигналов.

Радиоканал состоит из 2х передатчиков и одного многоканального приемника, в котором передатчик 1 формирует ЧМ сигнал на частоте 80 кГц, передатчик 2 формирует АМ сигнал на частоте 50 кГц, при коэффициенте модуляции  $m=1$ .

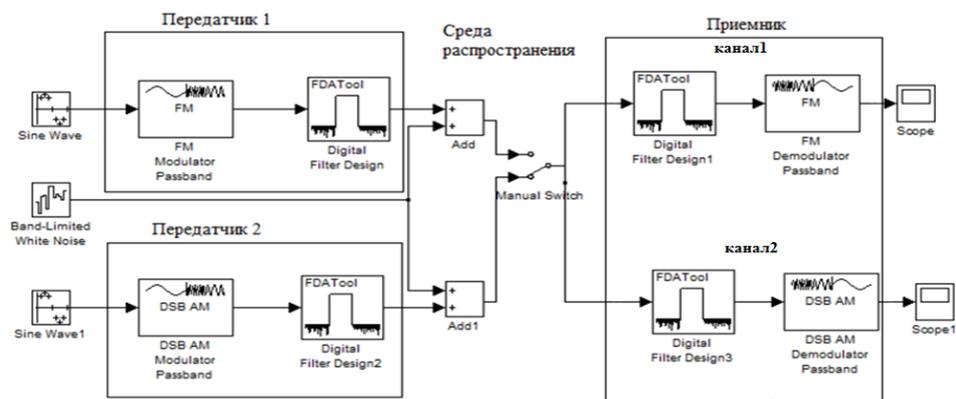


Рис. 9. Структура двухканального тракта

В приемнике избирательные цепи и модуляторы настраиваются каждый на свою несущую частоту передатчика, поэтому наблюдается практическая реализация многоканальной радиотехнической связи, а именно при включении 1 канала приемника система настраивается на передатчик 1, выделяется полезный сигнал частотной избирательной системой, домножается на несущее колебание и выделяется в демодуляторе, затем поступает на отображающее устройство. В этот момент работает и канал 2, но так как приемник настроен на частоту передатчика 1, то фильтрующая система подавляет сигнал с передатчика 2 и на выходе канала 2 сигнал отсутствует (Рис. 10).

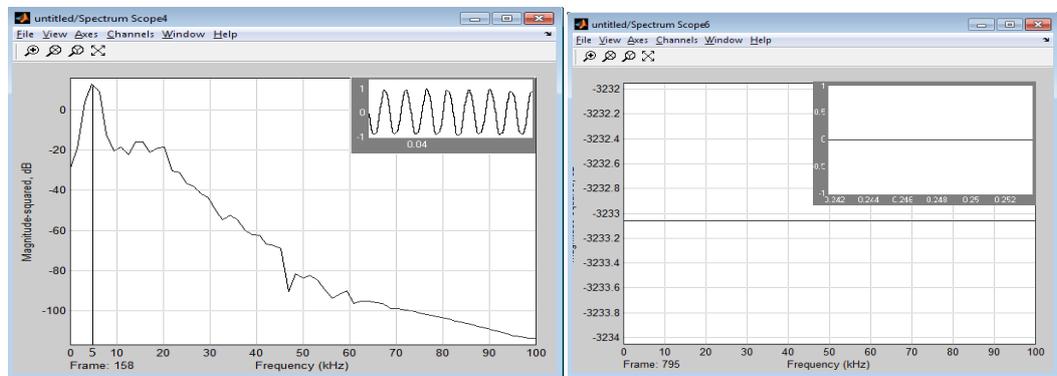


Рис. 10. Осциллограммы и спектры выходного сигнала канала 1 и 2 соответственно при приеме сигнала с передатчика 1

При настройке системы на передатчик 2, включается канал 2 приемника. В этот момент работает и канал 1, но на выходе канала 1 сигнал отсутствует (Рис. 11.).

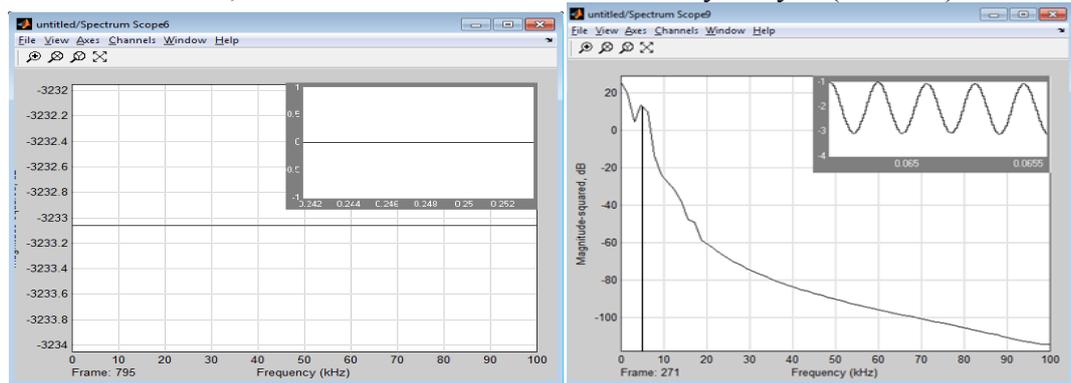


Рис. 11. Осциллограммы и спектры выходного сигнала канала 1 и 2 соответственно при приеме сигнала с передатчика 2

Проведенное компьютерное моделирование процесса преобразования сигнала в радиотехническом канале связи позволяет углубить теоретические основы классической теории радиотехнических цепей и сигналов. Предложенную методику и результаты исследований предполагается внедрить в учебный процесс в дисциплины «Радиотехнические цепи и сигналы» и «Прикладные задачи цифровой обработки сигналов».

#### Список литературы:

- [1]. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для ВУЗов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986.–512с.
- [2]. Ипатова Н.В., Ипатов А.А., Гордяскина Т.В. Исследование процесса преобразования сигналов в радиотехническом канале связи с использованием программной среды Matlab Simulink R2009B. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 51. Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ». Н. Новгород, 2017г.

### A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRANSFORMATION OF AM AND FM SIGNALS IN THE RADIO COMMUNICATION CHANNEL USE OF THE PROGRAM ENVIRONMENT MATLAB R2009B SIMULINK

T.V.Gordyaskina, N.V.Ipatova, A.A.Ipatov.

*Keywords: radio communication channel, digital radio signal, white noise, modulation, detection, software environment Simulink Matlab.*

*Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов*

*A comparative analysis of noise immunity of signals with amplitude and frequency modulation during the propagation in the radio channel in the software Matlab R2009b Simulink.*