

УДК 519.876.5

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АНАЛОГОВОГО КАНАЛА СУДОВОЙ РАДИОСВЯЗИ ПВ/КВ ДИАПАЗОНА В MATLAB SIMULINK**Скрастинов Фёдор Павлович¹**, студентe-mail: skrasfedor@mail.ru**Гордяскина Татьяна Вячеславовна¹**, доцент кафедры радиоэлектроникиe-mail: klimtat@yandex.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе предложена программная модель для исследования аналогового канала судовой радиосвязи ПВ/КВ диапазонов волн в Matlab Simulink с учетом требований к радиоизлучениям Российского Классификационного Общества и Российского Морского Регистра судоходства.

Ключевые слова: канал судовой радиосвязи, радиоизлучение, амплитудный модулятор, среда распространения, амплитудный детектор, супергетеродинный приёмник.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODEL FOR STUDYING AN ANALOG CHANNEL OF SHIPBOARD RADIO COMMUNICATION OF THE MF/HF RANGE IN MATLAB SIMULINK**Fyodor P. Skrastinov¹**, Studente-mail: skrasfedor@mail.ru**Tatyana V. Gordyaskina¹**, Associate Professor of the Department of Radio Electronicse-mail: klimtat@yandex.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper proposes a software model for studying the analog channel of ship radio communication in the MF/HF wave ranges in Matlab Simulink, taking into account the requirements for radio emissions of the Russian Classification Society and the Russian Maritime Register of Shipping.

Keywords: ship radio communication channel, radio emission, amplitude modulator, propagation medium, amplitude detector, superheterodyne receiver.

В связи с развитием беспилотного и полуавтономного флота, крайне важно в рамках учебных занятий сформировать у студентов знания процесса передачи сообщений через судовые каналы радиосвязи. Изучение структуры приемо-передающего оборудования проводится на примере процесса формирования, передачи и приема радиоизлучения

определенного класса, регламентируемого Российским Морским Регистром судоходства (РМРС) и Российским Классификационным Обществом (РКО) (Таблица 1) [1, 2]. Где класс J3E – однопосная амплитудная модуляция (ОАМ) с подавленной несущей, класс F1B – частотная телеграфия [3].

Таблица 1. Требования РМРС и РКО к радиосигналам

	Поддиапазон, МГц	Частота, кГц	Класс излучения	Ширина полосы, кГц
ПВ	2	2187,5	J3E	3
		2174,5	F1B	0,3
КВ	4	4207,5	F1B	0,3
	6	6312	J3E	3
		6215	J3E	3
		6268	F1B	0,3
	8	8414,5	F1B	0,3
		8291	J3E	3
		8376,5	F1B	0,3
	12	12577	J3E	3
		12290	J3E	3
		12520	J3E	3
	16	16804,5	F1B	0,3
		16420	J3E	3
		16695	J3E	3

Для изучения структуры аналогового судового канала радиосвязи предлагается его упрощенная программная модель, с классом радиоизлучения J3E ПВ диапазона в Matlab Simulink, содержащая все основные блоки:

– передающего устройства: источник управляющего сигнала – передаваемого сообщения (гармонический сигнал с $f_y = 1$ кГц), источник несущего сигнала (гармонический сигнал с $f_n = 2187,5$ МГц), однопосный амплитудный модулятор, усилитель и оконечный каскад (полосовой фильтр);

– среды распространения радиоизлучения, учитывающей: затухание радиосигнала (блок усилителя $K_y = 0,9$), шума (ОСШ = 20дБ), многолучевость (распространение для 3-х лучей $[0, 10^{-7}, 3 \times 10^{-7}]$), то есть в модели параметры среды не оказывают значительного влияния на распространение радиоизлучения;

– приемного устройства супергетеродинного типа: входная частотно-избирательная цепь с усилителем, параметрический преобразователь 1 (частота гетеродина 1 $f_{r1} = 47187,5$ кГц, обеспечивающего перенос спектра радиоизлучения на промежуточную частоту ПЧ1, $f_{пч1} = f_{r1} - f_n = 45$ МГц), параметрический преобразователь 2 (частота гетеродина 2 $f_{r2} = 45455$ кГц, обеспечивающего перенос спектра радиоизлучения на ПЧ2, $f_{пч2} = f_{r2} - f_{пч1} = 455$ кГц), амплитудный детектор, усилитель низкой частоты.

Структура блоков передающего и приемного устройств программной модели судового канала связи разработана на основе упрощенных версий нормативно-технической документации на судовые радиостанции ПВ/КВ диапазонов. [4] Структурная схема программной модели аналогового канала связи ПВ диапазона в Matlab Simulink приведена на рисунке 1.



Виртуальные средства измерений анализаторы спектра и осциллографы позволяют отображать спектр и осциллограммы сигналов после каждого блока схемы, что наглядно демонстрирует все физические процессы, в моделируемом канале связи. В качестве передаваемого сообщения рассматривается гармонический сигнал, что позволяет провести расчеты математической модели сигналов (формул, осциллограмм, спектров) на выходе каждого блока приемо-передающих устройств, а также наглядно продемонстрировать при компьютерном моделировании и осциллограммы и спектры.

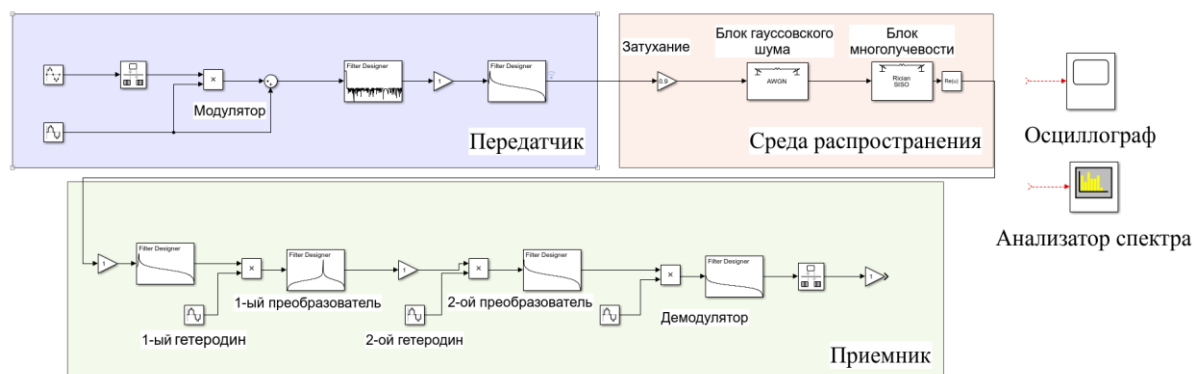


Рисунок 1 – Структурная схема программной модели аналогового канала связи ПВ диапазона в Matlab Simulink

Представим осциллограммы и спектры сигналов в основных точках схемы:

1) На входе модулятора передающего устройства: управляющий сигнал (передаваемое сообщение), несущее колебание (рисунок 2).

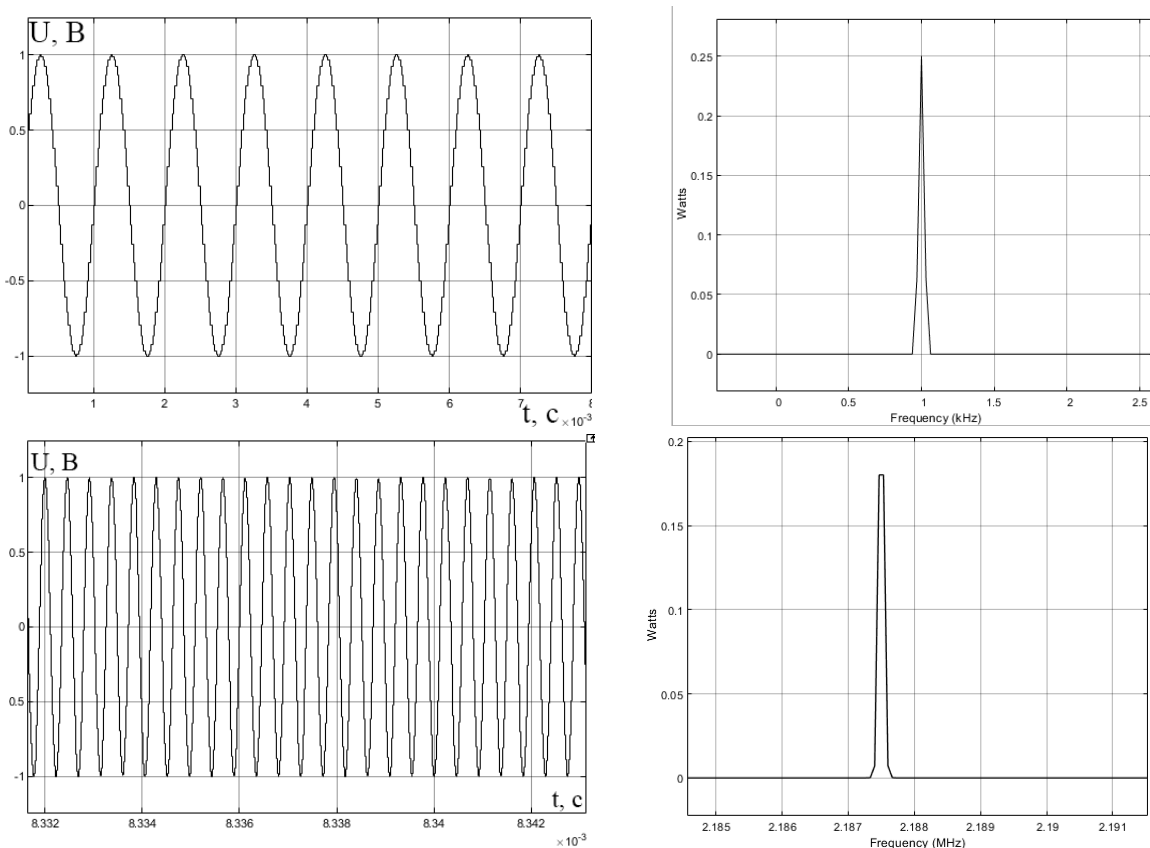


Рисунок 2 – Осциллограммы и спектры управляющего и несущего колебаний

2) На выходе передающего устройства – ОАМ сигнал (рисунок 3).

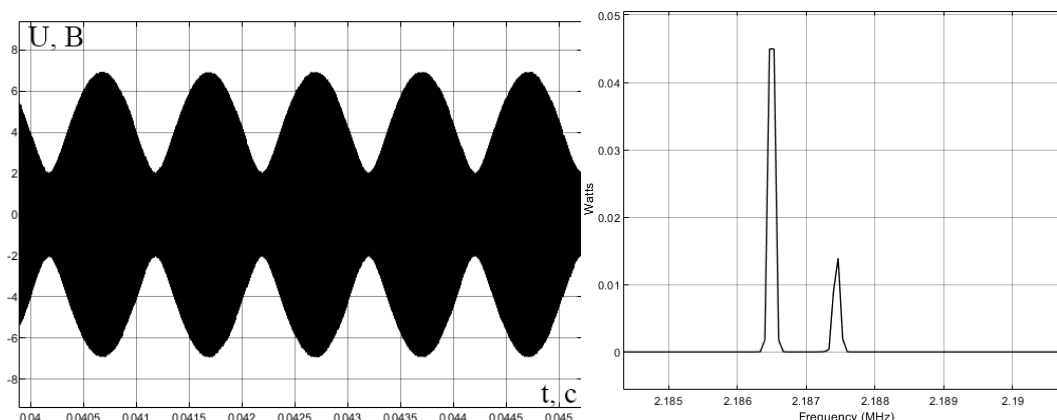


Рисунок 3 – Осциллограмма и спектр ОАМ-сигнала

«Сплошная черная заливка» на осциллограмме ОАМ сигнала отображает реальное соотношение частот управляющего с $f_u = 1\text{кГц}$ и несущего с $f_n = 2187,5\text{кГц}$ сигналов, то есть в радиоизлучении J3E ПВ диапазона на одном периоде управляющего сигнала ($T_u = 1\text{мс}$) располагается 2187,5 периодов несущего колебания ($T_n = 0,45\text{мкс}$).

Так как параметры среды распространения выбраны такими, чтобы радиоизлучение не искажалось существенно на входе приемного устройства, то на выходе частотно-избирательной системы приемника осциллограмма и спектр практически совпадают с радиосигналом на выходе передатчика (рисунок 3).

3) На выходе ПЧ1 ($f_{пч1} = f_{г1} - f_n = 45\text{МГц}$) произошел перенос спектра радиоизлучения на новую частоту $f_{пч1}$ без изменения закона модуляции (рисунок 4).

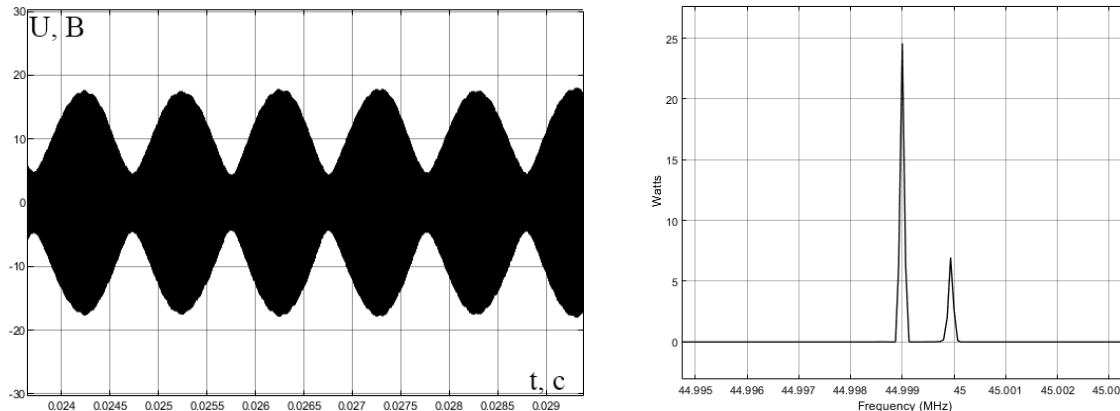


Рисунок 4 – Осциллограмма и спектр сигнала на выходе ПЧ1

4) На выходе ПЧ2 ($f_{пч2} = f_{г2} - f_{пч1} = 455\text{кГц}$) произошел перенос спектра радиоизлучения на новую частоту $f_{пч2}$ без изменения закона модуляции (рисунок 5).

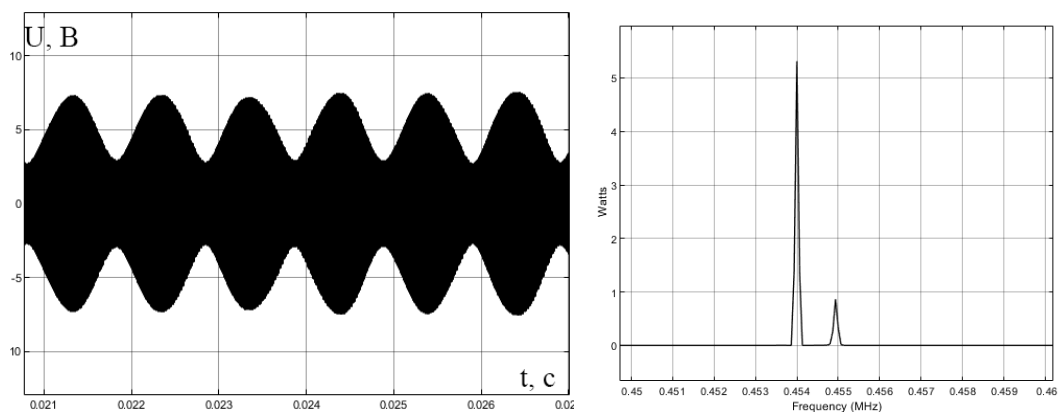


Рисунок 5 – Осциллограмма и спектр сигнала на выходе ПЧ2

4) На выходе детектора (рисунок 6)

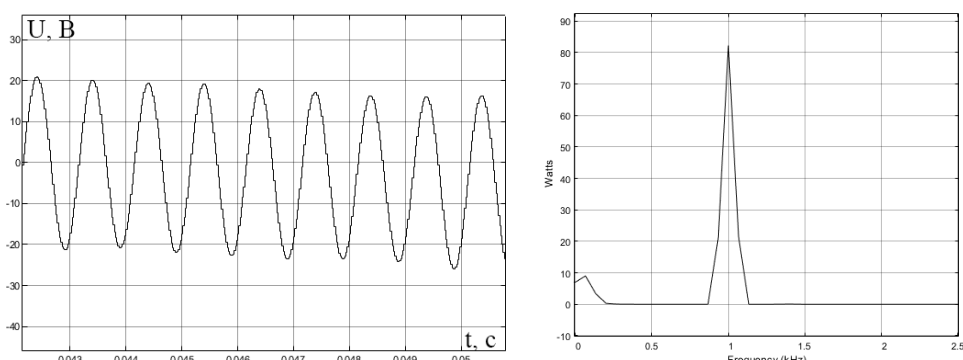


Рисунок 6 – Осциллограмма и спектр сигнала на выходе детектора

В результате преобразований в модели передающей аппаратуры канала судовой радиосвязи было сформировано радиоизлучение J3E ПВ диапазона в соответствии с требованиями РМРС и РКО, в приемной аппаратуре из него выделено передаваемое сообщение без потери информации (выделен гармонический сигнал на частоте 1 кГц).

Предложенная программная модель аналогового канала судовой радиосвязи в Matlab Simulink может быть в дальнейшем использована для постановки лабораторных работ и внедрена в учебный процесс на специальности 25.05.03.

Список литературы:

1. Российский морской регистр судоходства. Правила по оборудованию морских судов. Часть IV. Радиооборудование. – 2018г. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293741/4293741687.pdf?ysclid=minbn36hns972949968> (дата обращения: 25.02.2026)
2. Российское классификационное общество. Правила по оборудованию морских судов. Часть IV. Радиооборудование – 2020г. – URL: https://rfclass.ru/uploads/pravila_po_oborudovaniyu_morski_kh_sudov-4.pdf (дата обращения: 25.02.2026)
3. Классификация излучений. Классификация излучений радиопередающих устройств. – 2013г. – URL: <https://hard-wired.ru/spravochi/45369-waveclass.pdf?ysclid=mif3polnof533351126> (дата обращения: 15.03.2026)
4. Березовский П.П. Министерство образования и науки Российской Федерации. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

Основы радиотехники и связи. Учебное пособие. – 2017г. – URL:
https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/48972/1/978-5-7996-2093-6_2017.pdf?ysclid=mif1fw3but463578196 (дата обращения: 15.03.2026)

