

Научная статья
УДК 519.876.5
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-3-94-104>

Методика обучения основам моделирования и практической реализации блоков многоканального приемного устройства

Татьяна Вячеславовна Гордяскина[✉], Людмила Серафимовна Грошева

Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, Россия, klimtat@yandex.ru[✉]

Аннотация. Приводится методика синтеза и исследования принципов функционирования радиотехнических многоканальных приемных устройств на базе цифрового сигнального процессора TMS320C5510. Методика синтеза модели объекта профессиональной деятельности – многоканального приемного устройства – включает следующие этапы: теоретическое изучение структуры и принципов функционирования цифрового многоканального приемного устройства радиотехнического канала связи; компьютерное моделирование основных процессов в приемном радиооборудовании в программной среде Matlab; лабораторный эксперимент по разработке и исследованию модели цифрового многоканального приемного устройства на лабораторном стенде DSK-5510. Проведение исследований и практическая работа по изучению и синтезу объекта профессиональной деятельности на примере модели радиоприемного устройства гетеродинного типа позволяет студентам в рамках выполнения одной поставленной задачи получить теоретические знания о структуре и функционировании сложных радиотехнических систем, освоить методы радиоизмерений в цифровом оборудовании, получить навыки технической диагностики аппаратно-программных систем, научиться выбирать измеряемые технические параметры и контрольные точки. Внедрение данной методики исследований, включающей как теоретическое изучение и компьютерное моделирование процессов в сложных радиотехнических системах, так и практическую реализацию этих систем на современном цифровом оборудовании, в учебный процесс позволит увеличить качество и эффективность формирования профессиональных компетенций у будущих выпускников специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», повысит их конкурентоспособность на рынке труда.

Ключевые слова: цифровые радиоэлектронные средства, радиотехнический канал связи, преобразователь частоты, сигнальный процессор, многоканальное приемное устройство

Для цитирования: Гордяскина Т. В., Грошева Л. С. Методика обучения основам моделирования и практической реализации блоков многоканального приемного устройства // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 3. С. 94–104. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-3-94-104>.

Original article

Methods of teaching basics of modeling and practical implementation of blocks of multichannel receiver

Tatyana V. Gordyaskina[✉], Liudmila S. Grosheva

Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia, klimtat@yandex.ru[✉]

Abstract. The paper presents methods of synthesis and research of the principles of functioning the radio-technical multichannel receivers in a case of a TMS320C5510 digital signal processor. The method of synthesizing a model of an object of professional activity – a multichannel receiver - includes the following stages: theoretical study of the structure and principles of functioning of a digital multichannel receiver of a radio communication channel; computer modeling of the main processes in the receiving radio equipment in the Matlab environment; a laboratory experiment on developing and studying a model of a digital multichannel receiver on a laboratory stand DSK-5510. Conducting the research and the practical work on studying and synthesizing the object of professional activity in case of a model of a heterodyne radio receiver allows students, within the framework of one task, to gain theoretical knowledge about the structure and functioning of complex radio engineering systems, to master methods of radio measurements in digital equipment, to gain skills in technical diagnostics of hardware and software systems, to learn how to choose the measured technical parameters and control points. Introducing the research methods, which include both the theoretical study and computer modeling the processes in complex radio engineering systems, and practical imple-

menting these systems on modern digital equipment in the educational process will increase the quality and efficiency of developing the professional competencies of the future graduates of the specialty “Technical Operation of Transport Radio Equipment” and raise their competitiveness in the labor market.

Keywords: digital radio-electronic means, radio-technical communication channel, frequency converter, signal processor, multichannel receiver

For citation: Gordyaskina T. V., Grosheva L. S. Methods of teaching basics of modeling and practical implementation of blocks of multichannel receiver. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2022;3:94-104. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-3-94-104>.

Введение

В соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом 3++ специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» [1] к объектам профессиональной деятельности выпускников относятся:

- системы радиолокации, радионавигации и радиосвязи;
- средства контроля и технической диагностики судового радиооборудования;
- автоматизированные идентификационные системы и комплексы, выполненные на базе цифровых аппаратно-программных систем, обеспечивающие безопасность судоходства [2–5];
- оборудование глобальной морской системы связи при бедствии.

Одним из объектов профессиональной деятельности выпускников является радиотехнический канал связи, в том числе УКВ и ПВ-КВ радиостанции. С целью более глубокого освоения компетенций в учебном процессе студентам необходимо изучить структуру цифровых радиоэлектронных средств, процессы формирования, передачи, приема и обработки сигналов судовыми радиоэлектронными средствами, чему не представляется возможным научить на реальном радиоприемном устройстве.

Методика, предлагаемая в статье, позволяет не только выполнить моделирование процессов, происходящих в приемном устройстве, но и реализовать макет приемного устройства с возможностью наблюдения всех этапов преобразования сигнала на цифровом осциллографе.

В лабораториях кафедры радиоэлектроники Волжского государственного университета водного транспорта для обучения используются лабораторные комплексы DSK-5510, основным элементом которых является цифровой сигнальный процессор,

предназначенный для обработки больших потоков информации в режиме реального времени, что позволяет реализовать модели оборудования цифрового канала связи и освоить методы синтеза и исследования основных принципов функционирования цифровых радиоэлектронных средств [6–9].

В рамках дисциплины «Прикладные задачи цифровой обработки сигналов» обучающимся предлагается синтезировать и исследовать модель многоканального приемного устройства цифрового радиотехнического канала связи, реализуемого на базе аппаратно-программного комплекса [9, 10].

На кафедре радиоэлектроники ВГУВТ для студентов специальности 25.05.03 разработана методика синтеза модели объекта профессиональной деятельности – многоканального приемного устройства, включающая следующие этапы:

- теоретическое изучение структуры и принципов функционирования цифрового многоканального приемного устройства радиотехнического канала связи;
- компьютерное моделирование основных процессов в приемном радиооборудовании в программной среде Matlab;
- лабораторный эксперимент по разработке и исследованию модели цифрового многоканального приемного устройства на лабораторном стенде DSK-5510.

Рассмотрим подробнее предложенную методику на многоканальном (двухканальном) приемном устройстве.

Теоретическое изучение процессов в приемном устройстве

Структура и функционирование радиотехнического канала связи представлены на упрощенной модели (рис. 1) [9].

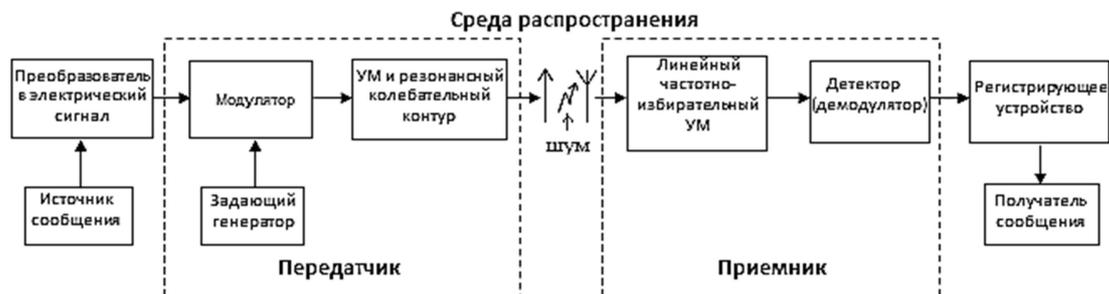


Рис. 1. Структура радиотехнического канала связи: УМ – усилитель мощности

Fig. 1. Structure of a radio communication channel: УМ - power amplifier

Современные радиоприемные устройства являются многоканальными, выполненными по супергетеродинному принципу, что позволяет существенно расширить количество принимаемых сигналов с различных передающих устройств. В структуру приемного устройства вносится блок

параметрического преобразователя частоты, позволяющий перенести спектры принятых радиосигналов с различных передающих устройств на фиксированную промежуточную частоту $f_{pch} = f_{get} - f_{nes}$ (рис. 2).

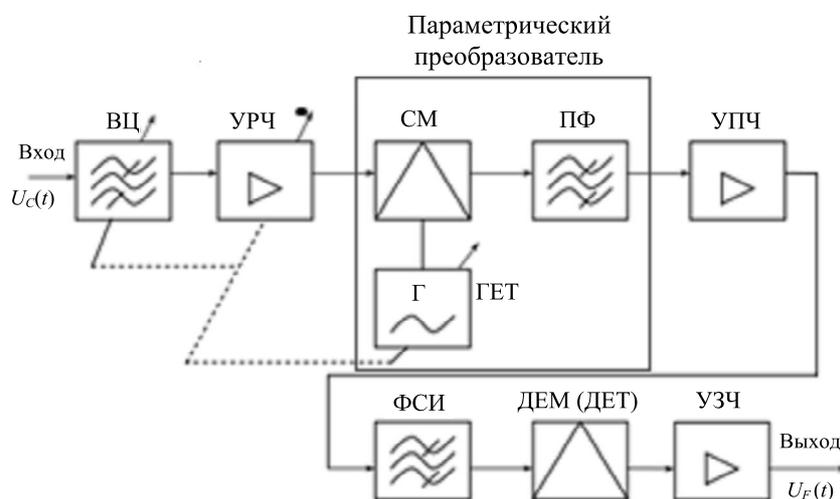


Рис. 2. Структурная схема приемного устройства супергетеродинного типа: $U_C(t)$ – входной сигнал; ВЦ – входная цепь; УРЧ – усилитель радиочастоты; СМ – смеситель; ПФ – полосовой фильтр; УПЧ – усилитель промежуточной частоты; ГЕТ – гетеродин; ФСИ – фильтр сосредоточенной избирательности; ДЕМ (ДЕТ) – детектор; УЗЧ – усилитель звуковой частоты; $U_F(t)$ – выходной сигнал

Fig. 2. Structural diagram of a superheterodyne receiver: $U_C(t)$ - input signal; ВЦ - input circuit; УРЧ - radio frequency amplifier; СМ - mixer; ПФ - bandpass filter; УПЧ - intermediate frequency amplifier; ГЕТ - heterodyne; ФСИ - concentrated selectivity filter; ДЕМ (ДЕТ) - detector; УЗЧ - audio frequency amplifier; $U_F(t)$ - output signal

Процесс переноса спектра радиосигнала, выделенного входной цепью – полосовым фильтром (ПФ) – и усиленного усилителем радиочастоты, осуществляется с помощью специального генератора гармонических колебаний – гетеродина, входящего в состав параметрического преобразователя частоты вместе с блоком смесителя и ПФ. Частота гетеродина перестраивается одновременно с частотой входной цепи таким образом, чтобы разность частот $f_{get} - f_{nes} = f_{pch}$ всегда оставалась постоянной. Дальнейшая обработка принятого радиосигнала проводится на промежуточной частоте (усиление сигнала в усилителе промежуточной частоты, фильтрация радиосигнала в фильтре сосредоточенной избирательности, выделение передаваемого низкочастотного сообщения в детекторе, усиление низкочастотного звукового сигнала), что позволяет упростить схемотехническую структуру приемника.

Рассмотренная структура приемного устройства, применяемого в современной многоканальной радиосвязи, позволяет приобрести теоретические сведения об объекте профессиональной деятельности. Закрепить полученные знания и сформировать навыки технической диагностики реального оборудования

позволят компьютерное моделирование процессов преобразования сигналов в приемном устройстве и лабораторный эксперимент по его синтезу на цифровом аппаратно-программном комплексе.

Компьютерное моделирование процессов преобразования сигналов в приемном устройстве в Matlab

В М-файле программного пакета Matlab задаются параметры входного однотонального АМ-сигнала с учетом его дальнейшей реализации на DSK-5510, обрабатывающего сигналы в звуковом диапазоне частот и имеющего кодек с частотой дискретизации 48 кГц. При выборе параметров сигналов учитывается то, что АМ-сигнал должен быть относительно узкополосным ($f_{upr} / f_{nes} \leq 0,1$).

Параметрическое преобразование частоты АМ-сигнала.

Модель сигналов на входе смесителя параметрического преобразователя. Параметры сигнала на входе смесителя параметрического преобразователя: $Fd = 48\,000$ Гц, $f_{nes} = 4\,000$ Гц, $f_{upr} = 200$ Гц, $f_{get} = 6\,000$ Гц, тогда $f_{pch} = f_{get} - f_{nes} = 2\,000$ Гц; индекс модуляции $M = 1$ (рис. 3, 4).

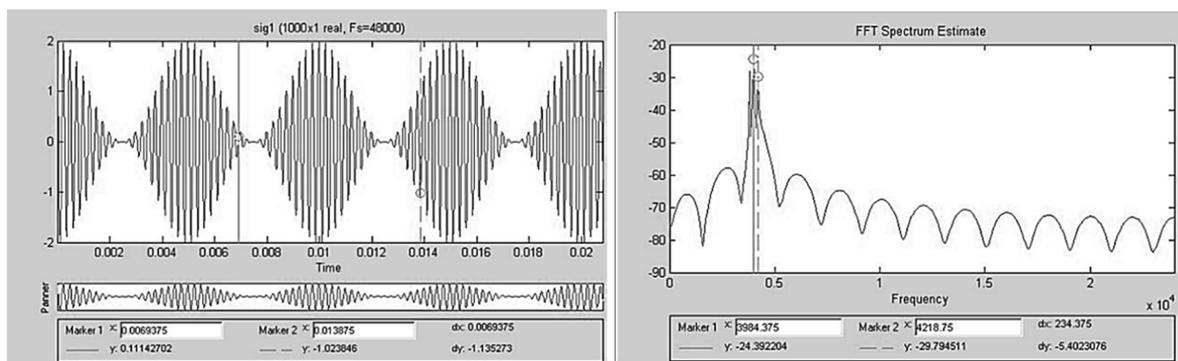


Рис. 3. Осциллограмма и спектр радиосигнала

Fig. 3. Oscillogram and spectrum of a radio signal

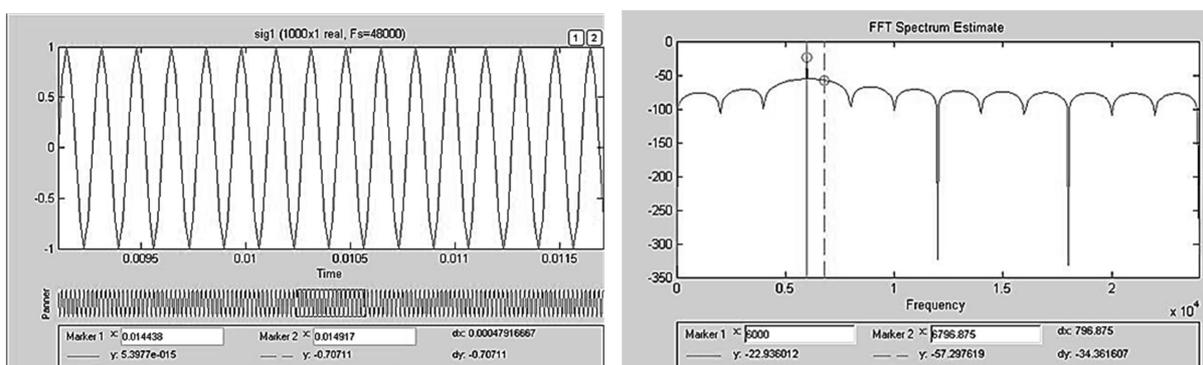


Рис. 4. Осциллограмма и спектр гетеродина

Fig. 4. Oscillogram and spectrum of a heterodyne

Модель сигнала на выходе смесителя параметрического преобразователя частоты. В цифровом смесителе производится перемножение однонального АМ-сигнала и гармонического сигнала

гетеродина, спектр сигнала на выходе смесителя становится полигармоническим, содержащим также составляющие в области промежуточных частот (рис. 5).

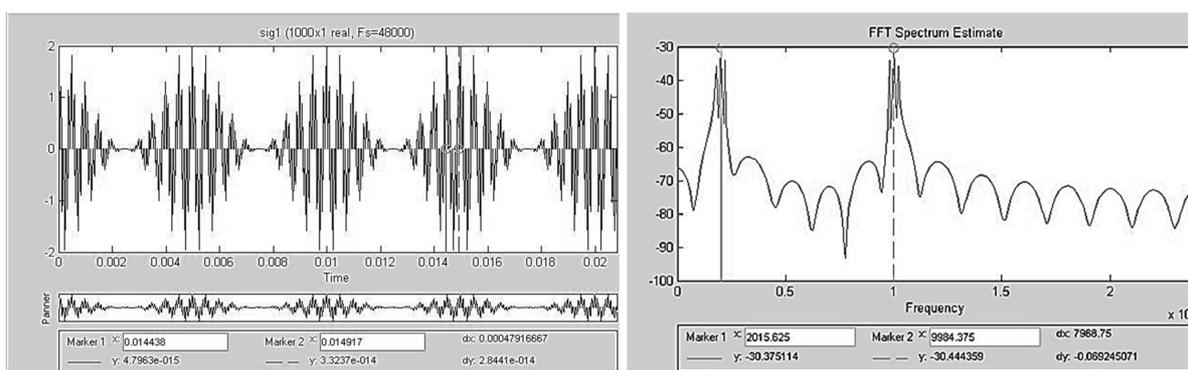


Рис. 5. Осциллограмма и спектр сигнала на выходе смесителя

Fig. 5. Oscillogram and spectrum of a signal at the mixer output

Модель сигнала на выходе параметрического преобразователя частоты. Выделение АМ-сигнала в области промежуточных частот проводится нерекурсивным цифровым полосовым фильтром, синте-

зированным в Graphic User Interface Signal Processing Toolbox (GUI SPTool).

Полигармонический сигнал с выхода смесителя импортируется в SPTool и подается на ПФ, ампли-

Гордяскина Т. В., Грошева Л. С. Методика обучения основам моделирования и практической реализации блоков многоканального приемного устройства

тудно-частотная характеристика (АЧХ) которого сформирована из условия прохождения АМ-сигнала без искажений в области промежуточных частот: полоса пропускания равна удвоенной частоте управляющего сигнала: $\Pi_{0,7} = 400 \text{ Гц} = \Pi_{\text{AM}}$ (шири-

на спектра амплитудно-модулированного сигнала), коэффициенты затухания в полосах задерживания 60 дБ, в полосе пропускания не более 3 дБ. Пример рабочего окна с параметрами синтезируемого фильтра приведен на рис. 6.

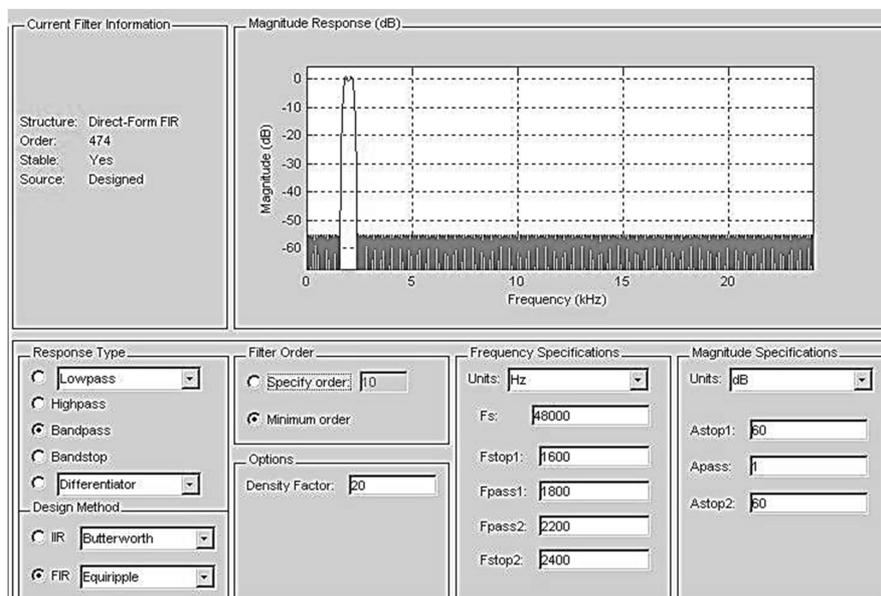


Рис. 6. Пример амплитудно-частотной характеристики нерекурсивного цифрового полосового фильтра

Fig. 6. An example of a frequency response of a non-recursive digital bandpass filter

Отсчет сигнала y_m на выходе синтезированного цифрового нерекурсивного фильтра формируется в результате дискретной свертки отсчетных значений входного сигнала x_k и отсчетов импульсной характеристики фильтра h_{m-k} :

$$y_m = \sum_{k=0}^m x_k h_{m-k}.$$

При синтезе АЧХ цифрового фильтра в Matlab синтезируются и коэффициенты импульсной ха-

рактеристики фильтра, которые при практической реализации фильтра на сигнальном процессоре экспортируются из Matlab в Code Compose Studio (CCStudio) [7].

Модель радиосигнала (осциллограмма и спектр) на выходе ПФ демонстрирует перемещение АМ-сигнала с несущей частоты 4 000 Гц на промежуточную частоту 2 000 Гц без изменения характера модуляции (рис. 7).

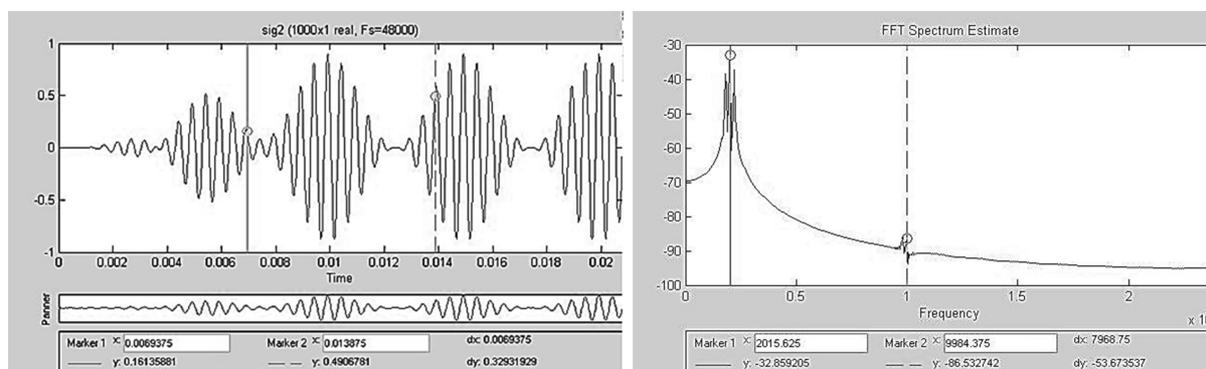


Рис. 7. Осциллограмма и спектр сигнала на выходе цифрового полосового фильтра

Fig. 7. Oscillogram and spectrum of a signal at the output of a digital bandpass filter

Детектирование АМ-сигнала.

Модель сигналов на выходе смесителя детектора. При детектировании сигнала на приемной стороне цифрового канала связи известны только параметры АМ-сигнала на промежуточной частоте и значение этой промежуточной частоты, поэтому в детекторе происходит перемножение АМ-сигнала, поступившего с выхода параметрического преобразователя, и гармонического сигнала, расположенного на промежуточной частоте:

$$U(t) = U_{AM}(t) \cdot U_{pch}(t) = U_{AM}(t) \cdot U_{m_{pch}} \cos(\omega_{pch} t).$$

Сформированный полигармонический сигнал содержит в том числе и гармонику, расположенную на частоте управляющего сигнала (полезный передаваемый сигнал). Модель сигнала, включающая осциллограмму и спектр сигнала на выходе смесителя детектора, приведена на рис. 8.

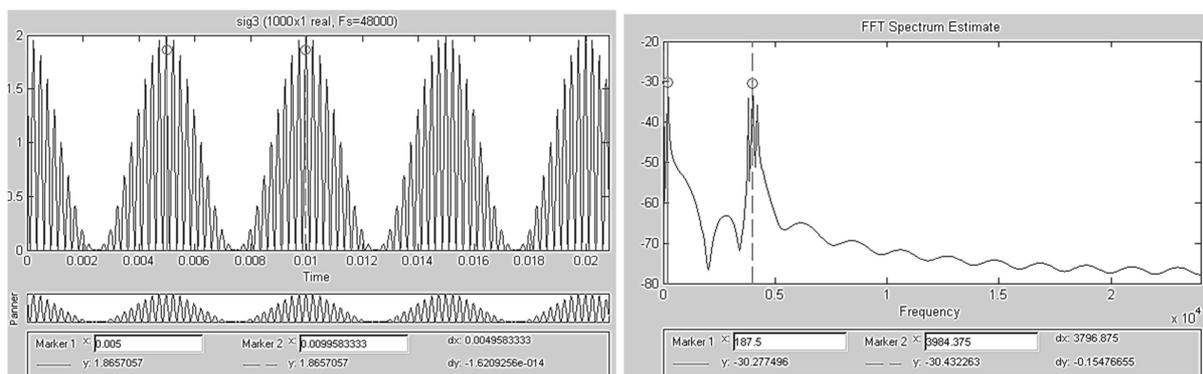


Рис. 8. Модель сигнала на выходе смесителя детектора

Fig. 8. Model of a signal at the output of the detector mixer

Модель сигналов на выходе цифрового низкочастотного фильтра детектора. Выделение полезного передаваемого сообщения – управляющего сигнала – проводится в цифровом фильтре низкой частоты (ЦФНЧ) детектора. Амплитудно-частотная характеристика синтезируется в SPTool исходя из

условия прохождения управляющего сигнала без искажений $f_{pass} \geq f_{upr}$ (f_{pass} – частота среза фильтра низкой частоты, f_{upr} – частота управляющего сигнала). Пример выбора параметров фильтра приведен на рис. 9, модель «полезного» управляющего сигнала на выходе детектора – на рис. 10.

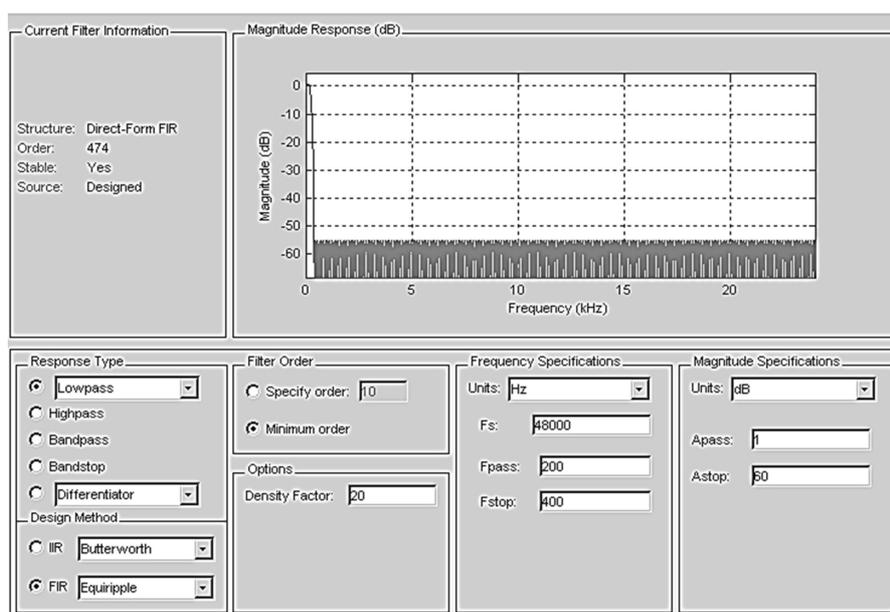


Рис. 9. Пример амплитудно-частотной характеристики нерекурсивного цифрового фильтра низкой частоты

Fig. 9. An example of the frequency response of a non-recursive digital low-pass filter

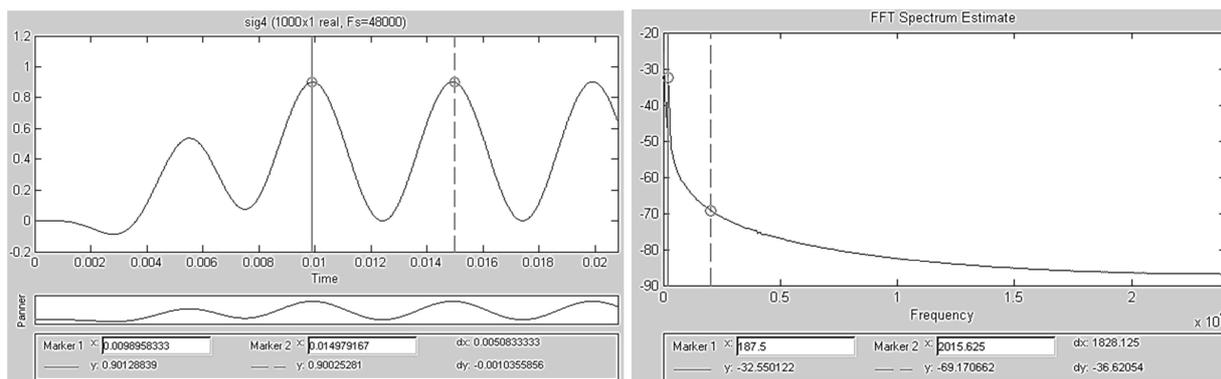


Рис. 10. Осциллограмма и спектр сигнала на выходе цифрового фильтра низкой частоты

Fig. 10. Oscillogram and spectrum of a signal at the output of a digital low-pass filter

Согласно результатам анализа выходного сигнала детектора в начальной области осциллограммы наблюдается переходный процесс, обусловленный заполнением фильтра отсчетными значениями входного сигнала, после завершения которого управляющее колебание выделено без потери качества. В спектре наблюдается одно гармоническое колебание на частоте управляющего сигнала.

Проведено компьютерное моделирование процесса преобразования сигналов в приемном устройстве гетеродинного типа на примере одного передающего устройства. Аналогично можно рассмотреть прием и обработку модулированных сигналов и с передающих устройств, работающих на других несущих частотах, необходимо только учитывать, что разность частот сигнала гетеродина и несущего колебания всегда должна быть фикси-

рованной, равной промежуточной частоте (в рассмотренном примере она равна 2 кГц).

Лабораторный эксперимент на аппаратно-программном комплексе DSK-5510

Собранная лабораторная установка (рис. 11) включает:

- аппаратно-программный комплекс DSK-5510, обеспечивающий программную реализацию блоков многоканального приемного устройства;
- функциональный генератор ADG-1010 (подаст на вход однотональный амплитудно-модулированный сигнал);
- персональный компьютер;
- осциллограф PCS-500 со встроенным быстрым преобразованием Фурье, формирующим спектр исследуемого сигнала [9, 10].



Рис. 11. Лабораторная установка по моделированию многоканального приемного устройства на DSK-5510

Fig. 11. Laboratory equipment for modeling a multi-channel receiver on the laboratory stand DSK-5510

Методика эксперимента.

1. Единая частота дискретизации (f_d) сигналов в канале связи определяется техническими характеристиками DSK-5510, в котором используется кодек с аппаратно заложенной $f_d = 48$ кГц, что поз-

воляет дискретизировать сигналы звукового диапазона частот.

2. Управляющая программа для цифрового сигнального процессора, реализующая многоканальное приемное устройство и подготовленная в CCStudio,

выполняет синтез гармонических сигналов на требуемых частотах, перемножение сигналов, фильтрацию нерекурсивными цифровыми фильтрами и передачу текущего состояния сигналов на кодек для отображения на осциллографе. Параметры входного однополосного амплитудно-модулированного сигнала (например, $U_m = 40$ мВ, $M = 1$, $f_{nes} = 4$ кГц, $f_{upr} = 200$ Гц) выбираются в соответствии

с теоремой Котельникова ($T_{дискр} \leq 1 / (2f_{верхн})$), частотой дискретизации кодека и относительной узкополосностью амплитудно-модулированного сигнала ($f_{upr} / f_{nes} \leq 0,1$) [9, 10]. Осциллограмма и спектр радиосигнала на входе смесителя многоканального приемника приведены на рис. 12.

Gondryaskina T. V., Grosheva L. S. Methods of teaching basics of modeling and practical implementation of blocks of multichannel receiver

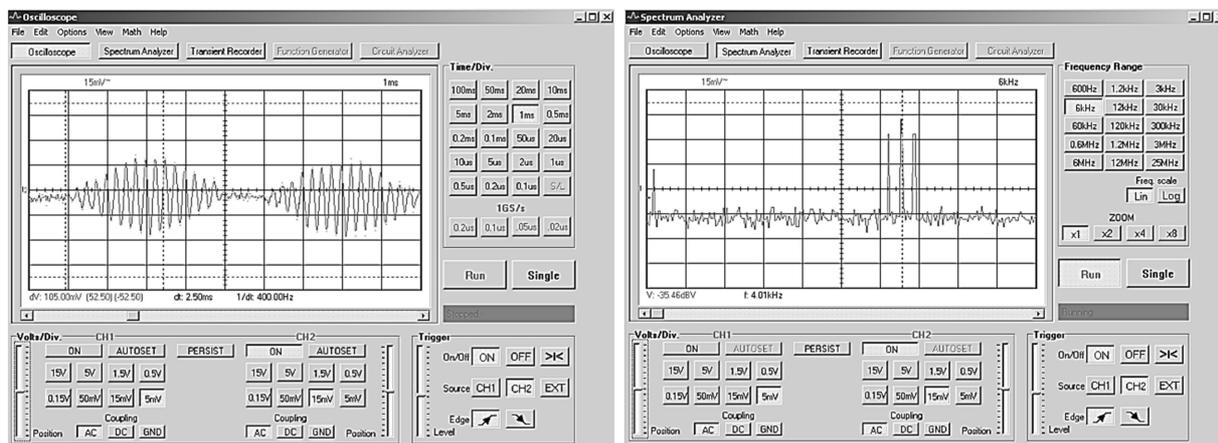


Рис. 12. Осциллограмма и спектр радиосигнала на входе смесителя многоканального приемника

Fig. 12. Oscillogram and spectrum of the radio signal at the mixer input of a multichannel receiver

Гармонический сигнал с гетеродина задается на частоте $f = f_{nes} + 2000$, что позволяет в смесителе перенести спектр АМ-сигнала на промежуточную частоту $f_{pch} = 2$ кГц.

Перемноженный АМ-сигнал и гармонический сигнал гетеродина $Signal[k] = sinetable[i] \cdot sineNes[ii]$

(осциллограмма и спектр приведены на рис. 13) поступает на полосовой фильтр промежуточной частоты, параметры которого описаны функцией $fir(Signal, hhPF, sinFil, db1, NT, NN)$.

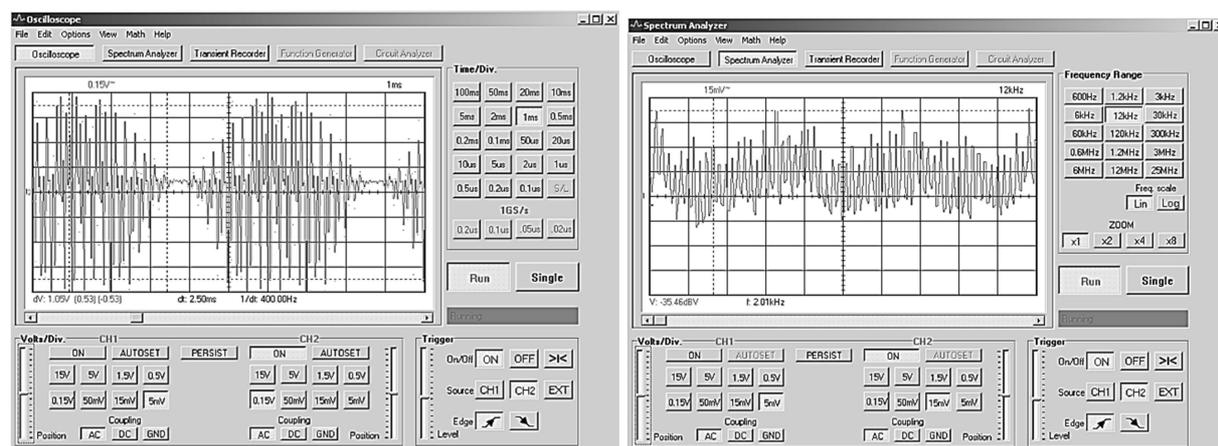


Рис. 13. Осциллограмма и спектр радиосигналов на выходе смесителя многоканального приемника

Fig. 13. Oscillogram and spectrum of radio signals at the mixer output of a multichannel receiver

Параметры фильтра представлены коэффициентами импульсной характеристики, импортированными в проект из Matlab.

Отфильтрованный АМ-сигнал $sinFil$ (рис. 14) проходит дальнейшую обработку на промежуточной частоте.

Гордяскина Т. В., Грошева Л. С. Методика обучения основам моделирования и практической реализации блоков многоканального приемного устройства

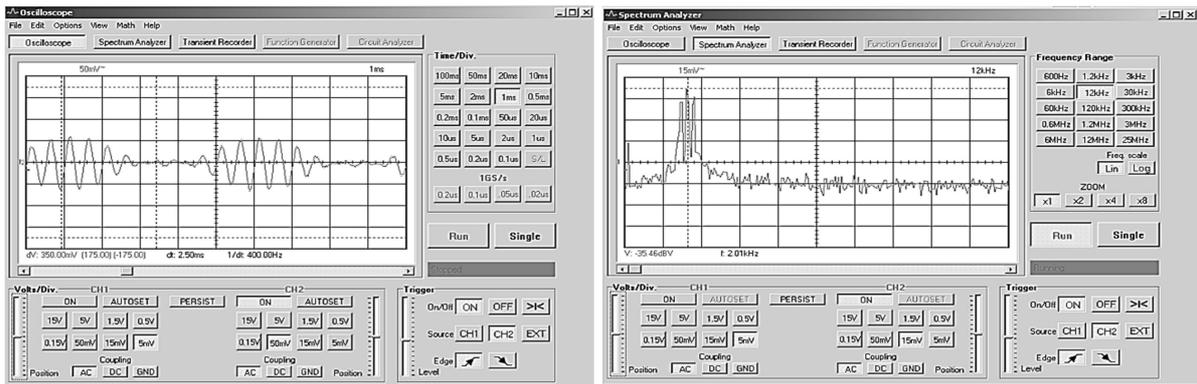


Рис. 14. Осциллограмма и спектр радиосигналов на выходе параметрического преобразователя многоканального приемника

Fig. 14. Oscillogram and spectrum of radio signals at the output of the parametric converter of a multichannel receiver

Для этого используются коэффициенты импульсной характеристики нерекурсивного ЦФНЧ, предварительно рассчитанные в программном пакете Matlab GUI SPTool и импортированные в CCStudio.

Проводится синтез синхронного амплитудного детектора (на промежуточной частоте перемножается АМ-сигнал на гармоническое колебание, из полученного полигармонического сигнала нерекурсивным ЦФНЧ выделяется управляющий гармонический сигнал):

а) формирование гармонического сигнала на промежуточной частоте ($WPCH$) осуществляется по формуле

$$SignalPCH[i] = AmpPCH * \cos(WPCH * i),$$

где $i = 0 \div KtPCH$; $WPCH = \frac{2\pi}{KtPCH}$ – угловое

приращение; $KtPCH = \frac{48000}{f_{PCH}}$ – количество отсчетов гармонического сигнала на промежуточной частоте в одном колебании [9, 10];

б) для синхронизации фаз АМ-сигнала и гармонического колебания на промежуточной частоте осуществляется поиск первого максимального значения АМ-сигнала и фиксации его номера $NumMax$;

в) перемножение АМ-сигнала на гармонический сигнал промежуточной частоты (осциллограмма и спектр приведены на рис. 15) выполняется, начиная с точки с номером $NumMax$, по формуле

$$Signal[k] = SinFil[i] * signalPCH[ii],$$

где $i = NumMax \div SINE_{TABLE_SIZE}$; $k = 0 \div NTI$;

$ii = 0 \div KtPCH$; если $(ii > KtPCH) ii = 0$;

г) сформированный сигнал подается на вход нерекурсивного ЦФНЧ, который задан функцией $fir(Signal, hh, sinFiltr, db, NTI, NH)$, в результате фильтрации из спектра полигармонического сигнала выделяется управляющее низкочастотное колебание, т. к. частота среза фильтра f_{sr} выбирается равной частоте управляющего сигнала f_{upr} .

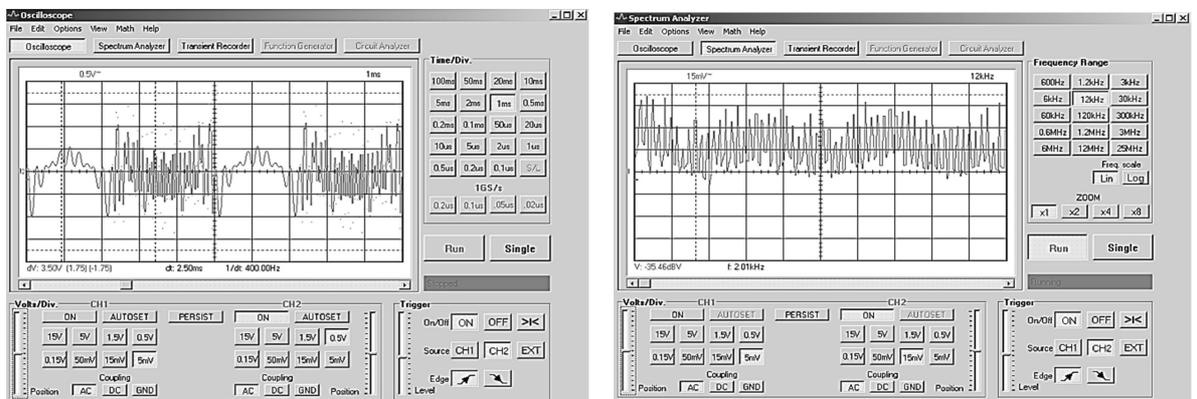


Рис. 15. Осциллограмма и спектр сигнала после перемножения в детекторе приемника

Fig. 15. Oscillogram and spectrum of a signal after multiplying in the receiver detector

Отфильтрованное колебание с частотой $f_{upr} = 200$ Гц подается на кодек для отображения

осциллограммы и спектра на осциллографе PCS-500 (рис. 16) [9, 10].

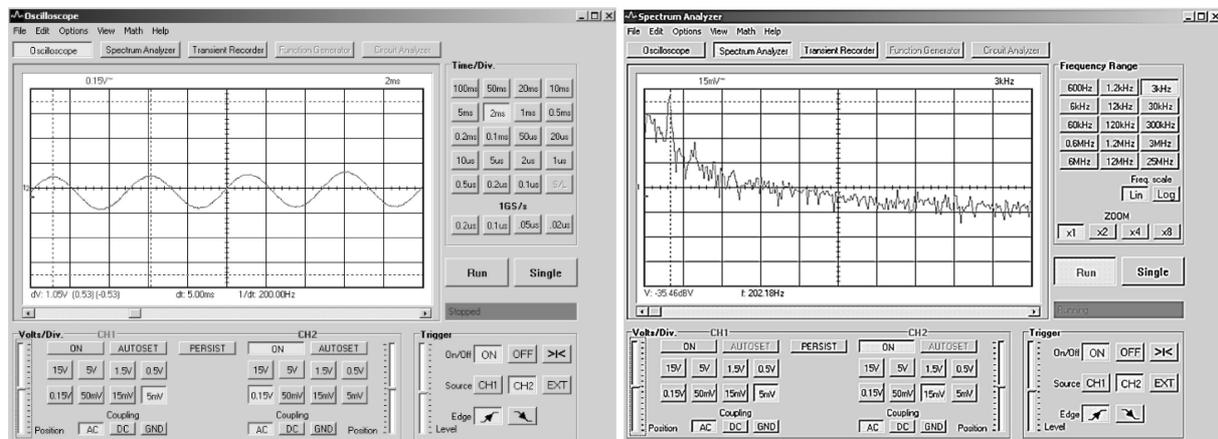


Рис. 16. Осциллограмма и спектр управляющего сигнала на выходе приемника

Fig. 16. Oscillogram and spectrum of a control signal at the output of the receiver

Результаты лабораторного эксперимента наглядно демонстрируют работоспособность предложенной модели цифрового радиоприемного устройства гетеродинного типа. Полученный «полезный» сигнал выделен из однотонового АМ-сигнала на выходе приемного устройства без потери параметров: форма сигнала – гармоническая, частота $f_{upr} = 200$ Гц.

Заключение

Проведение исследований и практическая работа по изучению и синтезу объекта профессиональной деятельности на примере модели радиоприемного устройства гетеродинного типа позволяет студентам в рамках выполнения одной поставленной задачи получить теоретические знания о структуре и функционировании сложных радио-

технических систем, освоить методы радиозмерений в цифровом оборудовании, получить навыки технической диагностики аппаратно-программных систем, научиться выбирать измеряемые технические параметры и контрольные точки.

Внедрение в учебный процесс данной методики исследований, включающей как теоретическое изучение и компьютерное моделирование процессов в сложных радиотехнических системах, так и практическую реализацию этих систем на современном цифровом оборудовании, позволит повысить качество и эффективность формирования профессиональных компетенций у будущих выпускников специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», повысит их конкурентоспособность на рынке труда.

Список источников

1. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 25.05.03 Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования: приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 21 августа 2020 г. № 1082 (ред. от 26.11.2020). URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minobrnauki-rossii-ot-21082020-n-1082-ob-utverzhdanii/> (дата обращения: 11.05.2022).
2. Плющев В. И. Система контроля и передачи судовых технологических параметров береговым службам // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 2. С. 37–39.
3. Kuzmichev I. K., Plyushchaev V. I. Ways of the ship automatic mooring implementation within the framework of free shipping technology creation // Marine intellectual technologies. 2018. N. 4 (42). V. 2. P. 98–103.

4. Галкин Д. Н., Итальянцев С. А., Плющев В. И. Компьютеризованная система управления пассажирским колесным теплоходом // Речной транспорт (XXI век). 2014. № 6. С. 29–31.
5. Bazylev A. V., Plyushchaev V. I. Digital information system for inland water transport vessels based on AIS // Journal of Physics: Conference Series 2131. 2021. P. 032031. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032031.
6. Texas Instruments. URL: https://www.ti.com/lit/ds/sym-link/tms320vc5510a.pdf?ts=1657548093643&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320VC5510A (дата обращения: 11.05.2022).
7. Code Composer Studio Development Tools v3.3. Getting Started Guide / spru509h.pdf. URL: <http://www.ti.com/lit/pdf/spru509h> (дата обращения: 11.05.2022).
8. Schumacher L., Kermaol J. P., Mogensen P. E., Fredriksen F. A. Stochastic MIMO Radio Channel Model with

Experimental Validation // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2002. V. 20. N. 6. P. 1211–1226.

9. Гордяскина Т. В., Грошева Л. С. Исследование элементов судовой приемо-передающей аппаратуры на базе сигнального процессора TMS320C5510 // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. 2020. Вып. 63. С. 40–48.

References

1. *Ob utverzhdenii federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta vysshego obrazovaniia – spetsialitet po spetsial'nosti 25.05.03 Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia transportnogo radiooborudovaniia: prikaz Ministerstva obrazovaniia i nauki Rossiiskoi Federatsii ot 21 avgusta 2020 g. № 1082 (red. ot 26.11.2020)* [On approval of the federal state educational standard of higher education - a specialist in the specialty 25.05.03 Technical operation of transport radio equipment: order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of August 21, 2020 No. 1082 (as amended on November 26, 2020)]. Available at: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minobrnauki-rossii-ot-21082020-n-1082-ob-utverzhdenii/> (accessed: 11.05.22).

2. Pliushchaev V. I. Sistema kontroliia i peredachi sudovykh tekhnologicheskikh parametrov beregovym sluzhbam [System of control and transmission of ship technological parameters to coastal services]. *Avtomatizatsiia i sovremennye tekhnologii*, 2012, no. 2, pp. 37-39.

3. Kuzmichev I. K., Plyushchaev V. I. Ways of the ship automatic mooring implementation within the framework of free shipping technology creation. *Marine intellectual technologies*, 2018, no. 4 (42), vol. 2, pp. 98-103.

4. Galkin D. N., Ital'iantsev S. A., Pliushchaev V. I. Komp'yuterizovannaia sistema upravleniia passazhirkim kolesnym teplokhodom [Computerized control system for passenger wheeled motor ship]. *Rechnoi transport (XXI vek)*, 2014, no. 6, pp. 29-31.

10. Гордяскина Т. В., Грошева Л. С. Реализация синхронного детектора с применением сигнального процессора TMS320C5510 // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. 2018. Вып. 54. С. 20–29.

5. Bazylev A. V., Plyushchaev V. I. Digital information system for inland water transport vessels based on AIS. *Journal of Physics: Conference Series 2131*, 2021, p. 032031. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032031.

6. *Texas Instruments*. Available at: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320vc5510a.pdf?ts=1657548093643&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320VC5510A (accessed: 11.05.2022).

7. *Code Composer Studio Development Tools v3.3. Getting Started Guide*. Available at: <http://www.ti.com/lit/pdf/spru509h> (accessed: 11.05.2022).

8. Schumaker L., Kermaol J. P., Mogensen P. E., Frederiksen F. A. Stochastic MIMO Radio Channel Model with Experimental Validation. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2002, vol. 20, no. 6, pp. 1211-1226.

9. Gordiaskina T. V., Grosheva L. S. Issledovanie elementov sudovoi priemo-peredaiushchei apparatury na baze signal'nogo protsessora TMS320C5510 [Studying elements of ship transceiving equipment based on the TMS320C5510 signal processor]. *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta*, 2020, iss. 63, pp. 40-48.

10. Gordiaskina T. V., Grosheva L. S. Realizatsiia sinkhronnogo detektora s primeneniem signal'nogo protsessora TMS320C5510 [Implementing synchronous detector using signal processor TMS320C5510]. *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta*, 2018, iss. 54, pp. 20-29.

Статья поступила в редакцию 03.06.2022; одобрена после рецензирования 04.07.2022; принята к публикации 11.07.2022
The article was submitted 03.06.2022; approved after reviewing 04.07.2022; accepted for publication 11.07.2022

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Вячеславовна Гордяскина – кандидат физико-математических наук, доцент; доцент кафедры радиоэлектроники; Волжский государственный университет водного транспорта; klimat@yandex.ru

Людмила Серафимовна Грошева – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры радиоэлектроники; Волжский государственный университет водного транспорта; liudmila.grosheva@yandex.ru

Tatyana V. Gordyaskina – Candidate of Physico-mathematical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Radio Electronics; Volga State University of Water Transport; klimat@yandex.ru

Liudmila S. Grosheva – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Radio Electronics; Volga State University of Water Transport; liudmila.grosheva@yandex.ru

