

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОЙ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ НА БАЗЕ СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА TMS320C5510**

**Т.В. Гордяскина**

*Волжский государственный университет водного транспорта,  
г. Нижний Новгород, Россия*

**Л.С. Грошева**

*Волжский государственный университет водного транспорта,  
г. Нижний Новгород, Россия*

*Аннотация. Судовые радиотехнические средства, выполненные на современной цифровой базе, используются в качестве оборудования глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ), систем управления движением транспортных средств и предупреждения их опасных сближений, радиолокационных и радионавигационных систем.*

*В работе приводится методика синтеза и исследования принципов функционирования объектов профессиональной деятельности специалистов по технической эксплуатации транспортного радиооборудования на примере радиотехнических приемо-передающих устройств (блоков оборудования ГМССБ) на базе цифрового сигнального процессора TMS320C5510. В процессе освоения методики студенты специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», осваивают профессиональные компетенции, получают теоретические и практические навыки синтеза, технической диагностики и обслуживания судового радиотехнического оборудования.*

*Ключевые слова: судовые радиоэлектронные средства, радиотехнический канал связи, сигнальный процессор, цифровые приемо-передающие устройства.*

### **Введение**

Современное судно – сложный технический объект, оснащенный большим количеством радиотехнических средств, в том числе радиолокационных, радионавигационных, связных систем и комплексов, обеспечивающих безопасность, регулярность и эффективность транспортных услуг.

Тенденции развития судоходства предполагают применение технологий безэкипажного судовождения, в том числе движение по курсу, выполнение маневров и швартовых операций с использованием радиоэлектронных средств автоматизации [1, 2, 3].

В соответствии с ФГОС 3+ специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» [4] и Правилами дипломирования моряков и несения вахты (ПДНВ) объектами профессиональной деятельности выпускников являются:

- радиолокационные, радионавигационные и связные системы;
- системы и средства контроля и диагностики технического состояния эксплуатируемого оборудования;
- системы передачи информации о движении транспортных средств и внешних условиях эксплуатации;
- системы комплексной обработки, отображения и регистрации информации о движении транспортных средств и внешних условиях;
- системы управления движением транспортных средств и системы предупреждения их опасных сближений;
- оборудование ГМССБ.

В процессе обучения студентам, в соответствии с вышеперечисленными требованиями ФГОС и ПДНВ, необходимо освоить принципы формирования, передачи, приема и обработки сигналов судовыми цифровыми радиоэлектронными средствами, в том числе, получить практические навыки по осуществлению передачи и получения информации с использованием подсистемы и оборудования ГМССБ, а также выполнения функциональных требований ГМССБ.

### **Методы исследования объектов профессиональной деятельности специалиста по технической эксплуатации транспортного радиооборудования**

Одними из основных объектов профессиональной деятельности студентов специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» являются судовые связные системы [5, 6], структура и функционирование которых описывается моделью радиотехнического канала связи. [7, 8] Упрощенная структура канала связи приведена на рис. 1.



Рис. 1. Упрощенная структура радиотехнического канала связи

В настоящее время практически вся приемо-передающая аппаратура канала связи реализуется на базе цифровых процессорных устройств, что в сравнении с аналоговыми системами позволяет обеспечить более высокую надежность канала связи.

Большое внимание в процессе освоения студентами специальных профессиональных компетенций уделяется практическим навыкам технической эксплуатации аппаратуры ГМССБ, в том числе УКВ и ПВ-КВ радиостанций, являющимися приемо-передающей аппаратурой канала связи. Основным модулем приемо-передающей аппаратуры ГМССБ является цифровой сигнальный процессор, структура которого специально разработана для потоковой обработки информации в режиме реального времени. [9, 10] В лабораториях кафедры радиозлектроники ФГБОУ ВО ВГУВТ имеются аппаратно-программные комплексы DSK-5510 на базе цифрового сигнального процессора (ЦСП) TMS320C5510. Данные комплексы позволяют реализовать модель цифрового канала связи и освоить методы синтеза и исследования основных принципов функционирования цифровых радиоэлектронных систем [11, 12].

При изучении курса «Прикладные задачи цифровой обработки сигналов» предлагается исследование модели цифрового радиотехнического канала связи на аппаратно-программном комплексе DSK-5510 [13, 14]. Фото лабораторной установки приведено на рис. 2.

Методика синтеза приемо-передающих устройств канала связи разделена на несколько этапов:

1. Проводится теоретическое исследование процессов преобразования радиотехнического сигнала в канале связи:

Изучаются теоретические основы формирования радиосигнала в передающем устройстве на примере математических моделей (ММ) однотоновых амплитудно-модулированных (АМ) сигналов, рассматривается процесс дискретизации аналогового сигнала в соответствии с теоремой Котельникова, исследуется процесс детектирования (выделения управляющего сигнала – полезного передаваемого сообщения из АМ – сигнала) [15, 16].

2. Проводится теоретическое исследование структуры канала связи: приемное и передающее устройства реализованы на ЦСП TMS320C5510 программным способом на двух пространственно-разнесенных комплексах DSK-5510, среда распространения эмулируется коаксиальным кабелем, соединяющим выход кодека передатчика и вход кодека приемника; в качестве регистрирующего устройства выбран цифровой осциллограф PCS-500 компьютерно-измерительной системы PC Lab2000, совмещающий функции осциллографа и анализатора спектра (рис. 3).

3. Определяется единая частота дискретизации сигналов в канале связи, исходя из технических характеристик аппаратно-программного комплекса DSK-5510. Так как ЦСП предназначен для обработки звуковых сигналов, то в DSK-5510 частота дискретизации кодека уже заложена в соответствии с условиями теоремы Котельникова ( $f_d=48\text{кГц}$ ).

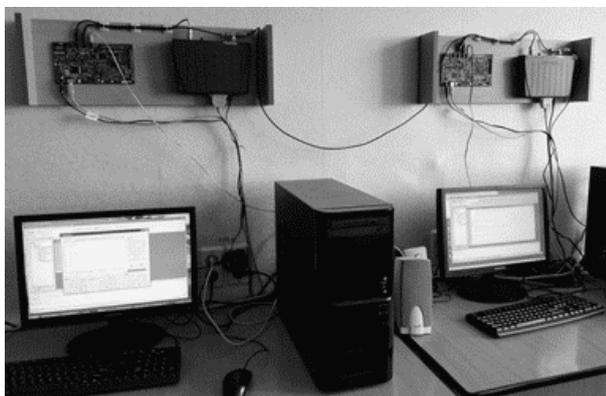


Рис. 2. Лабораторная установка по исследованию приемо-передающих устройств на базе цифрового сигнального процессора TMS320C5510

4. В программной среде CCStudio подготавливается управляющая программа, которая записывается в ЦСП, и проводит синтез модулей и сигналов на передающей стороне канала связи:

– исходя из условия теоремы Котельникова ( $T_{дискр} \leq 1/(2f_{верхн})$ ), частоты дискретизации кодека и относительной узкополостности модулированного сигнала ( $f_{упр}/f_{нес} \leq 0,1$ ), генерируются управляющий (в примере  $f_{упр}=400$ Гц) и несущий (в примере  $f_{нес}=6$ кГц) гармонические сигналы:

а) формирование несущего сигнала осуществляется в соответствии с выражением:

$$\text{сineNes}[i] = \text{AmpNes} * \sin(W_{\text{Nes}} * i), \quad i=0 \div Kt_{\text{Nes}}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{Nes}} = 2\pi / Kt_{\text{Nes}}$  – угловое приращение,

$Kt_{\text{Nes}} = 48000 / f_{нес}$  – количество отсчетов несущего сигнала в одном колебании.

б) формирование управляющего сигнала осуществляется в соответствии с выражением:

$$\text{сineUpr}[i] = \text{AmpUpr} * \sin(W_{\text{Upr}} * i); \quad i=0 \div Kt_{\text{Upr}}, \quad (2)$$

где  $W_{\text{Upr}} = 2\pi / Kt_{\text{Upr}}$  – угловое приращение,

$Kt_{\text{Upr}} = 48000 / f_{упр}$  – количество отсчетов несущего сигнала в одном колебании.

– исходя из частоты дискретизации, параметров управляющего и несущего сигналов, формируется амплитудно-модулированный (AM) сигнал (эмулируются функции амплитудного модулятора) в соответствии с выражением:

$$\text{AMsignal}[i] = (\text{AmpNes} + \text{AmpUpr} * \sin(W_{\text{Upr}} * i)) * \sin(W_{\text{Nes}} * k), \quad (3)$$

где  $i=0 \div Kt_{\text{Upr}}$ ,

$k=0 \div Kt_{\text{Nes}}-1$ , если  $k = Kt_{\text{Nes}}$ , то  $k=0$ .

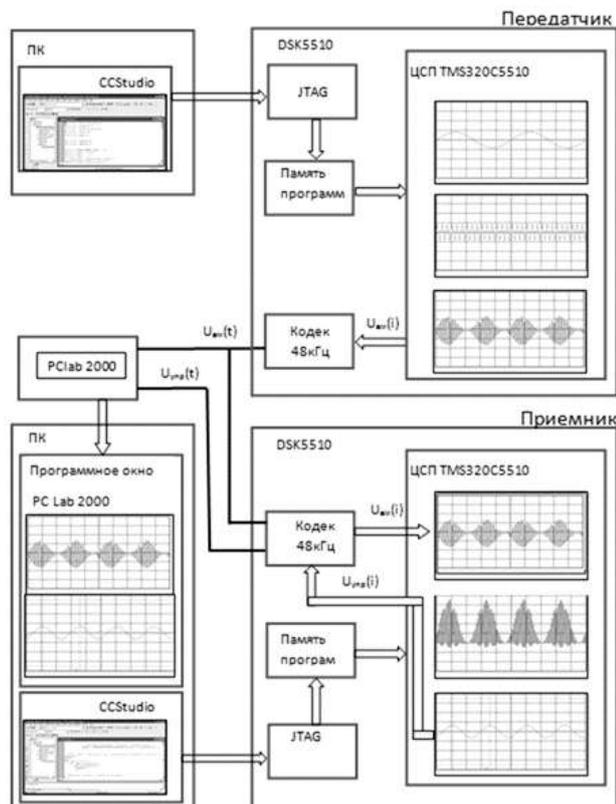


Рис. 3. Аппаратно-программная модель канала связи на DSK-5510

– сформированный цифровой AM сигнал подается на кодек, с выхода которого аналоговый AM сигнал передается по коаксиальному кабелю на вход приемного устройства и на цифровой осциллограф PCS-500 (см. рис. 4).

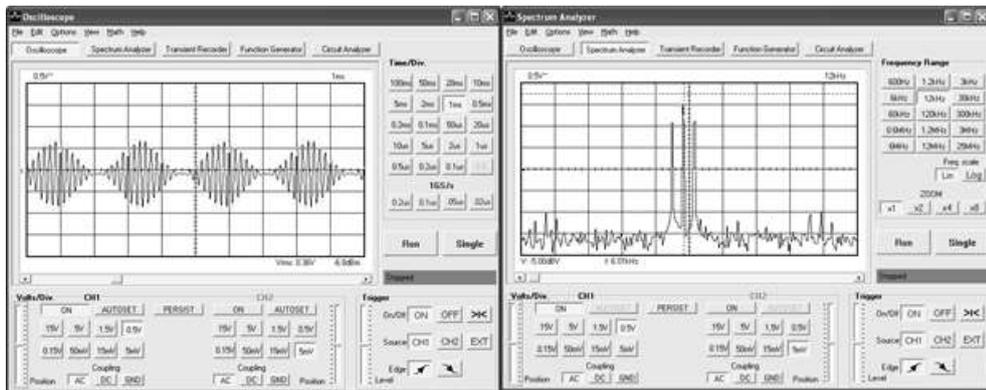


Рис. 4. Осциллограмма и спектр амплитудно-модулированного сигнала на выходе передатчика ( $f_{нес}=6кГц$ ,  $f_{упр}=400Гц$ )

5. В программной среде CCStudio подготавливается управляющая программа, которая записывается в ЦСП, и выполняет синтез модулей и сигналов на приемной стороне канала связи, исходя из условия одноканальной передачи (в канале связи только один передатчик и нет необходимости на входе приемника размещать частотно-избирательное устройство):

- исходя из частоты дискретизации и параметров управляющего сигнала, в программном пакете Matlab R2007b GUI SPTool синтезируется цифровой нерекурсивный фильтр низкой частоты (ЦФНЧ) (проводится расчет коэффициентов импульсной характеристики фильтра), файл с коэффициентами ЦФНЧ импортируется в CCStudio,

- исходя из информации о принятом АМ сигнале и частоте несущего гармонического сигнала, синтезируется синхронный амплитудный детектор (перемножается АМ сигнал на гармоническое несущее колебание, из полученного полигармонического сигнала нерекурсивным ФНЧ выделяется управляющий гармонический сигнал):

а) формирование несущего сигнала осуществляется по формуле:

$$\text{signalNes}[i]=\text{AmpNes}*\cos(W\text{Nes}*i), i=0 \div Kt\text{Nes}. \quad (4)$$

где  $W\text{Nes}=2\pi/Kt\text{Nes}$  – угловое приращение,

$Kt\text{Nes}=48000/f_{нес}$  – количество отсчетов несущего сигнала в одном колебании.

б) синхронизация фаз входного АМ-сигнала и несущего гармонического колебания заключается в поиске первого максимального значения амплитудно-модулированного сигнала и фиксации его номера NumMax.

в) умножение амплитудно-модулированного сигнала на несущий сигнал осуществляется, начиная с точки с номером NumMax, по формуле:

$$\text{Signal}[k]=\text{sinetable}[i]*\text{signalNes}[ii]; \quad (5)$$

где  $i=\text{NumMax} \div \text{SINE\_TABLE\_SIZE}$ ;

$k=0 \div \text{SINE\_TABLE\_SIZE}$ ;

$ii=0 \div Kt\text{Nes}$ ; если  $(ii > Kt\text{Nes})$   $ii=0$ .

г) сформированный полигармонический сигнал поступает на нерекурсивный ЦФНЧ, где выделяется «полезный» низкочастотный сигнал. Проводится дискретная свёртка отсчетов входного сигнала и коэффициентов импульсной характеристики, на основании которой формируется выходной отсчёт [16].

- в детекторе выделяется управляющий сигнал (полезное передаваемое сообщение – гармонический сигнал с  $f_{упр}=400Гц$ ), который поступает на кодек для последующего отображения на цифровом осциллографе PCS-500 (см. рис. 5, 6) [17].

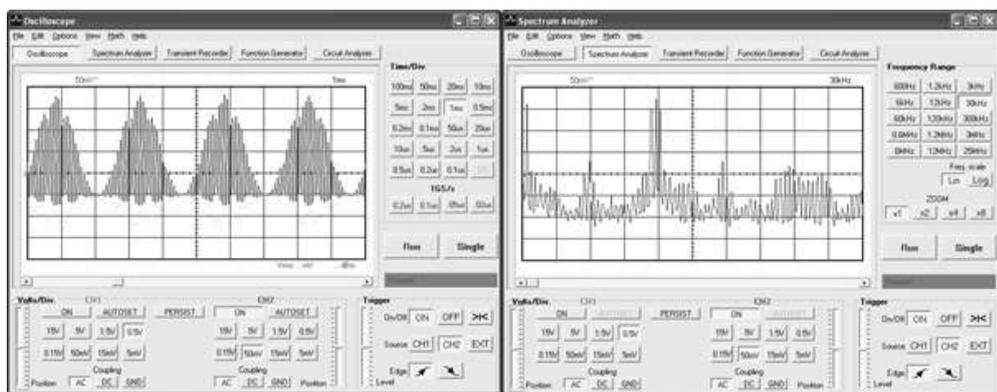


Рис. 5. Осциллограмма и спектр сигнала в ЦСП приемника после перемножения АМ-сигнала и несущего колебания

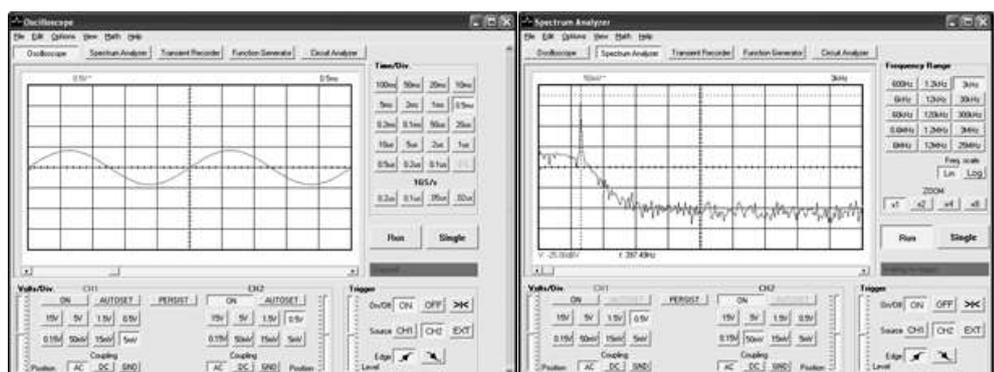


Рис. 6. Осциллограмма и спектр управляющего сигнала на выходе приемника

Предложенная методика исследования демонстрирует преобразование сигналов на выходе основных блоков приемо-передающих устройств, что позволяет студентам, наблюдая осциллограммы и спектры, и убедиться в том, что управляющий низкочастотный сигнал от источника сообщений доставлен получателю без искажений.

### Заключение

Современный выпускник вуза (инженер по технической эксплуатации транспортного радиооборудования) обеспечивает себе конкурентоспособность на рынке труда, демонстрируя потенциальному работодателю профессиональные компетенции и навыки технической диагностики и эксплуатации объектов профессиональной деятельности. В связи с этим ВУЗ должен разрабатывать современные методики обучения, позволяющие будущим выпускникам эффективно решать задачи, возникающие в профессиональной деятельности.

Предложенная на кафедре радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ВГУВТ» методика исследования объектов профессиональной деятельности позволяет студентам освоить профессиональные компетенции в сфере технической эксплуатации судового радиооборудования, а именно, получить теоретические сведения и практические навыки синтеза, технической диагностики и эксплуатации судовых цифровых радиотехнических систем – оборудования радиотехнического канала связи.

### Список литературы

1. Plyushchayev V.I., Ways of the ship automatic mooring implementation within the framework of free shipping technology creation: Marine intellectual technologies. № 4 (42) V.2 2018 – Pp.98-103.
2. Grosheva L.S., Mooring of a ship with wheel propulsion steering complex: Marine intellectual technologies.. № 3 (45) V.3 2019. – Pp. 191–195.
3. Bychkov V.Y. Dynamics of vessel with wheel propulsion steering system under external conditions : Marine intellectual technologies.№ 4 (46) V.2 2019. – Pp. 139–146.
4. Приказ министерства образования и науки Российской федерации от 12 сентября 2016г. «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 25.05.03 Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования (уровень специалитета)».
5. Березовский, П. П. Основы радиотехники и связи: учебное пособие / П.П. Березовский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017.– 212 с.
6. Плющаев В.И. Организация канала передачи данных волномерного бую на базе автоматической идентификационной системы / Плющаев В.И., Мерзляков В.И., Перевезенцев С.В. // Вестник ВГАВТ. – 2015. – №43. – С. 56–61.

7. Филатова С.Г. Радиотехнические системы: учебное пособие / С.Г. Филатова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 119 с.
8. Плющаев В.И. Пути повышения эффективности использования АИС на внутренних водных путях за счет организации передачи по ее каналам дополнительной информации. / Плющаев В.И., Корнев А.Б. // Речной транспорт (XXI век), – 2012. – №5. С. 38–42.
9. Техническая документация Texas Instruments. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ti.com/product/TMS320C5515/technicaldocuments>.
10. McEliece, R.J., Channels with block interference / R.J. McEliece and, W.E. Stark //IEEE Transactions on Information Theory. 2000. Vol. 46.No.2. P. 325–343.
11. Couch L. W., Digital and Analog Communication Systems, 6th edition, Prentice Hall. 2001.
12. Гордяскина Т.В. Исследование процесса преобразования сигналов в радиотехническом канале связи с использованием программной среды Matlab Simulink R2009B. / Т.В. Гордяскина, А.А. Ипатов, Н.В. Ипатова // Вестник ВГАВТ. – 2017. – С.30–39.
13. Schumacher L., Stochastic MIMO Radio Channel Model with Experimental Validation / L. Schumacher, J.P. Kermoal, P.E. Mogensen, F.A. Frederiksen //IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2002. Vol. 20. No. 6. Pp 1211–1226.
14. Техническая документация Code Composer Studio Development Tools v3.3. Getting Started Guide / spru509h.pdf – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ti.com/litv/pdf/spru509h>.
15. Goldsmith, J., Adaptive Coded Modulation for Fading Channels / J. Goldsmith, S. G. Chua // IEEE Transactions on Communications, – 1998. Vol. 46.No. 5. P. 595–602.
16. Kalman R.E., A new approach to linear filtering and prediction problems / Kalman R.E. // J. of Basis Eng. Trans. Asme. Ser. D. 1960. Vol. 82. No. 1. P. 35–45.
17. Гордяскина Т.В. Реализация синхронного детектора с применением сигнального процессора TMS320C5510. / Гордяскина Т.В., Грошева Л.С. //Вестник ВГАВТ. – 2018. № 54. С. 20–29.

## **THE SHIP'S RECEIVING AND TRANSMITTING EQUIPMENT ELEMENTS RESEARCH BASED ON THE TMS320C5510 SIGNAL PROCESSOR**

**Tatyana V. Gordyaskina,**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Ludmila S. Grosheva**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

*Abstract. Ship's radio equipment, produced on a modern digital basis, is used as equipment for the global Maritime disaster communication system( GMDSS), vehicle traffic control systems and dangerous proximity warnings, radar and radio navigation systems.*

*The article presents the synthesis and research method concerning the principles of functioning the professional activity objects in relation to specialists in transport radio equipment technical operation related to the example of radio receiving and transmitting devices (GMDSS) equipment block based on the digital signal processor TMS320C5510. In the mastering the technique process, students of the «Transport radio equipment technical operation», specialty master professional competencies, get theoretical and practical skills of synthesis, technical diagnostics and ship radio equipment maintenance .*

*Keywords: ship radio-electronic means, radio-technical communication channel, signal processor, digital receiving and transmitting devices.*

### **References**

1. Plyushchaev V.I., Kuzmichev I.K. Ways of the ship automatic mooring implementation within the framework of free shipping technology creation: Marine intellectual technologies. № 4 (42) V.2 2018 – Pp.98–103.
2. Grosheva L.S., Merzlyakov V.I., Plyushchaev V.I. Mooring of a ship with wheel propulsion steering complex: Marine intellectual technologies. № 3 (45) V.3 2019. – Pp. 191–195.
3. Bychkov V.Y., Grosheva L.S., Plyushchaev V.I. Dynamics of vessel with wheel propulsion steering system under external conditions: Marine intellectual technologies. № 4 (46) V.2 2019. – Pp. 139–146.
4. Prikaz ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy federatsii ot 12 sentyabrya 2016g. «Ob utver-zhdenii federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta vysshego obrazovaniya po spetsial'-nosti 25.05.03 Tekhnicheskaya ekspluatatsiya transportnogo radiooborudovaniya (uroven' spetsialiteta)».
5. Berezovskiy P.P. Osnovy radiotekhniki i svyazi : uchebnoe posobie / P.P. Berezovskiy. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2017.– 212 s.
6. Plyushchaev V.I., Merzlyakov V.I., Perevezentsev S.V. Organizatsiya kanala peredachi dannykh volnomernogo buya na baze avtomaticheskoy identifikatsionnoy sistemy. Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. Vypusk 43. (2015). 56–61.
7. Filatova S.G. Radiotekhnicheskie sistemy: uchebnoe posobie / S.G. Filatova. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2018.
8. Plyushchaev V.I., Kornev A.B. Puti povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya AIS na vnutrennikh vodnykh putyakh za schet organizatsii peredachi po ee kanalam dopolnitel'noy informatsii. Rechnoy transport (XXI vek), –2012. – №5. 38–42.
9. Tekhnicheskaya dokumentatsiya Texas Instruments. – Web. <http://www.ti.com/product/TMS320C5515/technicaldocuments>.
10. McEliece, R.J., Stark, W.E. «Channels with block interference» IEEE Transactions on Information Theory. (2000). Vol. 46. No.2. 325–343.

11. Couch L.W. Digital and Analog Communication Systems, 6th edition, Prentice Hall. 2001.
12. Gordyaskina T.V., Ipatov A.A., Ipatova N.V. Issledovanie protsessa preobrazovaniya signalov v radiotekhnicheskom kanale svyazi s ispol'zovaniem programmnoy sredy Matlab Simulink R2009B. Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. – 51 (2017): 30–39.
13. Schumacher, L., Kermoal, J.P., Mogensen, P.E. and Frederiksen, F.A. «Stochastic MIMO Radio Channel Model with Experimental Validation» //IEEE Jornal on Selected Areas in Cjmmunications. 20.6. (2002):1211–1226.
14. Tekhnicheskaya dokumentatsiya Code Composer Studio Development Tools v3.3. Getting Started Guide / spru509h.pdf – Web: <<http://www.ti.com/litv/pdf/spru509h>>
15. Goldmith, J., Chua, S. G. Adaptive Coded Modulation for Fading Channels // IEEE Transactions on Communicatios, Vol. 46.No. 5. (1998). 595–602.
16. Kalman R.E., A new approach to linear filtering and prediction problems // J. of Basis Eng. Trans. Asme. Ser. D. (1960). Vol. 82. No. 1. 35–45.
17. Gordyaskina T.V., Grosheva L.S. Realizatsiya sinkhronnogo detektora s primeneniem signal'nogo protsessora TMS320C5510. Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. – 54. (2018). 20–29.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Грошева Людмила Серафимовна**, к.т.н.,  
доцент, доцент кафедры радиоэлектроники,  
Волжский государственный университет  
водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,  
e-mail: [liudmila.grosheva@yandex.ru](mailto:liudmila.grosheva@yandex.ru)

**Гордяскина Татьяна Вячеславовна**,  
к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры  
радиоэлектроники, Волжский государственный  
университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО  
«ВГУВТ»),  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,  
e-mail: [vim@vgavt-nn.ru](mailto:vim@vgavt-nn.ru)

**Lyudmila S. Grosheva**, PhD in Engineering  
Science, Associate Professor, associate  
Professor of the Department of Radio  
Electronics Volga state University of water  
transport  
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Tatyana V. Gordyaskina**,  
PhD in Engineering Science, Associate  
Professor, associate Professor of the  
Department of Radio Electronics Volga state  
University of water transport  
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 23.03.2020 г.