

NAVDAT DIGITAL BROADBAND SYSTEM FOR HIGH-RATE DATA TRANSMISSION FROM COAST STATIONS TO SHIPS

Y. M. Ustinov, A. V. Pripotnyuk, A. P. Gorobtsov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The existing narrowband direct data systems NAVTEX and TELEX which send information from shore stations to the ships at a low rate of 50 bps and parcels duration of 20ms are outdated already and do not meet modern requirements of information exchange. It is impossible to raise the rate by shortening a parcel duration due to the multipath effect and deformation defects of a message shape when signal passing through the Earth atmosphere. Deformation defects are resulted in extension of a message in time and superposition on each other.

The KENTA Company (France) has introduced digital wideband system NAVDAT for MSI and security-related information. The system central frequency is 500 kHz with band of 10 kHz. 228 subcarrier frequencies are used. It is shown the dependency of a modulation mode and data transfer rate.

They have refused from frequency modulation to reduce width of the signal spectrum in favor of multiply amplitude-phase encoding. The noise immunity of the system is solved with convolutional encoding which decreases the required signal-to-noise ratio at the receiver input by 6 dB.

NAVDAT stations are deployed off the coast of Europe and Asia. NAVDAT data transfer rate in the presence of real interference increases hundreds of times in comparison with the existing systems. It has been shown necessity to increase signal-to-noise ratio at a signal reception area.

Updated version of NAVDAT system is able to provide better data transmission rate due to some technological decisions: multifrequency signal transmission; multifrequency modulation (QAM) of signal; redundant convolutional coding.

Digital wideband data transmission through updated NAVDAT provides a possibility to replace narrowband data transmission via TELEX.

Keywords: narrowband communication systems, data rate, convolutional encoding, multiply amplitude-phase modulation, RADIOTELEX, NAVTEX, NAVDAT.

For citation:

Ustinov, Yury M., Andrey V. Pripotnyuk, and Alexander P. Gorobtsov. "NAVDAT digital broadband system for high-rate data transmission from coast station to ships." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 12.3 (2020): 450–458. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-450-458.

УДК 621.396

ЦИФРОВАЯ ШИРОКОПОЛОСНАЯ СИСТЕМА NAVDAT СКОРОСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С БЕРЕГОВЫХ СТАНЦИЙ НА СУДА

Ю. М. Устинов, А. В. Припотнюк, А. П. Горобцов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Отмечается, что действующие системы узкополосной передачи данных с береговых станций на суда NAVTEX и TELEX со скоростью 50 бит/с и длительностью посылок 20 мс уже не отвечают современным требованиям передачи информации. Подчеркивается, что увеличить скорость путем сокращения длительности посылок невозможно из-за многолучевости и дисперсных искажений формы посылок при распространении сигналов в атмосфере Земли. В результате искажения формы приводят к растягиванию посылок во времени и наложению их друг на друга. Для увеличения скорости передачи данных на основе использования многочастотных сигналов, современных многократных методов модуляции сигналов и избыточного сверточного кодирования компанией KENTA (Франция) предложена цифровая широкополосная система NAVDAT на центральной частоте 500 кГц в полосе 10 кГц. Данные передаются на 228 поднесущих

частотах. Показана зависимость видов многократной амплитудно-фазовой модуляции и скорости передачи данных. Для сокращения ширины спектра занимаемых частот отказались от частотной модуляции и перешли на многократную амплитудно-фазовую модуляцию. Помехозащищенность системы решается с помощью сверточного кодирования, при котором на 6 дБ уменьшается необходимое соотношение сигнал / шум на входе приемника.

Станции системы NAVDAT развернуты у побережья Европы и Азии. Результаты испытаний NAVDAT показали возможности дальнейшей модернизации действующей системы NAVTEX. Скорость передачи данных при наличии реальных помех в системе NAVDAT, в сравнении с действующими системами, возрастает в сотни раз. Показана необходимость увеличения отношения сигнал – шум в месте приема. В модернизированной системе NAVDAT увеличение скорости передачи данных получено за счет использования многочастотной передачи сигналов, многочастотной амплитудно-фазовой модуляции сигналов и избыточного сверточного кодирования. Широкополосная передача данных в модернизированной системе NAVDAT позволяет в дальнейшем заменить узкополосную передачу данных в системе TELEX.

Ключевые слова: системы узкополосной связи, скорость передачи данных, сверточное кодирование, многократная амплитудно-фазовая модуляция, RADIOTELEX, NAVTEX, NAVDAT.

Для цитирования:

Устинов Ю. М. Цифровая широкополосная система NAVDAT скоростной передачи данных с береговых станций на суда / Ю. М. Устинов, А. В. Припотнюк, А. П. Горобцов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 450–458. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-450-458.

Введение (Introduction)

Передача информации по безопасности мореплавания (ИБМ) является обязательством, которое принимают на себя правительства государств согласно «Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (Конвенция СОЛАС–74)». Правило 4 гл. V этой конвенции определяет, что каждое правительство принимает все меры для безотлагательного доведения надежной информации об опасности на море до сведения всех, кого она касается. Его выполнение опирается не только на сбор навигационной и гидрометеорологической информации, но и техническое обеспечение передачи указанной информации и ее прием на судне. Для этой цели в настоящее время используется так называемый *навигационный телекс NAVTEX* [1], [2] и передача осуществляется через спутники связи INMARSAT в рамках системы SafetyNet. Объем информации в последние годы увеличился, изменились также реальные потребности не только к содержанию, но и к форме представления ИБМ. Требуется обеспечить представление полученных сведений в реальном времени на электронных картах и иных геоинформационных системах в цифровом формате.

В системе NAVTEX [2] ИБМ передается на суда береговыми станциями методом узкополосной частотной телеграфии в режиме работы FEC на частотах 518 и 490 кГц в ПВ-диапазоне и на частоте 4209,5 кГц — в КВ-диапазоне. Скорость передачи данных 50 бит/с, ширина спектра частот 254 Гц, ширина частотного канала 500 Гц. Следует отметить, что такая скорость является слишком низкой для использования в перспективных системах обмена и передачи информации, она не предполагает передачи современных объемов данных, непригодна для передачи графической информации. В работах ряда исследователей систем судовой радиосвязи, являющихся пригодными для использования в работе морских автономных судов, не только выполнена оценка существующих ограничений, но и предлагаются некоторые технические решения [3]–[6].

Увеличение скорости передачи данных в ПВ/КВ-диапазонах при используемых в настоящее время методах формирования узкополосной частотной телеграфии невозможно из-за лучевости и дисперсионных искажений формы телеграфных посылок при распространении сигналов в ионосфере Земли: телеграфные посылки малой длительности недопустимо растягиваются во времени, наслаиваясь друг на друга. Поэтому требуются иные подходы [6], в том числе рассматриваемые в настоящей статье.

Цель настоящей работы заключается в демонстрации возможности более высокой скорости передачи данных в цифровых системах. Для этого должны быть решены задачи исследования зависимости видов многократной амплитудно-фазовой модуляции и скорости передачи данных

и исследования связи отношения мощности сигнал / шум в месте приема и вероятности ошибочного приема данных в зависимости от используемого метода модуляции. Скорость передачи данных для современных систем связи наряду с помехоустойчивостью и достоверностью являются ключевыми характеристиками при выборе возможных вариантов связи. Береговые станции морской подвижной системы связи для передачи данных на суда в телеграфном режиме RADIOTELEX используют такую же узкополосную частотную телеграфию. Частота 2177 кГц в диапазоне ПВ и множество частот в диапазоне КВ в полосе 4202,5 ... 22443,5 кГц выделены для передачи данных с береговых станций на суда.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Компания KENTA (Франция) в 2012 г. для решения задачи увеличения пропускной способности систем передачи ИБМ и перехода на цифровые технологии, пригодные для использования в любой навигационной технике, предложила широкополосную систему NAVDAT [7]¹ на несущей частоте 500 кГц в полосе 10 кГц. Предложенная технология увеличения скорости передачи данных и расширения видов передаваемой ИБМ основана на использовании современных многократных методов модуляции, многочастотных сигналов, а также методов избыточного кодирования.

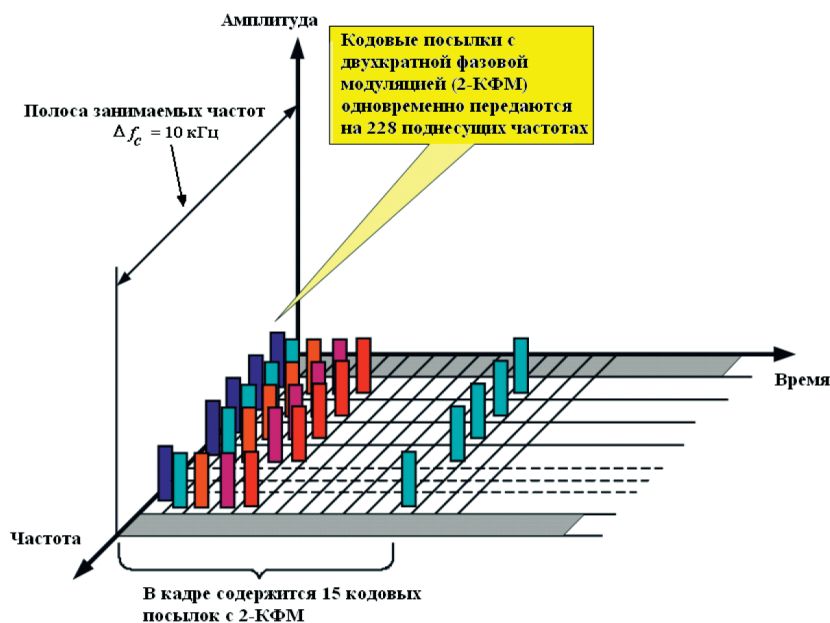


Рис. 1. Передача данных с 2-КФМ на 228 поднесущих частот многочастотного сигнала

На рис. 1 приведена амплитудно-частотная структура пакета фазокодированных посылок, излучаемых на несущей частоте 500 кГц в полосе 10 кГц (± 5 кГц) на 228 ортогональных поднесущих частотах в системе NAVDAT. Длительность кодовой посылки $T_n = 26,66$ мс, число информационных посылок в кодовом пакете равно 15. Спектры передаваемых сигналов примыкают друг к другу, поэтому полоса 10 кГц полностью используется для передачи данных. Для сокращения ширины спектра отказались от частотной модуляции, перейдя на фазовую модуляцию. Вместо двукратной фазовой модуляции 2-КФМ предлагается четырехкратная (4-КФМ) и многократная амплитудно-фазовая модуляция, позволяющая в несколько раз увеличить скорость передачи данных без увеличения ширины спектра частот. NAVDAT обеспечивает следующие режимы работы: общее вещание (всем судам), избирательное вещание (всем судам в определенном районе или определенной группе судов) и целевое сообщение конкретному судну по MMSI. Во всех трех режимах предусмотрена возможность шифрования конфиденциальной информации.

¹ NAVDAT: Navigational Data. System Presentation. Pascal Olivier. Kenta. JCG GMDSS Symposium 2013.

Помехозащищенность передаваемых данных решается с помощью избыточности сверточного кодирования [8], [9]. При сверточном кодировании с большой вероятностью на приемной стороне убирается один неправильно принятый бит в кадре сигнала. Сверточное кодирование позволяет на 6 дБ уменьшать необходимое соотношение сигнал – шум при заданной вероятности ошибочного приема бит.

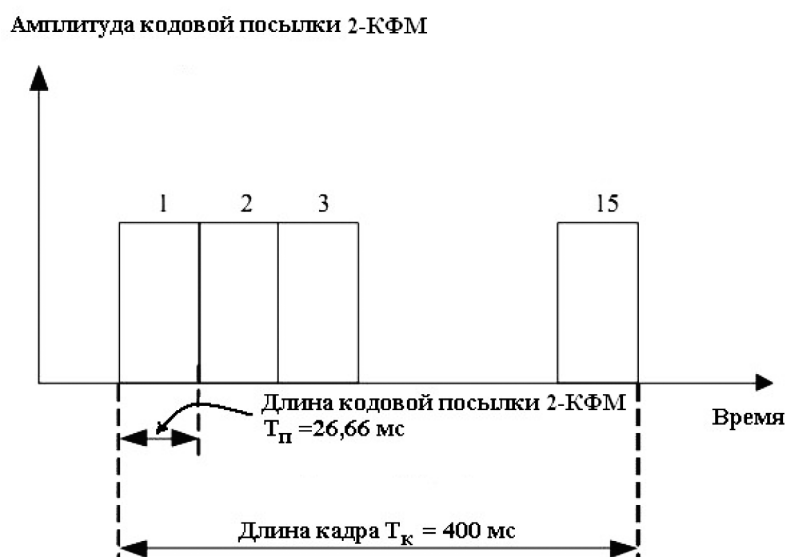


Рис. 2. Структура кадра, состоящая из 15 кодовых посылок с относительной фазовой модуляцией

Длина кодового пакета, образующего кадр сигнала, $T_k = 26,66 \cdot 15 = 399,9 \approx 400$ мс, показана на рис. 2. В каждом кадре передаются два символа, кодированных 7-битовым кодом ASCII. Так как при переходе в месте приема от относительной к фазовой модуляции теряется один бит, в кадре содержится 15 кодовых посылок. На передающей стороне производится разделение массива данных на один или несколько пакетов, которые одновременно передаются на разных несущих частотах.

На приемной стороне принятые на каждой из частот один или несколько пакетов собираются в один файл. Длительность кодовой посылки в системе NAVDAT превышает 20 мс, поэтому искажение формы посылок исключено. Ширина спектра кодовой посылки $\Delta f_n = \frac{1}{T_n} = 37,5$ Гц,

частотный разнос между поднесущими частотами $\Delta f = \frac{\Delta f_c}{228} = \frac{10000}{228} = 43,86$ Гц. Условие ортогональности поднесущих частот выполняется, так как $\Delta f > \Delta f_n$.

При 2-КФМ скорость передачи данных на одной поднесущей частоте $B_1 = \frac{1}{T_n} = \frac{1}{26,66 \cdot 10^{-3}} = 37,5$ бит/с. Скорость передачи данных на 228 поднесущих частотах $B_{228} = B_1 \cdot 228 = 37,5 \cdot 228 = 8550$ бит/с.

При использовании 4-КФМ в одной кодовой посылке в системе NAVDAT передается 2 бита данных, поэтому информационная скорость удваивается: $B = 2B_{228} = 17100$ бит/с. При избыточном сверточном кодировании в зависимости от кодовой скорости (0,75 или 0,5) общее число информационных и проверочных бит возрастет в 1,3 или в 2 раза.

Результаты (Results)

В ближайшие годы планируется развернуть ряд наземных станций системы NAVDAT для передачи информации по безопасности мореплавания на суда у побережья Европы (рис. 3) и в странах Азии. Станции NAVDAT являются своеобразным «полигоном» для внедрения

инновационных цифровых технологий в системе передачи данных на суда. В настоящее время продолжаются эксперименты по определению скорости передачи данных и других характеристик системы NAVDAT¹ в странах Азии (Китай, Япония, Сингапур) и Европы (Дания, Франция). В Китае полевые испытания начались в 2016 г. в Шанхае, Жоушае (в 62 милях к югу от Шанхая) на трех судах. Испытания проводятся при разных видах модуляции сигналов: 2-КФМ, 4-КФМ, 8-КАФМ, 16-КАФМ, 32-КАФМ, 64 КАФМ. При использовании 8-КАФМ, 16-КАФМ, 32-КАФМ, 64-КФМ в одной кодовой посылке, соответственно, передаются 3, 4, 5, 6 бит. Например, использование 64 КАФМ при степени коррекции ошибок 0,75 с полосой 10 кГц позволит обеспечить высокую пропускную способность ~28 кбит/с и минимальное для приема соотношение сигнал / шум 22 дБ, тогда как использование 4 КФМ при той же степени коррекции ошибок 0,75 даст более низкую скорость, но большую зону покрытия, в которой минимальное соотношение сигнал / шум уменьшено до 12 дБ.

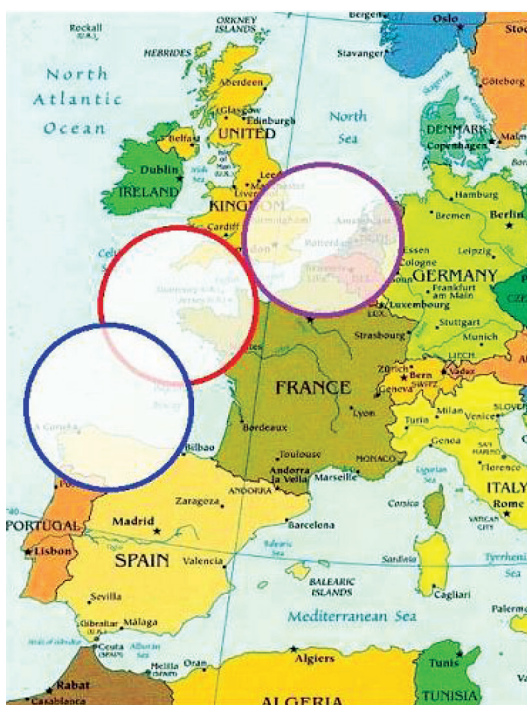


Рис. 3. Наземные станции системы NAVDAT на побережье Европы

На Всемирной конференции по радиосвязи WRC-12 [10] системе NAVDAT была выделена частота 500 кГц с полосой ± 5 кГц. Частоты высокочастотного диапазона для NAVDAT были подтверждены на WRC-19. Частота 4226 кГц будет второй международной частотой NAVDAT.

В диапазоне промежуточных частот (500 кГц) инфраструктура береговой станций будет такой же [11], как и для системы НАВТЕКС: *T*-образная антенна, согласующее устройство и передатчик 10 кВт или больше пиковой мощности. Судовой приемник способен автоматически определять тип модуляции и включает три независимых приемника: 500 кГц, 4226 кГц и приемник для сканирования и обнаружения национальных вещаний NAVDAT. Судовой приемник NAVDAT оснащен экраном, клавиатурой и имеет возможность подключения к судовому навигационному оборудованию с цифровым входом.

На рис. 4 приведены изображения виды приемного устройства (рис. 4, а), передающей антенны (рис. 4, б и передающего устройства (рис. 4, в) системы NAVDAT. Одна из ключевых задач, стоящих перед разработчиками системы NAVDAT, заключается в необходимости обеспечить покрытие примерно такого же района, какой обеспечивают передатчики системы NAVTEX. Результаты экспериментов 2016 г. показали, что наихудшая ситуация наблюдается в экваториальных

¹ Test measurements of NAVDAT system under real conditions. Submitted by China and France NCSR7/INF.13.

районах [12]. Вместе с тем работы по повышению эффективности системы и устойчивой передаче данных на большие расстояния, идентичные существующим размерам районов приема ИБМ от станций системы NAVTEX, продолжаются.

а)

б)

в)

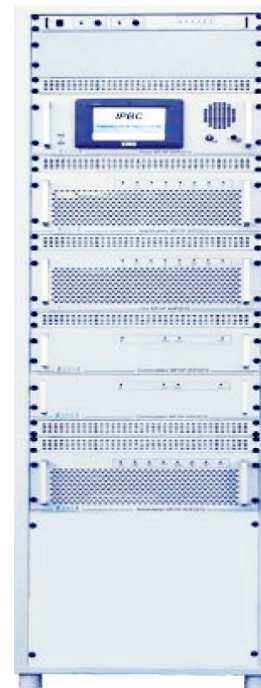


Рис. 4. Внешний вид приемного устройства (а), передающей антенны (б) и передающего устройства (в) системы NAVDAT

На рис. 5 приведена необходимая величина отношения мощности сигнала к мощности шума (помехи) $P_c / P_{ш}$ в месте приема для получения заданной вероятности ошибочного приема бита $P_{ош}$ в зависимости от используемого метода модуляции.

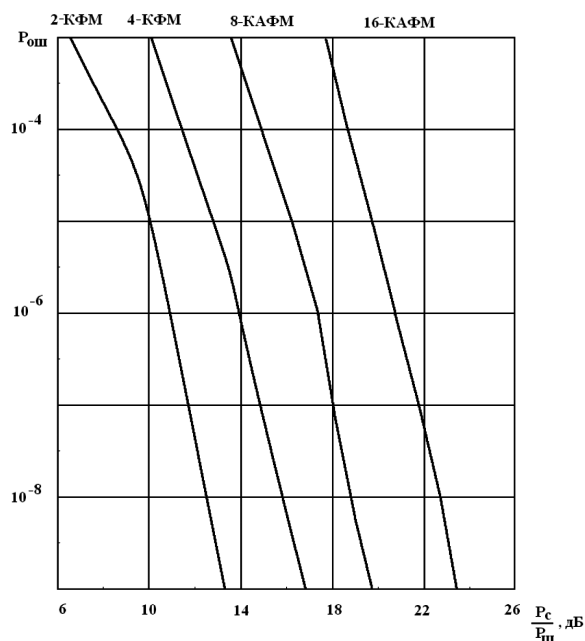


Рис. 5. Вероятность ошибочного приема кодовой посылки $P_{ош}$ в зависимости от отношения сигнал / шум $P_c / P_{ш}$ при различных видах модуляции

Зависимость построена при мешающем действии флуктуационного шума. Чем больше данное отношение, тем меньшее влияние оказывает шум на устойчивый и безошибочный прием сигнала. В таблице в качестве возможного решения данной задачи приведены необходимые отношения $P_c / P_{\text{ш}}$ при $P_{\text{Ош}} = 10^{-5}$ для методов модуляции 4-КФМ, 16-КАФМ и 64 КАФМ, полученные на основе результатов экспериментальных испытаний системы NAVDAT в Китае [11].

Зависимость отношения сигнал/шум от метода модуляции сигнала

Метод модуляции	Необходимые отношения $P_c / P_{\text{ш}}$, дБ при $P_{\text{Ош}} = 10^{-5}$
4-КФМ	6,1
16-КАФМ	12,3
64-КАФМ	19,4

Приведенные в таблице данные меньше по величине на 6 ... 8 дБ по сравнению с данными, приведенными на рис. 5. Это объясняется тем, что при проведении испытаний в Китае для повышения помехозащищенности применялось сверточное кодирование со скоростью кода 0,5 и 0,75. Кроме того, характер помех на частоте 100 кГц в значительной степени отличается от флуктуационного шума. В качестве возможного средства снижения требований к уровню помех в обслуживаемом районе предлагается рассмотреть другие виды модуляции (2-КФМ) и уменьшение ширины полосы частот [12].

Обсуждение (Discussion)

Береговые передатчики, созданные на основе технологии системы NAVDAT, при применении 8, 16, 32 и 64-кратной АФМ в перспективе могут заменить передатчики системы TELEX. Модернизируемая система TELEX на базе NAVDAT обеспечит передачу данных в шести частотных диапазонах: 4, 6, 8, 12, 16, 22 МГц. В каждом диапазоне передача данных предлагается производить на одной центральной частоте с полосой занимаемых частот 10 кГц. Центральными частотами рассматриваются следующие: 4226; 6337,5; 8443; 16663,5; 16909,5; 22450,5 кГц. Судовой приемник будет постоянно сканировать рабочие частоты. В зависимости от времени суток и географического района будет выбираться та или иная центральная частота. Рекомендуемая выходная мощность модернизируемых передатчиков будет зависеть от частоты:

- 4; 6 МГц — 5 кВт;
- 8; 12; 16; 18/19; 22; МГц — 10 кВт.

Руководство по эксплуатации системы разрабатывается в рамках рабочей группы 5В Международного союза электросвязи (ITU) [13].

Выводы (Conclusion)

В результате изучения особенностей модернизированной системы NAVDAT отмечается, что увеличение скорости передачи данных получено за счет использования:

- многочастотной передаче сигналов;
- многочастотной амплитудно-фазовой модуляции сигналов;
- избыточного сверточного кодирования.

Широкополосная передача данных в модернизированной системе NAVDAT позволяет в дальнейшем заменить узкополосную передачу данных в системе TELEX, передачу информации по безопасности на море, а также факсимильную передачу в диапазоне КВ. В системе NAVDAT, по сравнению с системой NAVTEX, передается не только текстовая, но и графическая информация, значительно расширяющая информационные возможности: корректура морских навигационных карт, метеорологические и ледовые карты, сообщения по поиску и спасанию и др. Показана зависимость видов многократной амплитудно-фазовой модуляции и скорости передачи данных.

Результаты двухлетних испытаний NAVDAT в ПВ диапазоне, проведенных в Китае, показывают, что в режиме 4 КФМ обеспечивается зона покрытия 290 морских миль, в режиме 16 КАФМ — 196 мор-

ских миль и в режиме 64 КАФМ – 103 морских мили. Результаты четырехмесячных испытаний NAVDAT в КВ диапазоне, проведенных во Франции, показывают, что в режиме 4 КФМ обеспечиваются сопоставимые результаты. Зона покрытия при этом составляет до 250 морских миль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устинов Ю. М. Судовая радиосвязь. Справочник по организации и радиооборудованию ГМССБ / Ю. М. Устинов, А. А. Дуров, В. Ю. Резников; Под ред. Ю. М. Устинова. — СПб.: Судостроение, 2002. — 480 с.
2. Dahlen A. P. Navigational Telex (NAVTEX) Modeling / A. P. Dahlen. — Coast Guard New London Ct New London, 2017. — №. CG-D-04-18, R/DC-UDI-1715.
3. Wang X. Experimental Research on Marine Digital Navigation System / X. Wang, J. Liu, Z. Liu // The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference. — International Society of Offshore and Polar Engineers, 2019. — ISOPE-I-19-630.
4. Шигабутдинов А. Р. Применение цифровых морских информационных систем для обеспечения безопасности мореплавания на Русском Севере / А. Шигабутдинов, И. Дулькейт. — СПб.: Спутниковые технологии и бизнес, 2014. — 30 с.
5. Liu H. Application of machine learning methods in maritime safety information classification / H. Liu, Z. Liu, D. Liu // 2018 Tenth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI). — IEEE, 2018. — Pp. 735–740. DOI: 10.1109/ICACI.2018.8377552.
6. Šafář J. Performance Bounds for VDES R-mode / J. Šafář, A. Grant, P. Williams, N. Ward // The Journal of Navigation. — 2020. — Vol. 73. — Is. 1. — Pp. 92–114. DOI: 10.1017/S0373463319000559.
7. Рекомендация МСЭ-R М.2058 (02/2014). Характеристики цифровой системы, называемой «Навигационные данные», которая предназначена для радиовещания информации, касающейся безопасности и охраны на море, в направлении берег-судно в диапазоне ВЧ морской службы. — Женева, Швейцария: ИТУ, 2014. — 20 с.
8. Вернер М. Основы кодирования. Учебник для ВУЗов / М. Вернер. — Москва: Техносфера, 2004. — 288 с.
9. Борисов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / В. И. Борисов [и др.]; Под ред. В. И. Борисова. — М.: Радио и связь, 2003. — 640 с.
10. Bauk S. A Review of NAVDAT and VDES as Upgrades of Maritime Communication Systems / S. Bauk // Advances in Maritime Navigation and Safety of Sea Transportation. — London: CRC Press, 2019. — Pp. 81. DOI: 10.1201/9780429341939.
11. Prediction of NAVDAT coverage and related test (Submitted by China). NCSR 5/ INF.8. — IMODOCS, 2017. — 10 p.
12. Evaluation of the coverage of NAVDAT (Submitted by Japan). NCSR 4/INF.11. — IMODOCS, 2016. — 7 p.
13. Bogens K. GMDSS modernisation and e-navigation: spectrum needs / K. Bogens // ETSI Workshop» Future Evolution of Marine Communication. — 2017. — Pp. 1–23.

REFERENCES

1. Ustinov, Yu. M., A. A. Durov, and V. Yu. Reznikov. *Sudovaya radiosvyaz'. Spravochnik po organizatsii i radiooborudovaniyu GMSSB*. Edited by Yu. M. Ustinov. SPb.: Sudostroenie, 2002.
2. Dahlen, A. P. *Navigational Telex (NAVTEX) Modeling*. Coast Guard New London Ct New London, 2017. №. CG-D-04-18, R/DC-UDI-1715.
3. Wang, Xiang, Jingxian Liu, and Zhao Liu. “Experimental Research on Marine Digital Navigation System.” *The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference*. International Society of Offshore and Polar Engineers, 2019.
4. Shigabutdinov, A. R., and I. Dul'keit. *Primenenie tsifrovyykh morskikh informatsionnykh sistem dlya obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya na Russkom Severe*. SPb.: Sputnikovye tekhnologii i biznes, 2014.
5. Liu, Hongze, Zhengjiang Liu, and Dexin Liu. “Application of machine learning methods in maritime safety information classification.” *2018 Tenth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI)*. IEEE, 2018. 735–740. DOI: 10.1109/ICACI.2018.8377552.

6. Šafář, Jan, Alan Grant, Paul Williams, and Nick Ward. "Performance Bounds for VDES R-mode." *The Journal of Navigation* 73.1 (2020): 92–114. DOI: 10.1017/S0373463319000559.
7. *Recommendation ITU-R M.2058-0 (02/2014). Characteristics of a digital system, named navigational data for broadcasting maritime safety and security related information from shore-to-ship in the maritime HF frequency band.* Geneva: ITU 2014.
8. Verner, M. *Osnovy kodirovaniya. Uchebnik dlya VUZov.* M.: Tekhnosfera, 2004.
9. Borisov, V. I., V. M. Zinchuk, A. E. Limarev, N. P. Mukhin, and G. S. Nakhmanson. *Pomekhozashchishchennost' sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov modulyatsiei nesushchei psevdosluchainoi posledovatel'nost'yu.* Edited by V. I. Borisov. M.: Radio i svyaz', 2003.
10. Bauk, S. I. "A Review of NAVDAT and VDES as Upgrades of Maritime Communication Systems." *Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation.* London: CRC Press, 2019. 81. DOI: 10.1201/9780429341939.
11. *Prediction of NAVDAT coverage and related test. Submitted by China.* NCSR 5/INF.8. IMODOCS, 2017.
12. *Evaluation of the coverage of NAVDAT (Submitted by Japan).* NCSR 4/INF.11. IMODOCS, 2016.
13. Bogens, Karlis. "GMDSS modernisation and e-navigation: spectrum needs." *ETSI Workshop» Future Evolution of Marine Communication.* 2017. 1–23.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Устинов Юрий Матвеевич —
 доктор технических наук, профессор
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: kaf_tsn@gumrf.ru

Припотнюк Андрей Владимирович —
 радиоинженер
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: apripotnyuk@mtc.spb.su

Горобцов Александр Петрович —
 кандидат технических наук, доцент
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: gorobtsovap@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ustinov, Yuriy M. —
 Dr. of Technical Sciences, professor
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
 Russian Federation
 e-mail: kaf_tsn@gumrf.ru

Pripotnyuk, Andrey V. —
 Radio engineer
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping,
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
 Russian Federation
 e-mail: apripotnyuk@mtc.spb.su

Gorobtsov, Alexander P. —
 PhD, associate professor
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping,
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
 Russian Federation
 e-mail: gorobtsovap@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 22 марта 2020 г.

Received: March 22, 2020.