
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Научная статья

УДК 621.37; 621.396; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-34-41

ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АППАРАТУРЫ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ОБНАРУЖЕНИИ ПРЕПЯТСТВИЙ НА ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ БЕЗЭКИПАЖНЫХ СУДОВ

✉ Якушенко Сергей Алексеевич;

Дворников Сергей Викторович.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения, Санкт-Петербург, Россия;

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, Россия.

Снежко Виктор Канистратович.

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, Россия

✉ was16@mail.ru

Аннотация. Рассматривается научно обоснованный подход к формированию требований к точности определения местоположения безэкипажных судов в целях предотвращения их столкновения с внезапно возникающими препятствиями. На основе теории вероятности предложен критерий навигационной опасности судовождения, и получены количественные оценки требований к точности позиционирования бортовой аппаратуры спутниковой навигации. Результаты работы могут быть использованы при организации безопасного судовождения и обосновании требований к навигационному обеспечению безэкипажных судов.

Ключевые слова: аппаратура спутниковой навигации, вероятность столкновения, требования к точности позиционирования судов

Для цитирования: Якушенко С.А., Дворников С.В., Снежко В.К. Требования к точности позиционирования аппаратуры спутниковой навигации при внезапном обнаружении препятствий на пути следования безэкипажных судов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 2. С. 34–41. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-34-41.

Scientific article

REQUIREMENTS FOR THE ACCURACY OF POSITIONING OF SATELLITE NAVIGATION EQUIPMENT IN CASE OF SUDDEN DETECTION OF OBSTACLES ON THE ROUTE OF UNMANNED VESSELS

✉ Yakushenko Sergey A.;

Dvornikov Sergey V.

Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia;
Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny,
Saint-Petersburg, Russia.

Snezhko Viktor K.

Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny,
Saint-Petersburg, Russia

✉ was16@mail.ru

Abstract. The paper considers a scientifically based approach to the formation of requirements for the accuracy of determining the location of unmanned vessels in order to prevent their collision with sudden obstacles. On the basis of probability theory, a criterion of navigational hazard of navigation is proposed, and quantitative estimates of the requirements for the accuracy of positioning of on-board satellite navigation equipment are obtained. The results of the work can be used in the organization of safe navigation and substantiation of requirements for navigation support of unmanned vessels.

Keywords: satellite navigation equipment, collision probability, requirements to the accuracy of ship positioning

For citation: Yakushenko S.A., Dvornikov S.V., Snezhko V.K. Requirements for the accuracy of positioning of satellite navigation equipment in case of sudden detection of obstacles on the route of unmanned vessels // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 2. P. 34–41. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-34-41.

Введение

Задачи, решаемые подразделениями МЧС России, как правило, сопряжены с рисками опасности для жизни спасателей [1], поскольку связаны с ликвидацией последствий техногенных катастроф [1, 2]. Поэтому поиск подходов к снижению указанных рисков является актуальной проблемой.

Одно из направлений таких подходов может быть связано с применением робототехнических устройств, которые находят все более активное применение во всех сферах жизнедеятельности человека.

Данные вопросы неоднократно поднимались на страницах разных изданий [2–4], где рассматривались различные аспекты, в частности, применения безэкипажных судов (БЭС).

В соответствии с ГОСТ Р 59298–2021 «Суда безэкипажные внутреннего плавания. Термины и определения», ГОСТ Р 59284–2020 «Суда безэкипажные технического флота. Общие требования» [5, 6] БЭС – это судно, управляемое внешним оператором или автономной бортовой программой.

Автономное БЭС способно выполнять самостоятельное плавание по предварительно заданному маршруту. При этом оно управляется только посредством автономной бортовой программы. Одним из основных требований к автономному плаванию БЭС является безопасность судовождения, направленное на исключение возникновения чрезвычайных происшествий на маршруте движения.

Для обеспечения безопасного путевождения активно внедряются различные технические решения, направленные на интеграцию бортовых навигационных, радиолокационных, оптических, коммуникационных и информационных средств при принятии решений в ходе движения.

Вместе с тем анализ известных технологий, повышающих безопасность и эффективное применение БЭС [7–10], показал, что в настоящее время остаются окончательно не решенными вопросы автоматического путевождения автономных БЭС. Особенно острыми являются моменты, возникающие при расхождении судов в ходе выполнения ими маневра, причаливания, а также при движении в сложных погодных условиях.

Таким образом, объективно возникает вопрос формирования требований к точности определения местоположения бортовой аппаратуры спутниковой навигации для безопасной проводки БЭС и своевременного их реагирования на изменение местоположения судна при маневрах в сложных условиях. Этому вопросу и посвящена данная работа.

Обоснование требований к точности позиционирования

Одним из наиболее сложных моментов в автономном плавании БЭС является недопущение их столкновения с внезапно возникающими препятствиями [10]. Поэтому в интегрированных системах управления важным аспектом обеспечения безопасности беспилотного судовождения является полное покрытие высокоточным радионавигационным полем бассейнов водного пути прохождения БЭС.

Актуальность этого вопроса существенно возрастает при вождении судов в узких местах и в акваториях мелководья, а также при высокой интенсивности движения, в том числе, в сложных условиях (штормовой ветер, сильное течение, наличие льда, посторонних свободно плавающих предметов и т.п.).

В ходе движения по маршруту автономное БЭС ориентируется по сигналам высокоточного радионавигационного поля. При этом запредельная ориентация судна, связанная с неточным и несвоевременным определением своего местоположения, может послужить причиной аварии и даже катастрофы.

Как уже отмечено, навигационными особенностями, влияющими на безопасность автономного плавания БЭС, являются внезапно возникающие препятствия различного происхождения по курсу их следования. К таким препятствиям в источниках [7, 11] относят затонувшие суда, утерянные на малых глубинах якоря, подводные и усыхающие камни, скалы, рифы и другие опасные предметы естественного и искусственного характера на пути следования судна, которые визуальными определяются оптическими или радиолокационными системами БЭС.

Вследствие того, что появление препятствий может возникать неожиданно, то и столкновение с ними БЭС носит случайный характер. Поэтому в качестве показателя безопасности судовождения БЭС целесообразно определить вероятность их столкновения с возникающими препятствиями по курсу следования, который, применительно к рассматриваемой в статье тематике, назовем вероятностью навигационной опасности судовождения.

Тогда, задаваясь законом распределения случайной величины возникновения препятствий и допустимой вероятностью столкновения с ними БЭС, можно определить требования к показателям точности бортовой аппаратуры спутниковой навигации.

С рассмотренных позиций в качестве случайной величины будет выступать расстояние (дальность) до возникающего случайным образом препятствия, которое обозначим величиной z . Далее, в соответствии с законом больших чисел, будем полагать, что указанные расстояния до препятствий распределены по нормальному закону (закону Гаусса-Лапласа) с математическим ожиданием a и среднеквадратическим отклонением σ [12, 13]:

$$p(z, a, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(a-z)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Так, на рис. 1 приведены функции закона распределения для возможных расстояний до препятствия, с учетом их фиксации средствами контроля, установленными на БЭС. Далее, будем полагать, что максимальные расстояния z до препятствия составляют 50, 100, 200 м соответственно. Указанные расстояния использованы в качестве расчетных параметров для вычисления значения $1 - p$.

Используя известное правило трех сигм [12, 13], можно найти дистанцию, в пределах которой с вероятностью порядка 99,7 % будет однозначно установлен факт наличия препятствия при исправной работе радиотехнических и визуальных средств контроля, установленных на БЭС.

Таковыми будут являться дистанции в 17, 33, 66 м соответственно.

На оси ординат, графиков, представленных на рис. 1, отложена вероятность события, что расстояние до препятствия будет не более величины, указанной на оси абсцисс. Таким образом, величина 0,05 есть вероятность того, что расстояние до препятствия будет меньше величины, указанной на оси абсцисс. При вероятности 0,5 величина расстояния есть математическое ожидание. Из графиков, представленных на рис. 1, видно, что для максимального расстояния до препятствия 100 м математическое ожидание равно 22,25 м.

На рис. 2 приведены графики для максимальных расстояний до препятствий 100 м, 500 м, 1 000 м.

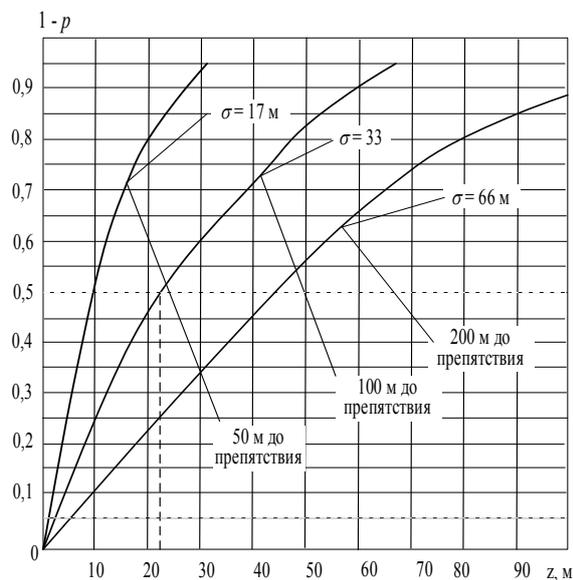


Рис. 1. Закон распределения случайной величины z в зависимости от заданной дальности до препятствия (50 м, 100 м, 200 м)

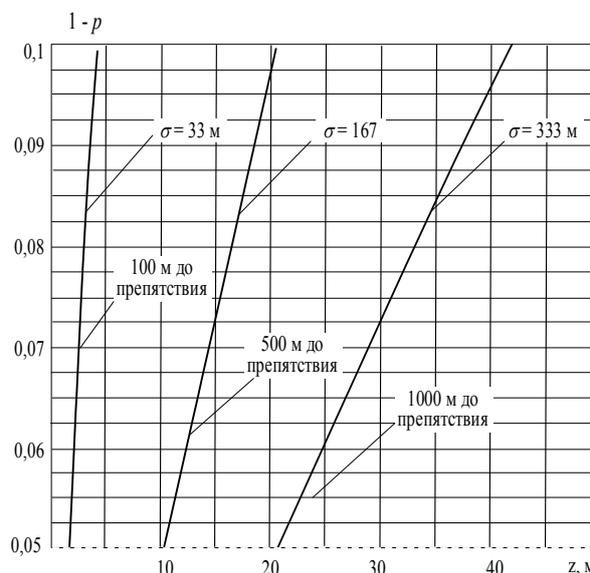


Рис. 2. Закон распределения случайной величины z в зависимости от заданной дальности до препятствия (100 м, 500 м, 1000 м)

На рис. 3 приведены графики для максимальных расстояний до препятствия 10 м, 20 м, 60 м.

Приведенные графики позволяют определить численные значения требований к точности по оси абсциссы для заданной вероятности (например, 0,05) путем умножения на два.

Искомые требования к точности определения координат БЭС с вероятностью нестолкновения 0,95 в зависимости от дальности до препятствия приведены в таблице и на рис. 4.

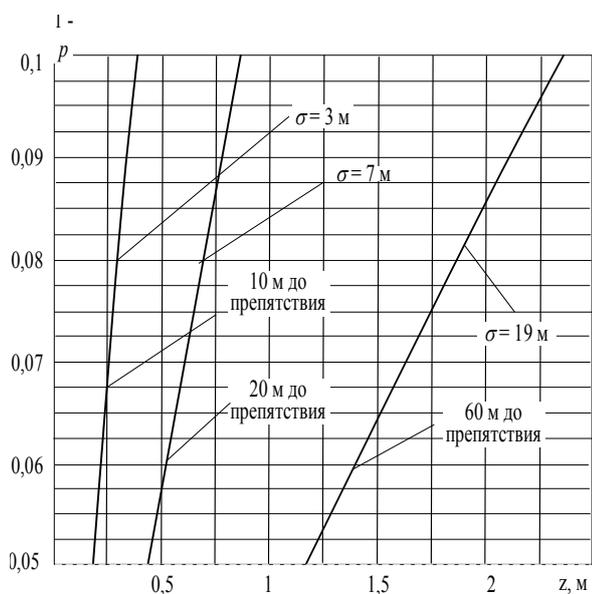


Рис. 3. Закон распределения случайной величины z в зависимости от заданной дальности до препятствия (10 м, 20 м, 60 м)

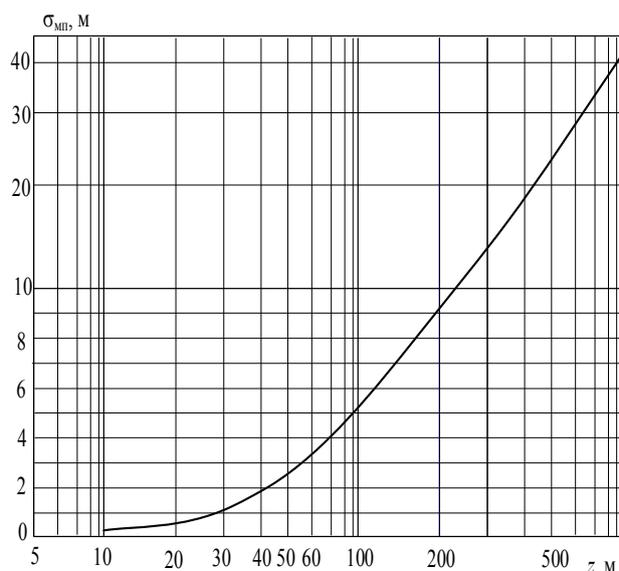


Рис. 4. Зависимость точности определения местоположения БЭС от заданного расстояния до препятствий

Таблица

Требования к точности определения местоположения БЭС в зависимости от дальности до препятствия

Дальность до препятствия, м	10	20	60	100	200	500	1 000
Требования к точности, м	0,4	0,9	2,4	5	10	22	44

Таким образом, предложенный подход позволяет обосновать требования к точности позиционирования БЭС в зависимости от дальности обнаружения препятствия (дальности до препятствия) и заданной вероятности недопущения столкновения БЭС с препятствиями по курсу его следования (вероятностью навигационной безопасности судовождения).

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Вышеприведенная аналитическая модель позволяет обосновать требования к качеству навигационного обеспечения на внутренних водных путях для обеспечения безопасности судоходства безэкипажных и автономных судов в условиях внезапно возникающих препятствий на пути следования.

2. Требования к точности позиционирования БЭС с точки зрения безопасности столкновения с внезапно возникающими препятствиями зависят от статистических параметров закона распределения препятствий и возможностей их обнаружения радиотехническими средствами, которые находятся в пределах от 1 до 44 м.

3. Предложенный подход является основой для научного обоснования требований к качеству навигационного обеспечения на водных путях в условиях наличия внезапно возникающих препятствий на пути следования БЭС, особенно на изгибах рек и в портах, где риск столкновения с препятствием высок. Кроме того, имеется возможность решения обратной задачи, то есть обоснования требований к разрешающей способности и дальности бортовых средств компьютерного зрения и радиолокационного обнаружения при заданной точности позиционирования БЭС.

Заключение

В заключение следует отметить, что в реальных условиях невозможно обеспечить требуемые значения показателей радионавигационного поля к безопасному судовождению по причине их случайности, наличия непредусмотренных и внезапно возникающих деструктивных воздействий. Поэтому для обеспечения требуемых значений показателей точности в реальных условиях с точки зрения безопасности судовождения необходимо интегрировать технологии формирования радионавигационного, инерциального, радиолокационного и оптического полей в единой системе. Только интеграция полей, полученных на разных физических принципах, комплексирование устройств и обработки сигналов в едином комплексе обеспечит безопасность движения и эффективность применения БЭС.

Список источников

1. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ (в ред. от 14 июля 2022 г.) // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35.
2. Каретников В.В., Козик С.В., Буцанев А.А. К вопросу оценки рисков использования безэкипажных средств водного транспорта на участке акватории // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2019. Т. 11. № 6. С. 987–1002.
3. Кондратьев Р.Ю., Шапран О.А. Применение робототехнических средств при тушении пожаров на судах // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. № 1. С. 221–223.
4. Методические рекомендации по тактике применения наземных робототехнических средств при тушении пожаров (утв. МЧС России 17 июля 2015 г. № 1-4-87-26) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.03.2024).
5. ГОСТ Р 59298–2021. Суда безэкипажные внутреннего плавания. Термины и определения // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.03.2024).
6. ГОСТ Р 59284–2020. Суда безэкипажные технического флота. Общие требования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.03.2024).
7. Снежко В.К., Якушенко С.А. Военные интегрированные системы навигации, связи и управления: учеб. для вузов связи. СПб.: ВАС, 2014. 452 с.
8. Бродский В.Л., Ракитин В.Д., Сикарев А.А. О реализации концепции построения дифференциальных подсистем ГНСС на ЕГС европейской части РФ // Наука и водный транспорт. 2006. № 5. С. 27–38.
9. Корретников В.В., Сикарев А.А. Развитие и перспективы современных инфокоммуникационных систем для обеспечения судоходства на ВВП России // Журнал университета водных коммуникаций. 2010. № 4. С. 77–80.
10. Якушенко С.А. Проблемы навигационного обеспечения систем мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов и оценка его безопасности // Информатика и космос. 2019. № 2. С. 78–81.
11. Некоторые аспекты кибертерроризма. URL: <https://www.geopolitica.ru/article/nekotorye-aspekty-kiberterrorizma> (дата обращения: 16.01.2019).
12. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. М.: Радио и связь. 1983. 416 с.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.

References

1. Ob avarijno-spasatel'nyh sluzhbah i statuse spasatelej: Feder. zakon Ros. Federacii ot 22 avg. 1995 g. № 151-F3 (v red. ot 14 iyulya 2022 g.) // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 1995. № 35.
2. Karetnikov V.V., Kozik S.V., Bucanov A.A. K voprosu ocenki riskov ispol'zovaniya bezekipazhnyh sredstv vodnogo transporta na uchastke akvatorii // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2019. T. 11. № 6. S. 987–1002.
3. Kondrat'ev R.Yu., Shapran O.A. Primenenie robototekhnicheskikh sredstv pri tushenii pozharov na sudah // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2017. № 1. S. 221–223.
4. Metodicheskie rekomendacii po taktike primeneniya nazemnyh robototekhnicheskikh sredstv pri tushenii pozharov (utv. MCHS Rossii 17 iyulya 2015 g. № 1-4-87-26) // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhniceskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 01.03.2024).
5. GOST R 59298–2021. Suda bezekipazhnye vnutrennego plavaniya. Terminy i opredeleniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhniceskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 01.03.2024).
6. GOST R 59284–2020. Suda bezekipazhnye tekhnicheskogo flota. Obshchie trebovaniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhniceskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 01.03.2024).
7. Snezhko V.K., Yakushenko S.A. Voennye integrirovannye sistemy navigacii, svyazi i upravleniya: ucheb. dlya vuzov svyazi. SPb.: VAS, 2014. 452 s.
8. Brodskij V.L., Rakitin V.D., Sikarev A.A. O realizacii koncepcii postroeniya differencial'nyh podsystem GNSS na EGS evropejskoj chasti RF // Nauka i vodnyj transport. 2006. № 5. S. 27–38.
9. Korretnikov V.V., Sikarev A.A. Razvitie i perspektivy sovremennyh infokommunikacionnyh sistem dlya obespecheniya sudohodstva na VVP Rossii // Zhurnal universiteta vodnyh kommunikacij. 2010. № 4. S. 77–80.
10. Yakushenko S.A. Problemy navigacionnogo obespecheniya sistem monitoringa i dispatcherizacii podvizhnyh ob"ektov i ocenka ego bezopasnosti // Informatika i kosmos. 2019. № 2. S. 78–81.
11. Nekotorye aspekty kiberterrorizma. URL: <https://www.geopolitica.ru/article/nekotorye-aspekty-kiberterrorizma> (data obrashcheniya: 16.01.2019).
12. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Prikladnye zadachi teorii veroyatnostej. M.: Radio i svyaz'. 1983. 416 s.
13. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij. M.: Sovetskoe radio, 1972. 552 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 12.03.2024; одобрена после рецензирования: 15.04.2024;
принята к публикации: 22.04.2024

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 12.03.2024; approved after review: 15.04.2024;
accepted for publication: 22.04.2024

Сведения об авторах:

Якушенко Сергей Алексеевич, профессор кафедры биотехнических систем и технологий Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); старший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр-т, д. 3), доктор технических наук, e-mail: was16@mail.ru, SPIN-код: 7330-3298

Дворников Сергей Викторович, старший преподаватель кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр-т, д. 3), доктор технических наук, профессор, e-mail: practicsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>, SPIN-код: 7109-9590

Снежко Виктор Канистратович, профессор кафедры космической, радиорелейной, тропосферной связи и навигации Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр-т, д. 3), кандидат технических наук, доцент, SPIN-код: 8223-7187

Information about authors:

Yakushenko Sergey A., professor of the department of biotechnical systems and technologies of the Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); senior researcher at the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky ave., 3), doctor of technical sciences, e-mail: was16@mail.ru, SPIN: 7330-3298

Dvornikov Sergey V., senior lecturer at the department of design and technology of electronic and laser devices of the Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); professor of the department of radio communications at the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky ave., 3), doctor of technical sciences, professor, e-mail: practicsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>, SPIN: 7109-9590

Snezhko Viktor K., professor of the department of space, radio relay, tropospheric communications and navigation of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky ave., 3), candidate of technical sciences, associate professor, SPIN: 8223-7187