

Радиолокация и радионавигация

УДК 621.391

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-1-6-16>

## Мониторинг судоходства в прибрежных морских районах полуактивной радиолокационной системы с использованием сигналов подсвета спутникового базирования

Нгуен Ван Куан ✉

Государственный технический университет им. Ле Куй Дона, Ханой, Вьетнам

✉ [quanvnhath@gmail.com](mailto:quanvnhath@gmail.com)

### Аннотация

**Введение.** С развитием технологии и науки система полуактивной радиолокации, работающая на основе сторонних передатчиков источников сигналов подсвета, стала более интересной для радиолокационного сообщества. Использование спутниковых систем в качестве источников подсвета полуактивной радиолокационной станции дает возможность мониторинга прибрежных морских районов, где отсутствуют наземные источники сигналов подсвета. Сигналы спутниковых систем охватывают любую точку земной поверхности. Данная радиолокационная система дает возможность определения местонахождения судов и также контроля судоходства и в дальнейшем развитии может дополнить систему управления движением судов.

**Цель работы.** Создание макета полуактивной радиолокационной системы с использованием спутниковых систем в качестве сторонних источников сигнала подсвета и проведение экспериментального исследования системы мониторинга судов в прибрежных акваториях.

**Материалы и методы.** Используются антенны спутниковых сигналов AA2-KKC и инструменты записи радиосигналов на основе универсальной платы USRP B210, разработанная программа в прикладной среде MATLAB для обработки сигналов.

**Результаты.** Предложен алгоритм обработки спутникового сигнала глобальной навигационной системы GPS в полуактивной радиолокационной системе. Создан экспериментальный макет приемной станции полуактивной радиолокационной системы мониторинга судоходства в прибрежных морских акваториях на основе устройства ввода данных универсальной платы USRP серии B210. Получены результаты экспериментальных исследований макета приемной станции полуактивной радиолокации при использовании спутникового сигнала GPS L1 C/A-кода мониторинга судов в прибрежных акваториях.

**Заключение.** Результаты экспериментальных исследований на созданном макете полуактивной радиолокационной системы с использованием сторонних передатчиков сигналов подсвета спутникового базирования GPS показали возможность ее использования для мониторинга судоходства в речных и прибрежных морских акваториях. В дальнейшем предполагается многопозиционная модификация такой системы мониторинга, которая позволит обеспечить лучшее качество обнаружения и повышенную точность определения местоположения цели.

**Ключевые слова:** спутниковый сигнал, полуактивная радиолокация, система мониторинга, многопозиционная полуактивная радиолокационная система, ГНСС, GPS

**Для цитирования:** Нгуен Ван Куан. Мониторинг судоходства в прибрежных морских районах полуактивной радиолокационной системы с использованием сигналов подсвета спутникового базирования // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2022. Т. 25, № 1. С. 6–16. doi: 10.32603/1993-8985-2022-25-1-6-16

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.11.2021; принята к публикации после рецензирования 22.12.2021; опубликована онлайн 28.02.2022



## Coastal Shipping Radar Monitoring System with Satellites as Transmitters of Opportunity

Nguyen Van Quan✉

Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam

✉ quanvnhath@gmail.com

### Abstract

**Introduction.** With the development of technology and science, passive radar systems operating on the basis of third-party transmitters of illumination signal sources are increasingly attracting research interest. The use of satellite systems as transmitters of opportunity for a radar station makes it possible to monitor coastal sea areas, where the ground sources of illumination signals are absent. Satellite systems can cover any point on the Earth's surface. Passive radar systems can be used to determine the location of ships and monitor navigation. They are also promising as part of vessel traffic control systems.

**Aim.** To develop a model of a passive radar system that uses satellite systems as third-party sources of illumination signals and to conduct an experimental study of a system for monitoring ships in coastal waters.

**Materials and methods.** The AA2-KKC antennas of satellite signals and radio recording tools based on the universal USRP B210 board were used. Signal processing was performed using a program developed in the MATLAB environment.

**Results.** An algorithm for processing satellite signals of the GPS global navigation system in a passive radar system is proposed. An experimental model of the receiving station for such a radar monitoring system was created on the basis of a data input device for a universal USRP board of the B210 series. Experimental results for the receiving station using the satellite signal GPS L1 C/A-code for coastal monitoring were obtained.

**Conclusion.** The developed experimental model of a passive radar receiving station using third-party transmitters of GPS satellite-based illumination signals on the L1 frequency range of the C/A-code type can be used for detecting ships and monitoring coastal navigation. Future research will consider a multi-position modification of such a monitoring system for improving its detection quality and increasing its target positioning accuracy.

**Keywords:** satellite signal, monitoring radar, coastal navigation, multistatic radar system, GNSS, GPS

**For citation:** Nguyen Van Quan. Coastal Shipping Radar Monitoring System with Satellites as Transmitters of Opportunity. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2022, vol. 25, no. 1, pp. 6–16. doi: 10.32603/1993-8985-2022-25-1-6-16

**Conflict of interest.** The author declares no conflicts of interest.

Submitted 22.11.2021; accepted 22.12.2021; published online 28.01.2022

**Введение.** С каждым годом в мире увеличивается количество судов, выполняющих грузовые и пассажирские перевозки, а также туристических и рыболовных судов со средним и малым водоизмещением. В связи с этим все острее становится проблема контроля и обеспечения безопасности судоходства в речных и морских акваториях. Следует отметить и особую угрозу использования судов в противоправных действиях: контрабандных перевозках, диверсиях. Основным инструментом наблюдения за судоходством является использование автоматической идентификационной системы (АИС), которой оснащено

большинство судов, но данная система может быть отключена на борту. Кроме этой системы также используются радиолокационные средства для наблюдения за морской обстановкой. С развитием технологий и науки в настоящее время в радиолокации нередко используются сигналы подсвета сторонних источников из-за ряда преимуществ: низкая стоимость изготовления и эксплуатации, отсутствие помех другим радиотехническим устройствам, экологичность [1, 2].

Применение полуактивной радиолокационной системы (ПА РЛС) с использованием сторонних источников сигнала подсвета для мони-

торинга судоходства в прибрежных акваториях играет значительную роль в обеспечении безопасности и контроля морской обстановки. В [3–6] было предложено использовать сигналы систем спутникового базирования в качестве источников подсвета в ПА РЛС. Существуют различные спутниковые системы: связи (Iridium, Inmarsat), глобальные навигационные (GPS, GLONASS, GALILEO, BEUDOI), телевидения (DVB-S(2)). В любое время суток в одной точке земной поверхности постоянно можно наблюдать порядка 6–8 спутников глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) [7]. ГНСС дает возможность непрерывной работы полуактивной радиолокационной станции независимо от погодных условий, имеет широкую зону покрытия и доступный диапазон частот сигналов для гражданского использования. Поэтому целесообразно использовать сигналы спутникового базирования в ПА РЛС для мониторинга речных и прибрежных морских районов, где отсутствуют наземные источники подсвета.

В статье описывается разработка макета ПА РЛС мониторинга движения судов в речных и прибрежных морских акваториях с использованием сигналов спутникового базирования GPS в качестве источников подсвета. В статье рассмотрен алгоритм обработки сигналов подсвета L1 C/A-кода GPS в системе бистатической полуактивной радиолокации и представлены результаты экспериментального исследования системы мониторинга судов в прибрежных морских районах.

На рис. 1 представлена общая структурная схема системы бистатической полуактивной ра-

диолокации мониторинга речных и прибрежных морских акваторий при использовании сторонних сигналов ГНСС в качестве источников подсвета. Спутники ГНСС GPS работают на частотах L-диапазона, содержат три модулированные несущие частоты, обозначаемые L1, L2 и L5. В данной статье в качестве передатчиков используется система навигации GPS с сигналом подсвета с центральной частотой  $L1 = 1575.42$  МГц, который состоит из двух поднесущих компонентов с квадратурной фазовой манипуляцией, при этом несущая сигнала C/A-кода (Coarse/Acquisition code) отстаёт от сигнала P-кода (Encrypted Precision code) на  $90^\circ$  [8]. Сигналы могут быть записаны в следующем виде:

$$s_i(t) = \sqrt{2P_i} C_{iC/A}(t) D_i(t) \cos(2\pi f t) + \sqrt{2P_i} C_{iP}(t) D_i(t) \sin(2\pi f t),$$

где  $\sqrt{2P_i}$  – мощность компонентов сигнала  $i$ -го спутника;  $C_{iC/A}(t)$  – открытый C/A-код  $i$ -го спутника;  $D_i(t)$  – навигационное сообщение (NAV – Navigation)  $i$ -го спутника;  $f$  – несущая частота  $i$ -го спутника;  $C_{iP}(t)$  – защищенный P-код  $i$ -го спутника.

Псевдослучайная последовательность (ПСП) C/A-кода представляет собой двухфазный модулированный сигнал с частотой дискретизации 1.023 МГц для гражданского использования. Формирование ПСП типа C/A происходит по схеме генерации, представленной на рис. 2 [9].

Каждый спутник глобальной навигационной системы GPS имеет свою ПСП C/A-кода, в соответствии с номером спутника. Одна из наиболее важных характеристик таких кодов – их корреляционные свойства. При помощи этой характеристики можно определять номер спутника и его ПСП на этапе обработки принятых в ПА РЛС сигналов.

Сигналы спутниковой системы навигации GPS имеют низкий уровень мощности на земной поверхности, при этом уровень отраженного от объекта наблюдения сигнала будет недостаточен для обнаружения. Для решения этой проблемы предлагается увеличить время накопления сигналов в ПА РЛС. Объектом наблюдения в ПА РЛС мониторинга речных и прибрежных морских акваторий является корабль, который имеет относительно невысокую скорость движения. Также при увеличении времени накопления в ПА РЛС улучшается разрешающая способность по доплеровской частоте

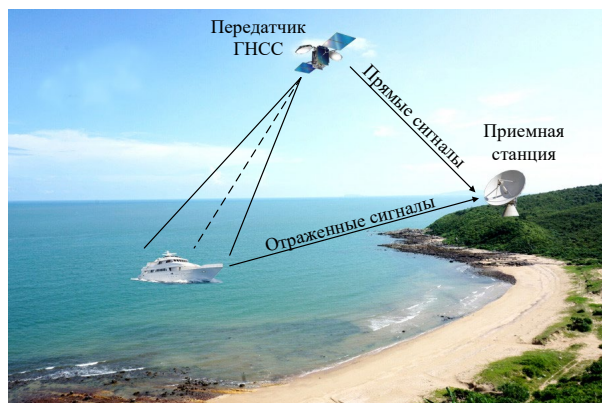


Рис. 1. Структура системы бистатической полуактивной радиолокации мониторинга на основе спутниковых сигналов подсвета

Fig. 1. General structural system of bistatic radar monitoring based on satellite signals illumination

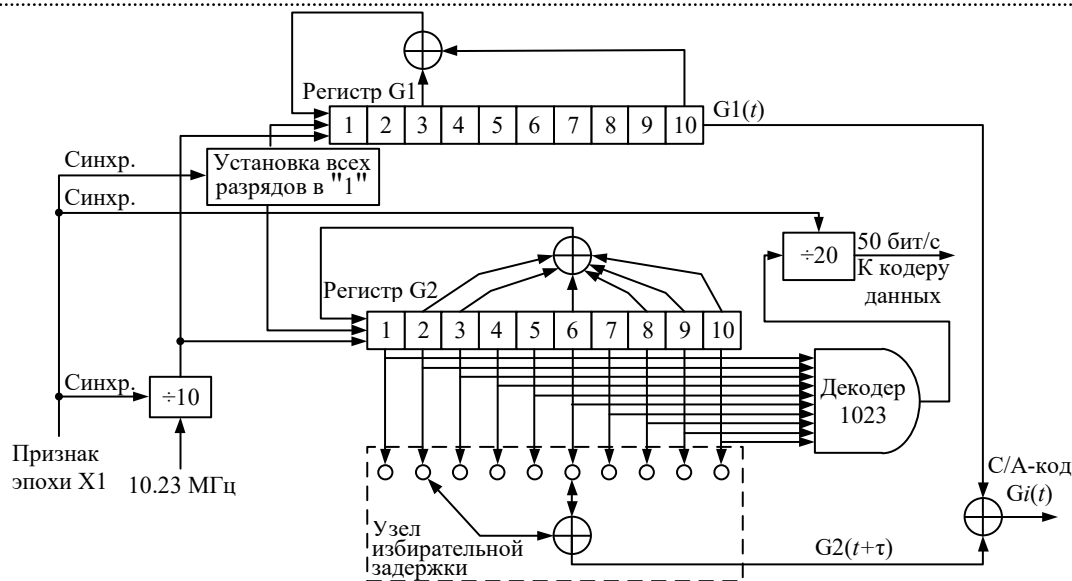


Рис. 2. Генерация С/А-кода

Fig. 2. C/A code generator

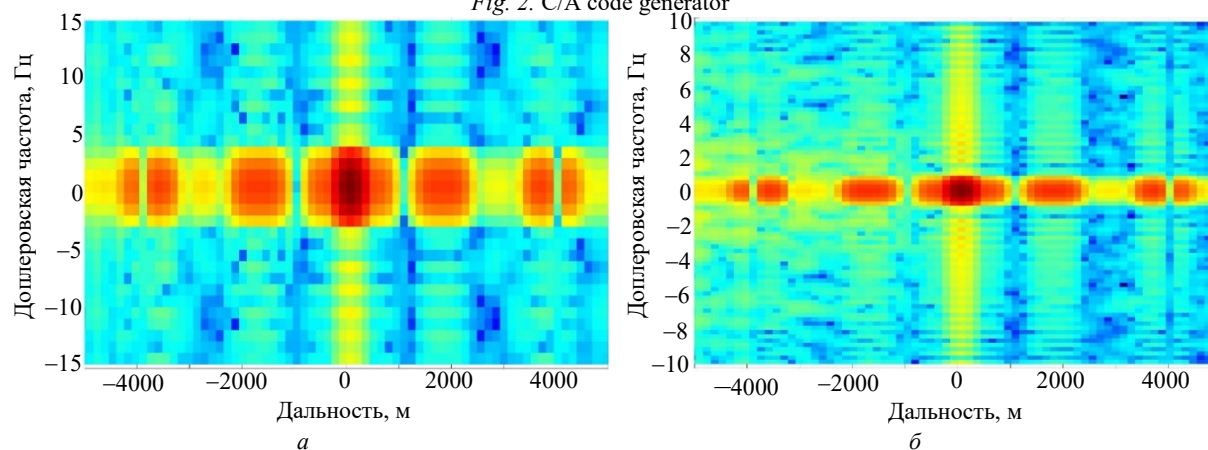


Рис. 3. Функция неопределенности спутниковых сигналов системы навигации GPS при времени накопления: а – 500 мс; б – 1 с

Fig. 3. Ambiguity function of satellite signals of the GPS navigation system under the coherence time of: а – 500 ms; б – 1 s

(рис. 3). Перед созданием экспериментального макета приемной станции ПА РЛС мониторинга на основе спутниковых сигналов подсвета были проведены записи спутниковых сигналов системы глобальной навигации GPS L1 C/A-кода с различным временем накопления с помощью имитатора сигналов ГНСС GSG-5 series в лаборатории НИИ "Прогноз" СПбГЭТУ "ЛЭТИ".

Для создания системы полуактивной радиолокации мониторинга судоходства в речных и прибрежных морских акваториях при использовании

спутниковых сигналов подсвета был разработан экспериментальный макет приемной станции (ПС) ПА РЛС. Структурная схема экспериментального макета ПС ПА РЛС представлена на рис. 4. Экспериментальный макет ПС ПА РЛС на основе сигналов подсвета спутниковой системы навигации GPS включает в себя: антенное устройство, устройство ввода данных и устройство записи, хранения и обработки данных.

В качестве антенного устройства ПС экспериментального макета ПА РЛС были использованы

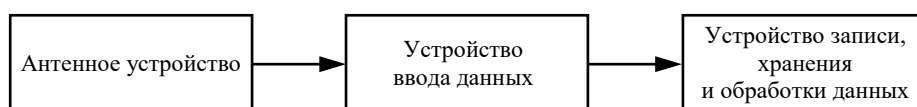


Рис. 4. Структурная схема экспериментального макета приемной станции ПА РЛС

Fig. 4. Block diagram of the experimental module of the receiving station of a bistatic radar system



Рис. 5. Антенный модуль AA2-KKC  
Fig. 5. AA2-KKC antenna module

два антенных модуля AA2-KKC (рис. 5): одна антенна – в опорном канале, принимающая прямые сигналы от спутников GPS; вторая антенна – в канале наблюдения, принимающая отраженные сигналы от цели. Такие антенные модули работают в двух частотных диапазонах:  $L1 = 1.571...1.614$  ГГц и  $L2 = 1.237...1.256$  ГГц. Диаграмма направленности (ДН) антенного модуля AA2-KKC представлена на рис. 6 [10]. Для питания антенн используется переносной блок питания с выходным напряжением 5 В.

В качестве цифрового приемопередатчика и устройства ввода данных использована плата USRP (Universal Software Radio Peripheral) серии B210. Основной задачей платы USRP является преобразование аналоговых прямого и отраженного сигналов в цифровую форму. Основные параметры платы USRP серии B210 приведены в табл. 1 [11]. Запись и хранение сигналов во время эксперимента осуществляются при помощи переносного персонального компьютера (ноутбука), на который через порт USB 3.0 подаются оцифрованные сигналы прямого и отраженного каналов от платы USRP. Программа для подключения платы USRP к ноутбуку была написана в среде разработки MATLAB R2020b. Оцифрованный сигнал с выхода аналого-цифрового преобразователя (АЦП) платы USRP сохраняется на жесткий диск персонального компьютера.

Табл. 1. Основные параметры платы USRP B210

Tab. 1. Basic parameters of the USRP B210 board

Параметр	Значение
Число каналов	2
Частотный диапазон	От 70 МГц до 6 ГГц
Интерфейс с компьютером	USB 3.0
Мгновенная полоса пропускания в реальном времени, при использовании одновременно 2 каналов	30.72 МГц
Характеристики АЦП	12 бит, 61.44 МГц
Максимальный коэффициент усиления одного канала	78 дБ

Записанные сигналы в ПС ПА РЛС обрабатываются по разработанному алгоритму, представленному на рис. 7. Псевдослучайная последовательность C/A-кода формируется по принципу соответствующего генератора C/A-кода. Всего существует 35 типов ПСП C/A-кода, совпадающих с номерами спутников системы навигации GPS.

При движении по определенной орбите в силу ряда факторов скорости спутников различаются. Из-за этой причины при записи спутниковых сигналов с помощью платы USRP серии B210 возникает доплеровский сдвиг, что приводит к неправильным результатам при обработке сигналов. Поэтому, как отмечено ранее, на основе корреляционных характеристик с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) определяются номера спутников и их смещения по частоте (рис. 8) в опорном канале. С помощью генератора C/A-кода формируются все последовательности дальномерного кода спутников системы глобальной навигации GPS. После этого вычисляется посимвольная свертка прямого сигнала со сформированными последовательностями C/A-кода, чтобы определить, сигналы каких спутников приняты в опорном канале. На основе определенного номера

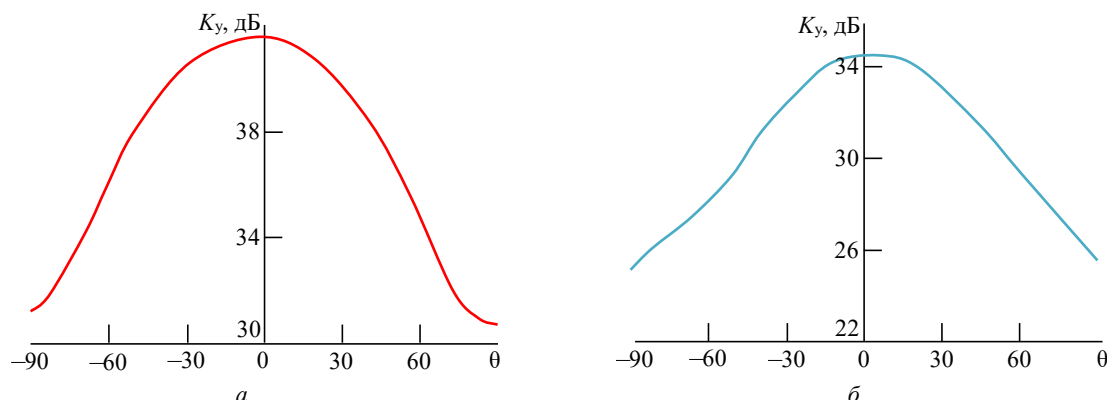


Рис. 6. Диаграмма направленности антенного модуля AA2-KKC: а – L1-диапазон частоты; б – L2-диапазон частоты

Fig. 6. Directional diagram of the antenna module AA2-KKC: а – L1-frequency range; б – L2-frequency range



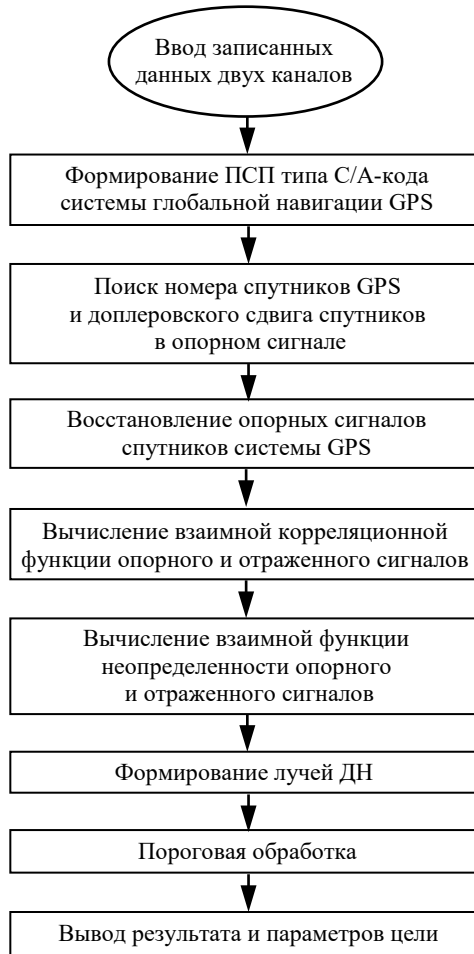


Рис. 7. Блок-схема обработки ПА РЛС со спутниковым сигналом GPS C/A-кода

Fig. 7. Block diagram of the processing bistatic radar system with the satellite signal GPS C/A-code

спутника и его доплеровского сдвига формирует-ся опорный сигнал формата GPS L1 C/A-кода. На следующем этапе используем определенный

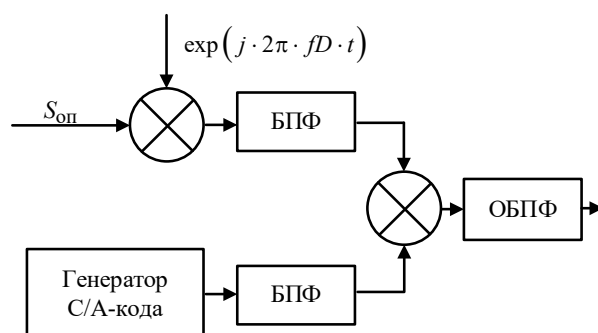


Рис. 8. Поиск номера и частоты смещения спутников системы навигации GPS

Fig. 8. Search for the number and offset frequency of satellites of the GPS navigation system

номер спутника GPS и вычитаем свертку по символам отраженного сигнала в канале наблюдения. Вычисляем взаимную корреляционную функцию между посимвольными свертками опорного и отраженного сигналов.

Экспериментальные исследования проводились в октябре 2021 года в Санкт-Петербурге (Россия). Приемная позиция была расположена в точке с координатами 59°53'17.9N – 30°10'10.6E на высоте 0.5 м над уровнем моря. Фотографии места расположения приемной позиции на Яндекс-карте и экспериментального макета приемной станции ПА РЛС в процессе исследований представлены на рис. 9, 10. Коэффициент усиления в плате USRP серии B210 на обоих каналах 70 дБ, время накопления сигналов 3 с. Объектом наблюдения был грузовой танкер "Oil/Chemical Tanker ONYX" с размерами: длина – 145.88 м и ширина – 22.53 м (рис. 11). Записанные файлы имеют объем более 40 Мб каждый.

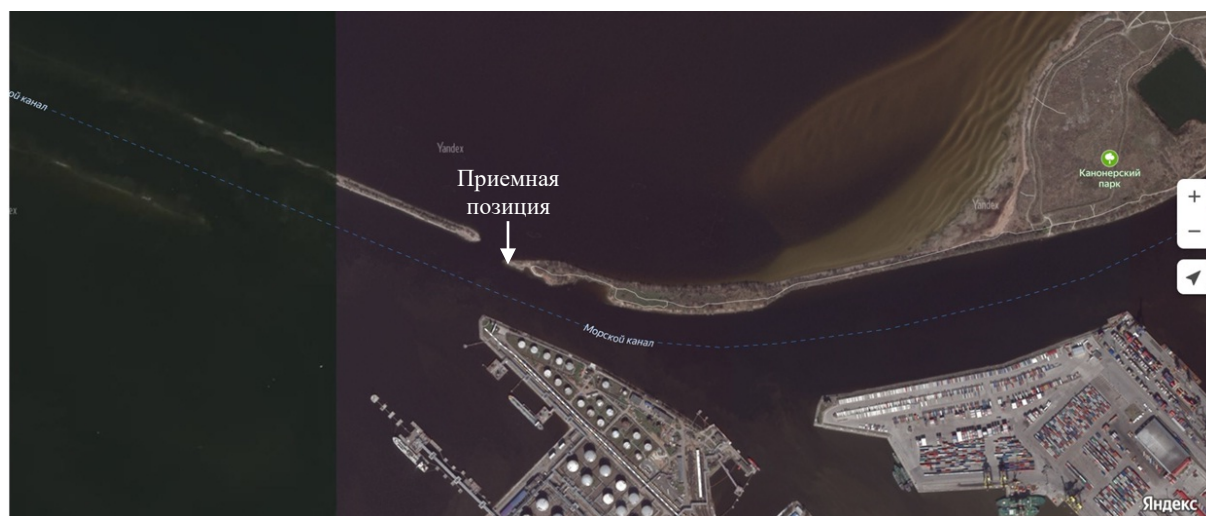


Рис. 9. Расположение приемной позиции экспериментального макета ПА РЛС мониторинга прибрежных морских акваторий на Яндекс-картах

Fig. 9. Yandex map position of the receiving station of the experimental bistatic radar system for monitoring coastal sea areas

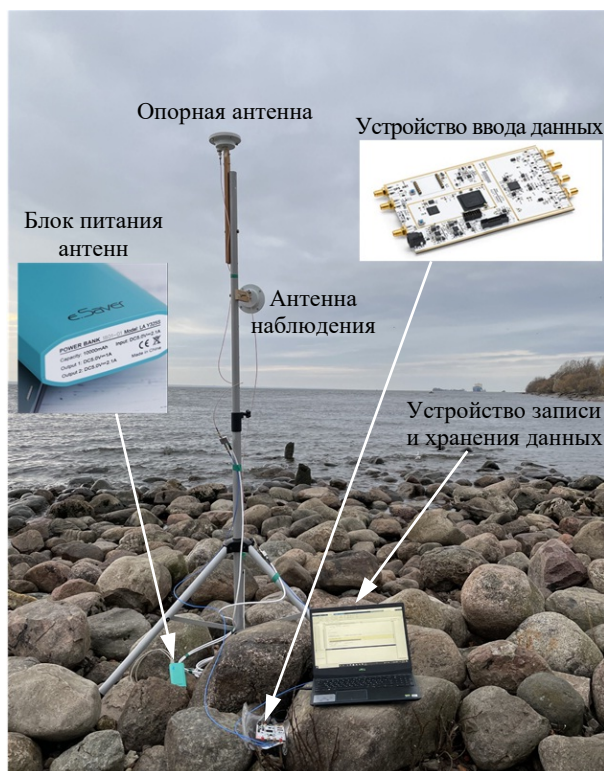


Рис. 10. Экспериментальный макет приемной станции ПА РЛС

Fig. 10. Experimental module of the receiving station of a bistatic radar system



Рис. 11. Макет ПА РЛС и цель в процессе исследования

Fig. 11. The module bistatic radar system under study and a target in the process of research



Рис. 12. Мониторинг спутников системы навигации в реальном времени

Fig. 12. Real-time monitoring of navigation satellites

Из результатов обработки полученных записей видно, что в опорном канале присутствуют сигналы от нескольких спутников (номера спутников 4, 5, 7, 9, 20, 30) (рис. 12). После поиска номера спутника и частоты сдвига в прямом канале было определено, что сигналы от спутников с номерами 7 и 30 имеют наибольший уровень мощности. С помощью генератора ПСП С/А-кода были сформированы опорные сигналы данных спутников. Оценим отношение сигнал/шум спутниковых сигналов на основе результатов корреляционной функции между формирующими последовательностями С/А-кода и прямым сигналом опорного канала. Результаты обнаружения корабля отображены на рис. 13, 14. На этапе вычисления взаимной функции неопределенности (ВФН) между опорным и отраженным сигналами получаем пики на нулевой доплеровской частоте. Это отметки от самого сигнала GPS и переотраженных сигналов неподвижных объектов, так как в канале наблюдения использовалась антенна с широкой ДН. Отметки от корабля оценим при сравнении результатов с использованием сигналов подсвета от разных спутников под номерами 7 и 30 и информации приложения АИС по параметрам движения корабля.

В табл. 2 показаны основные параметры объекта наблюдения, который был обнаружен ПА РЛС в процессе эксперимента. Параметры объекта незначительно различаются при

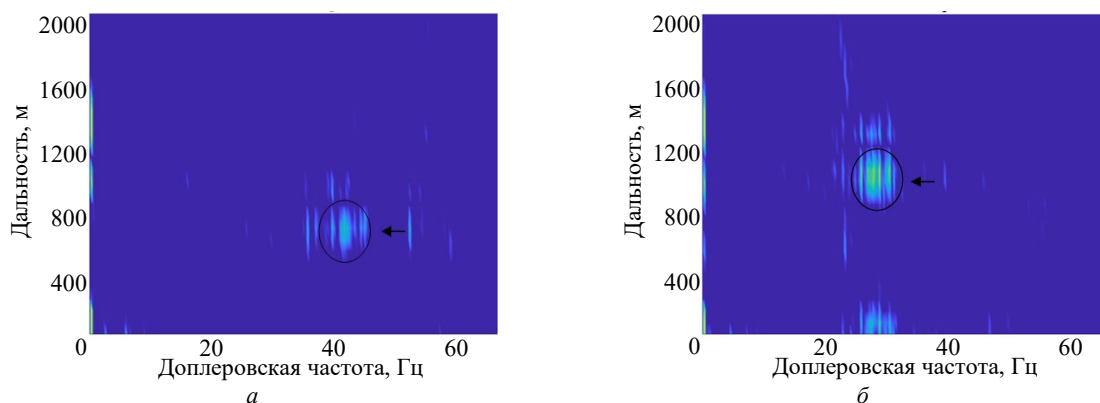


Рис. 13. Результат обнаружения корабля приемной станцией ПА РЛС при использовании сигнала подсвета спутника номер 7

Fig. 13. Results of detecting a ship by the receiving semi-active radar system using the illumination signal of satellite no. 7

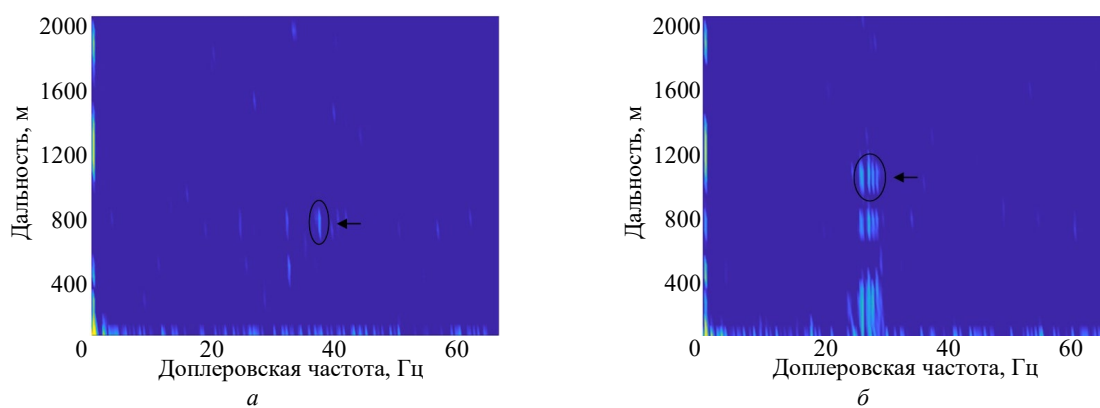


Рис. 14. Результат обнаружения корабля приемной станцией ПА РЛС при использовании сигнала подсвета спутника номер 30

Fig. 14. Results of detecting a ship by the receiving semi-active radar system using the illumination signal of satellite no. 30

Табл. 2. Параметры цели, обнаруженной с сигналом подсвета спутников GPS

Tab. 2. Target parameters detected with the signal illumination of GPS satellites

Номер спутника	Дальность, м	Частота Доплера, Гц	Скорость, м/с
7	733.1	41.67	3.96
	1099.7	28.3	2.69
30	733.1	37.33	3.55
	1099.7	27	2.57

использовании разных сигналов подсвета спутника, что связано с разной скоростью движения и местоположением спутников.

**Обсуждение.** Рассмотрена система бистатической полуактивной радиолокации с использованием сигналов подсвета спутникового базирования для мониторинга судов в прибрежных морских акваториях. Создан действующий экспериментальный макет приемной станции ПА РЛС на основе специализированной аналого-цифровой платы USRP серии B210. Проведены

экспериментальные исследования макета приемной станции ПА РЛС при использовании передатчиков источников сигналов подсвета спутникового базирования GPS диапазона частоты L1. Результаты экспериментальных исследований наглядно подтверждают, что возможно использовать сторонние передатчики источников сигналов подсвета спутникового базирования для создания ПА РЛС мониторинга судов в речных и прибрежных акваториях. Однако существует проблема низкого уровня мощности отраженного сигнала от цели и невысокой точности ее обнаружения.

Для решения этой проблемы предлагается вариант построения многопозиционной полуактивной радиолокационной системы (МП ПА РЛС) с использованием сигналов подсвета спутникового базирования, состоящей из одной приемной позиции и нескольких передающих [12]. Большинство традиционных МП ПА РЛС создано по принципу одного передатчика и нескольких



Табл. 3. Параметры спутников систем навигации GPS, GLONASS и GALILEO

Tab. 3. Parameters of a satellite of the GPS, GLONASS and GALILEO navigation system

Спутниковая система	Способ разделения сигналов	Несущие частоты, МГц	Общее число спутников	Количество доступных спутников в одной точке
GPS	Кодовый	L1 = 1575.42	32	Более 4
GLONASS	Кодово-частотный	L1 = 1600.995	24	
GALILEO	Кодовый	E5 = 1191.795	27	

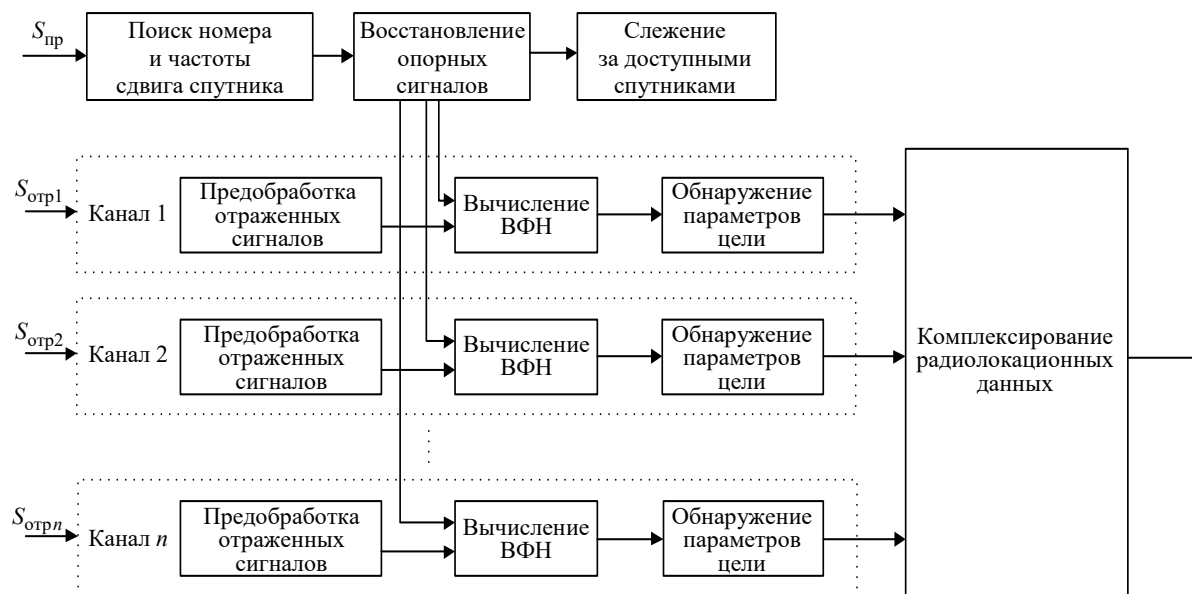


Рис. 15. Структурная схема обработки сигналов МП ПА РЛС с использованием многоканального приемника

Fig. 15. Block diagram of processing signals of a multistatic passive radar system using a multichannel receiver

приемных позиций, а автором статьи предложено построить МП ПА РЛС с одной приемной станцией и несколькими существующими спутниковыми передатчиками, что обеспечит низкую стоимость изготовления станции. В табл. 3 приведены основные параметры спутников систем навигации GPS, GLONASS и GALILEO [13–15]. Основной способ разделения сигналов в спутниковой системе – кодовый. Данный способ удобен при построении МП РЛС, которое заключается в том, что на одной частоте приемное устройство принимает одновременно сигналы от нескольких спутниковых передатчиков – источников сигналов подсвета. Количество спутников всех систем глобальной навигации достаточно велико, в каждой точке земной поверхности всегда одновременно принимаются сигналы от нескольких спутников системы навигации GPS L1 C/A-кода (более 4 спутников). При создании МП ПА РЛС по концепции с несколькими спутниковыми передатчиками и одной приемной позицией увеличивается условная вероятность правильного обнаружения объекта наблюдения. Принимаемые сигналы в опорном канале приемной станции будут различаться между собой с помощью

сформированного генератором кода спутников. На ПС используем фазированную антенную решетку со специализированной аналого-цифровой микросхемой, что позволяет формировать нужную ДН, а также увеличивать коэффициент усиления антенны в канале наблюдения приемной станции. Предлагаемая структура схемы обработки сигналов в МП ПА РЛС с использованием многоканального приемника представлена на рис. 15. В блоке предобработки отраженных сигналов осуществляется формирование нужной ДН антенны наблюдения и идентификация каналов по коду, соответственно, с доступными в реальное время спутниками.

Обработка сигналов осуществляется в каждом отдельном канале многоканального приемника, в которых принимаются отраженные сигналы от цели отдельных спутниковых сигналов подсвета. Положение одной и той же цели измеряется совокупностью  $N$  каналов, соответственно, со своей среднеквадратичной ошибкой. На основе полученных параметров от цели осуществляется комплексирование радиолокационных данных с помощью метода наименьших квадратов.

## Список литературы

1. Радиолокация по сигналам сторонних источников. Ч. 1: Современное состояние / А. В. Бархатов, В. И. Веремьев, Д. А. Ковалев, А. А. Коновалов, В. Н. Михайлов // Инновации. 2013. № 9. С. 8–13.
2. Пассивная когерентная радиолокация / А. В. Бархатов, В. И. Веремьев, Е. Н. Воробьев, А. А. Коновалов, Д. А. Ковалев, В. М. Кутузов, В. Н. Михайлов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2016. 162 с.
3. Maritime moving target indication using passive GNSS-based bistatic radar / M. Hui, A. Michail, D. Pastina, F. Santi, F. Pieralice, M. Bucciarelli, M. Cherniakov // IEEE transactions on aerospace and electronic systems. 2018. Vol. 54, № 1. P. 115–130. doi: 10.1109/TAES.2017.2739900
4. Santi F., Pastina D., Bucciarelli M. Maritime moving target detection technique for passive bistatic radar with GNSS transmitters // The 18<sup>th</sup> intern. radar symp. IRS. Prague, Czech Republic, 28–30 June 2017. IEEE, 2017. P. 1–10. doi: 10.23919/IRS.2017.8008214
5. Нгуен Ван Куан, Маркелова М. А., Веремьев В. И. Анализ возможности использования спутниковых сигналов подсвета для пассивной радиолокационной системы // Вестн. Новгород. гос. ун-та. Сер. Технические науки. 2019. № 4 (116). С. 86–91. doi: 10.34680/2076-8052.2019.4(116).86-91
6. Нгуен Ван Куан. Пассивная радиолокационная система мониторинга движения судов в прибрежных районах с использованием спутниковых сигналов подсвета // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2020. Т. 23, № 3. С. 41–52. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-41-52
7. Santi F., Antoniou M., Pastina D. Point Spread Function Analysis for GNSS-Based Multistatic SAR // IEEE Geoscience and Remote Sensing Lett. 2015. Vol. 12, № 2. P. 304–308. doi: 10.1109/LGRS.2014.2337054
8. GPS Interface Specification IS-GPS-200, Revision M – May 2021. URL: <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200M.pdf> (дата обращения 11.01.2022)
9. Kaplan E. D. Understanding GPS: principles and applications. 2<sup>nd</sup> ed. London: Artech House, 2006. 723 p.
10. Навигационные антенные модули аппаратуры ГНСС / С. Н. Бойко, А. В. Исаев, С. В. Косякин, Ю. С. Яскин // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2016. Т. 3, вып. 3. С. 4–11.
11. USRP B200, B210. USRP hardware driver and USRP manual. URL: [https://files.ettus.com/manual/page\\_usrp\\_b200.html](https://files.ettus.com/manual/page_usrp_b200.html) (дата обращения 10.11.2021)
12. Нгуен Ван Куан, Воробьев Е. Н. Концепция построения многопозиционной радиолокационной системы мониторинга движения судов с использованием сигналов спутниковых навигационных систем // 76-я науч.-техн. конф. Санкт-Петерб. НТО РЭС им. А. С. Попова, посвященная Дню радио: сб. докл. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2021. С. 38–41.
13. Veremyev V. I., Vorobev E. N., Kokorina Yu. V. Feasibility Study of Air Target Detection by Passive Radar Using Satellite-based Transmitters // 2019 IEEE Conf. of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). St Petersburg, Russia, 28–31 January 2019. IEEE, 2017. P. 154–157. doi: 10.1109/EIConRus.2019.8656630
14. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. URL: [https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2016/08/ICD\\_GLONASS\\_rus\\_v5.1.pdf](https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2016/08/ICD_GLONASS_rus_v5.1.pdf) (дата обращения 11.01.2022)
15. European GNSS (Galileo) open service. Signal-in-space interface control document. OS SIS ICD, Issue 1.3. December 2016. URL: <https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-OS-SIS-ICD.pdf> (дата обращения 11.01.2022)

## Информация об авторе

**Нгуен Ван Куан** – инженер по направлению "Специальные радиотехнические системы" (2018), аспирант Государственного технического университета им. Ле Куй Дона (Ханой, Вьетнам). Автор трех научных публикаций. Сфера научных интересов: радиолокационные системы мониторинга.

Адрес: Государственный технический университет им. Ле Куй Дона, 236 Хоанг Куок Вьет, Ко Нхуэ, Бак Ты Лиэм, Ханой, Вьетнам

E-mail: [quanvnhath@gmail.com](mailto:quanvnhath@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-3644-0932>

## References

1. Barkhatov A. V., Veremyev V. I., Kovalev D. A., Konovalov A. A., Mikhailov V. N. Radars with Transmitters-of-Opportunity. Part 1: State-of-the-Art. Innovations. 2013, no. 9, pp. 8–13. (In Russ.)
2. Barkhatov A. V., Verem'ev V. I., Vorob'ev E. N., Konovalov A. A., Kovalev D. A., Kutuzov V. M., Mikhailov V. N. *Passivnaya kogerentnaya radiolokatsiya* [Passive Coherent Radar]. SPb., *Izd-vo SPbGETU "LETI"*, 2016, 164 p. (In Russ.)
3. Hui M., Michail A., Pastina D., Santi F., Pieralice F., Bucciarelli M., Cherniakov M. Maritime Moving Target Indication Using Passive GNSS-Based Bistatic Radar. IEEE transactions on aerospace and electronic systems. 2018, vol. 54, no. 1, pp. 115–130. doi: 10.1109/TAES.2017.2739900
4. Santi F., Pastina D., Bucciarelli M. Maritime Mov-

ing Target Detection Technique for Passive Bistatic Radar with GNSS Transmitters. The 18<sup>th</sup> intern. radar symp. IRS. Prague, Czech Republic, 28–30 June 2017. IEEE, 2017, pp. 1–10. doi: 10.23919/IRS.2017.8008214

5. Nguyen Van Quan, Markelova M. A, Veremyev V. I. On the Satellite Systems Signals as Sources of Illumination for the Bistatic Radar System. *Vestn. Novgorod. gos. un-ta. Ser. Tekhnicheskie nauki*. 2019, no. 4 (116), pp. 86–91. doi: 10.34680/2076-8052.2019.4(116) (In Russ.)

6. Nguyen Van Quan. A Passive Radar System for Monitoring of Coastal Areas Ship Traffic Using Satellite Illumination Signals. *J. of the Russian Universities. Radioelectronics*. 2020, vol. 23, no. 3, pp. 41–52. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-41-52 (In Russ.)

7. Santi F., Antoniou M., Pastina D. Point Spread Function Analysis for GNSS-Based Multistatic SAR. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2015, vol. 12, no. 2, pp. 304–308. doi: 10.1109/LGRS.2014.2337054

8. GPS Interface Specification IS-GPS-200, Revision M – May 2021. Available at: <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200M.pdf> (accessed 11.01.2022)

9. Kaplan E. D. Understanding GPS: principles and applications. 2<sup>nd</sup> ed. London, Artech House, 2006, 723 pp.

10. Boiko S. N., Isaev A. V., Kosyakin S. V., Yaskin Yu. S. Navigational Antenna Modules of the GNSS Equipment. *Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*. 2016, vol. 3, iss. 3, pp. 4–11. (In Russ.)

11. USRP B200, B210. USRP hardware driver and USRP manual. Available at: <https://files.ettus.com/>

[manual/page\\_usrp\\_b200.html](http://manual/page_usrp_b200.html) (accessed 10.11.2021)

12. Nguyen Van Quan, Vorobev E. N. *Kontseptsiya postroeniya mnogopozitsionnoy radiolokatsionnoy sistemi monitoringa dvizheniya sudov s ispolzovaniem signalov sputnikovikh navigatsionnikh system* [The Concept of Building a Multi-Position Radar System for Monitoring the Movement of Ships Using Signals from Satellite Navigation Systems]. *76-ya Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A. S. Popova, posvyashchennaya Dnyu radio: sb. Dokladov*. SPb., Izd-vo SPbGETU "LETI", 2021, pp. 38–41 (In Russ.)

13. Veremyev V. I., Vorobev E. N., Kokorina Yu. V. Feasibility Study of Air Target Detection by Passive Radar Using Satellite-based Transmitters. 2019 IEEE Conf. of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). St Petersburg, Russia, 28–31 January 2019. IEEE, 2017, pp. 154–157. doi: 10.1109/EIConRus.2019.8656630

14. Navigation Radio Signal in the Ranges L1, L2. Global Navigation Satellite System GLONASS. Available at: [https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2016/08/ICD\\_GLONASS\\_rus\\_v5.1.pdf](https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2016/08/ICD_GLONASS_rus_v5.1.pdf) (accessed 11.01.2022)

15. European GNSS (Galileo) open service. Signal-in-space interface control document. OS SIS ICD, Issue 1.3. December 2016. Available at: <https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-OS-SIS-ICD.pdf> (accessed 11.01.2022)

### Information about the author

**Nguyen Van Quan**, engineer on special radio systems (2018), PhD student in Le Quy Don Technical University (Hanoi, Vietnam). The author of more than 3 scientific publications. Area of expertise: radar monitoring systems. Address: Le Quy Don Technical University, 236 Co Nhue, Bac Tu Liem, Ha Noi, Viet Nam.  
E-mail: [quanvnhath@gmail.com](mailto:quanvnhath@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-3644-0932>

---