

Возможность выполнения перспективных требований Радионавигационного плана Российской Федерации на трассах Северного морского пути

© М. А. Воронов, С. М. Воронов

Филиал ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Нижний Новгород, Россия

Цель проведения исследований — оценка возможности обеспечения перспективных требований Радионавигационного плана Российской Федерации (РНП) к точности и доступности навигационных определений судов на трассах Северного морского пути (СМП). В ходе исследований осуществлена оценка доступности и точности навигационных определений при использовании:

— существующих сигналов системы ГЛОНАСС, технических характеристик ее космического сегмента и функциональных дополнений, а также существующей одночастотной судовой навигационной аппаратуры потребителей (НАП) ГНСС;

— перспективных технических характеристик системы ГЛОНАСС и судовой НАП.

По результатам теоретических исследований показано, что:

— при работе существующей судовой НАП в дифференциальном режиме требования РНП к точности навигационных определений, за исключением требований при плавании в портах, выполняются при существующих характеристиках системы ГЛОНАСС. Однако существующая инфраструктура контрольно-корректирующих станций в акватории СМП и состояние системы дифференциальной коррекции и мониторинга не обеспечивают реализацию дифференциального режима на отдельных участках СМП, включая порты Тикси и Певек;

— наиболее полно требования РНП могут быть удовлетворены при реализации перспективных технических характеристик системы ГЛОНАСС.

В ходе теоретических исследований предложены направления развития инфраструктуры контрольно-корректирующих станций в акватории СМП и судовой НАП.

По результатам исследований сделаны выводы о том, что:

— для выполнения перспективных требований РНП к точности навигационных определений необходимо в ходе развития инфраструктуры контрольно-корректирующих станций обеспечить возможности приема информации системы высокоточного определения эфемеридно-временной информации (как по сети Internet, так и по космическому каналу системы дифференциальной коррекции и мониторинга) и ее передачи потребителям, разработать и сертифицировать двухчастотную судовую НАП, использующую сигналы системы ГЛОНАСС с кодовым разделением;

— для выполнения требований РНП к доступности навигационных определений в условиях преднамеренного воздействия на систему ГЛОНАСС необходимо создание резервной навигационной системы.

Ключевые слова: доступность, дифференциальный режим, контрольно-корректирующая станция, навигационные определения, погрешность, помехоустойчивость.

Контакты для связи: Воронов Михаил Анатольевич (e-mail: mvoronov52@yandex.ru).

Для цитирования: Воронов М. А., Воронов С. М. Возможность выполнения перспективных требований Радионавигационного плана Российской Федерации на трассах Северного морского пути // Труды ИПА РАН. 2021. Вып. 57. С. 10–15.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.57.10-15>

The Possibility of Fulfilling the Long-Term Requirements contained in the Radio Navigation Plan of the Russian Federation on the Northern Sea Routes

M. A. Voronov, S. M. Voronov

Branch of the FSUE RFNC-VNIIEF «NIIS named after Yu. E. Sedakov», Nizhny Novgorod, Russia

The purpose of the research was to assess the possibility of ensuring the long-term requirements of the Radio Navigation Plan of the Russian Federation (RNP) for the accuracy and accessibility of navigational definitions of vessels on the tracks of the Northern Sea Route (NSR). During the research, the accessibility and accuracy of navigation definitions were evaluated when using:

— the existing signals of the GLONASS system, the technical characteristics of its space segment and functional additions, as well as the existing single-frequency ship navigation equipment of consumers of global navigation satellite systems (NAP);

— promising technical characteristics of the GLONASS system and the ship's NAP.

According to the results of theoretical studies, it is shown that:

— when operating existing ship's NAP in differential mode, the requirements of the RNP for the accuracy of navigation definitions, with the exception of requirements when sailing in ports, are met with the existing characteristics of the GLONASS system. However, the existing infrastructure of control and correction stations (CCS) in the NSR water area and the state of the differential correction and monitoring system (SDCM) do not ensure the implementation of the differential mode in certain sections of the NSR, including the ports of Tiksi and Pevek;

— the most complete requirements of the RNP can be satisfied with the implementation of promising technical characteristics of the GLONASS system.

In the course of theoretical research, the directions of the development of the CCS infrastructure in the waters of the NSR and the ship's NAP are proposed.

According to the results of the research, it was concluded that:

— in order to fulfill the prospective requirements of the RNP for the accuracy of navigation definitions, it is necessary, during the development of the CCS infrastructure, to ensure the possibility of receiving information from the system for the high-precision determination of positioning and timing information (both via the Internet and via the SDCM space channel) and transmitting it to consumers, to develop and certify a two-frequency ship's NAP using GLONASS system signals with code separation;

— in order to meet the requirements of the RNP for the availability of navigation definitions in conditions of deliberate impact on the GLONASS system, it is necessary to create a backup navigation system.

Keywords: accessibility, differential mode, control and correction station, navigation definitions, error, noise immunity.

Contacts: Mihail A. Voronov (e-mail: mvoronov52@yandex.ru).

For citation: Voronov M. A., Voronov S. M. The possibility of fulfilling the long-term requirements contained in the Radio Navigation Plan of the Russian Federation on the Northern Sea routes // Transactions of IAA RAS. 2021. Vol. 57. P. 10–15.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.57.10-15>

1. Текущее состояние

Возможные маршруты морских судов в акватории Северного морского пути предполагают плавание в открытых морях (океанская зона), прибрежных зонах; проливах Карские ворота, Югорский шар, Вильницкого; а также в реках Обь (Обская губа и морской канал в ней), Енисей и портах Сабетта, Диксон, Дудинка, Тикси и Певек.

В РНП отмечается, что требования морских потребителей и речного транспорта в наибольшей степени могут быть удовлетворены с использованием существующих систем ГЛОНАСС и GPS, функционально дополненных дифференциальными подсистемами, а также перспективных ГНСС.

Существующая инфраструктура контрольно-корректирующих станций (ККС) в акватории СМП (о-ва Олений, Андрея, Столбовой и Каменка, м. Стерлегова, р. Индигирка) и зона действия системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) не обеспечивают реализацию дифференциального режима работы судовых НАП на некоторых участках трасс (см. рисунок).

Все ККС Гидрографического предприятия Госкорпорации «Росатом» оборудованы средствами коммуникации, дающими возможность обмена электронной корреспонденцией и коротковолновыми приемопередатчиками, объединёнными в

единую радиосеть с контрольным пунктом Медвежий (г. п. Диксон).

На ККС о-ов Андрея, Столбовой, Каменка и м. Стерлегова имеется высокоскоростной широкополосный доступ в Интернет через малые спутниковые наземные станции связи VSAT.

Такие основные производители судовой НАП, как АО КБ «НАВИС» (Россия) ([АО КБ НАВИС, 2021](#)), АО «РИРВ» (Россия) ([АО РИРВ, 2021](#)), GARMIN (США) ([NAV-TECH. Garmin, 2021](#)), KODEN (Япония) ([NAV-TECH. KODEN, 2021](#)) выпускают только одночастотную аппаратуру.

Требования РНП к точности и доступности навигационных определений морскими и речными потребителями представлены в табл. 1.

Существующие технические характеристики системы ГЛОНАСС, инфраструктура ККС в акватории СМП совместно с работающей в дифференциальном режиме одночастотной судовой НАП обеспечивают выполнение текущих требований РНП к точности навигационных определений при плавании в океанской зоне, в портах, на подходах к ним и в прибрежной зоне, а также при плавании в свободных реках и каналах.

Перспективные требования к точности навигационных определений при плавании судов в акваториях портов не выполняются.

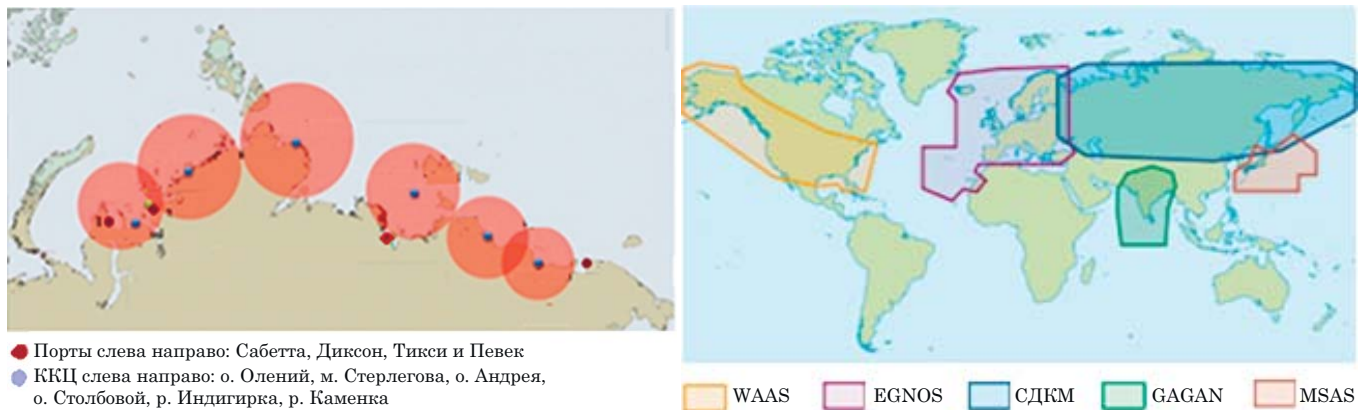


Рисунок. Существующая инфраструктура ККС в акватории СМП и зоны действия широкозонных дифференциальных систем ([Росморфлот, 2019](#); [Прикладной потребительский центр, 2021](#))

Таблица 1

Требования РНП Российской Федерации к точности и доступности навигационных определений морских и речных потребителей ([Радионавигационный план, 2019](#))

Решаемые задачи	Рабочая зона	Погрешность местоопределения (СКП), м		Доступность
		Текущие треб.	Перспективные треб.	
По всему Мировому океану	глобальная	50	5	0.998–0.9997
При плавании в портах, на подходах к ним и в прибрежной зоне с высокой интенсивностью движения судов	локальная	5	—	—
При плавании в акваториях портов и выполнении специальных работ	локальная	—	0.05–0.5	0.998–0.9997
Движение судов по внутренним путям: свободные реки каналы	районы рек, каналы	2.5–17	—	0.995–0.998
		1–2.5	—	0.995–0.998

2. Перспективы повышения точности навигационных определений на трассах СМП

В целях оценки возможности выполнения перспективных требований РНП были проведены расчеты для одночастотной и двухчастотной судовой НАП, использующей сигналы системы ГЛОНАСС с кодовым разделением в диапазонах частот L1, L2 и L3. При этом использованы предположения о реализации следующих мероприятий по повышению технических характеристик системы ГЛОНАСС ([Фаткулин, 2019](#); [Жуков, 2019](#); [Система дифференциальной коррекции, 2012](#); [Глобальная навигационная спутниковая система, 2016](#)):

— повышение точности эфемеридно-временной информации, ведущее к снижению погрешности (СКП) навигационных определений за счет космического сегмента с 0.5 м в 2020 г. до 0.3 м в 2030 г.;

— снижение СКП навигационных определений за счет космического сегмента до 0.1 м при

использовании информации системы высокоточного определения эфемеридно-временной информации (СВО ЭВИ), передаваемой зарегистрированному потребителю в реальном времени, в том числе по космическому каналу связи;

— передача в составе цифровой информации СДКМ параметров ионосферной сетки, позволяющих вычислить ионосферную задержку сигнала НКА;

— передача в составе цифровой информации сигналов с кодовым разделением параметров адаптивной модели ионосферы;

— использование в НАП тропосферной модели, рекомендованной в ([Система дифференциальной коррекции, 2012](#)) и позволяющей компенсировать тропосферную задержку в измерении псевдодалности с остаточной погрешностью, имеющей среднее значение менее 0.15 м.

Результаты оценок приведены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Результаты оценок погрешностей навигационных определений одночастотной НАП по кодовым измерениям псевдодальностей в дифференциальном режиме

Погрешность (СКП), м	Значение при использовании сигналов:					
	L1OC _d		L1OC _p		L3OC	
Ионосферная ¹⁾ , б ₁	1		1		1	
Тропосферная, б ₂	0.15		0.15		0.15	
Космического сегмента, б ₃	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1
Аппаратурная, б ₄	0.45		0.09		0.07	
Многолучевая, б ₅	0		0		0	
Псевдодальности, б _R	1.15	1.1	1.06	1.02	1.06	1.02
Плановых координат	1.5	1.44	1.38	1.33	1.38	1.33
Высоты	1.7	1.67	1.59	1.53	1.59	1.53

Таблица 3

Результаты оценок погрешностей навигационных определений двухчастотной НАП по кодовым измерениям псевдодальностей в дифференциальном режиме

Погрешность (СКП), м	Значение при использовании сигналов:					
	L1OC _d , L2OC		L1OC _p , L2OC		L3OC, L1OC	
Ионосферная ¹⁾ , б ₁	0		0		0	
Тропосферная, б ₂	0.15		0.15		0.15	
Космического сегмента, б ₃	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1
Аппаратурная, б ₄	1.3		0.26		0.19	
Многолучевая, б ₅	0		0		0	
Псевдодальности, б _R	1.34	1.3	0.42	0.32	0.39	0.26
Плановых координат	1.75	1.7	0.55	0.41	0.5	0.34
Высоты	2.0	1.97	0.64	0.47	0.58	0.39

Аппаратурные погрешности измерений псевдодальностей оценивались с использованием шумовых полос следящих систем, значения которых определялись из условий отсутствия срыва слежения за сигналами при движении судов со скоростью не более 12 узлов (22.2 км/ч или 6.17 м/с) в акваториях портов СМП ([Приказ Минтранса, 2016](#)).

Погрешность, обусловленная многолучевым распространением радиоволн, принималась нулевой в предположении использования сигналов НКА с углами места относительно судовой НАП не менее 20°. Погрешности навигационных определений рассчитывались при значении пространственного геометрического фактора точности 2, что соответствует ГОСТ Р 54119-2010.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что перспективные требования РНП к точности навигационных определений судов в портах на СМП выполнимы только при:

— реализации перспективных технических характеристик системы ГЛОНАСС, включая передачу потребителям высокоточной эфемеридно-временной информации в реальном времени по космическому каналу связи и/или по сети Internet;

— создании двухчастотной судовой НАП.

Одним из результатов выполнения «Плана развития инфраструктуры Северного морского пути» должно стать развитие инфраструктуры ККС ГЛОНАСС/GPS в акватории Северного морского пути.

В соответствии с ([Письмо, 2021](#)) ожидаемые сроки строительства ККС в пунктах Певек, Диксон и Тикси — 2022, 2023 и 2025 годы.

С учетом выполненных расчетов представляется целесообразным наряду со строительством новых ККС и заменой установленных в 2011 г., 2012 г. расширить их функциональные возможности: обеспечить возможность приема высокоточной эфемеридно-временной информации по сети Internet и ее передачу потребителям.

3. Обеспечение доступности навигационных определений на трассах СМП

В РНП доступность определена как способность радионавигационной системы обеспечить получение потребителем достоверной навигационно-временной информации в заданный момент времени в определенной зоне действия. Таким образом, потребитель должен быть обеспечен достоверной навигационно-временной информацией и в условиях воздействия помех.

Таблица 4
Требования к характеристикам системы ГЛОНАСС

	2020 г.	2025 г.	2030 г.
Доступность, %	99.997	100	100
Помехоустойчивость, дБ	30	60	60

Требования к доступности навигационных определений и помехоустойчивости системы ГЛОНАСС представлены в табл. 4 ([Урличич, 2019](#)).

Анализ возможных уровней мощности преднамеренных помех был проведен для порта Саббета (одного из наиболее удаленных от границы портов СМП). Анализ показал, что при существующем уровне развития средств радиоэлектронной борьбы уровень мощности преднамеренных помех в этом порту может составить минус 71 дБВт ([Баранов, 2019](#)).

Таким образом, в условиях воздействия преднамеренных помех помехоустойчивость радионавигационной системы на трассах СМП необходимо обеспечивать на уровне не менее 90 дБВт.

В ряде работ в целях обеспечения доступности навигационных определений в условиях преднамеренных помех предложены варианты резервной для системы ГЛОНАСС навигационной системы ([Миляков, 2020](#); [Баранов, 2017](#); [Васильев, 2021](#); [Корнеев, 2015](#)).

Для трасс СМП представляется целесообразным использование комбинации систем:

— системы, построенной на базе опорных станций длинноволнового диапазона длин волн (см. рисунок), обеспечивающей навигационные определения в океанской и прибрежной зонах с ожидаемой погрешностью (СКП) 8 м ([Баранов, 2017](#));

— локальных навигационных систем на базе наземных источников навигационных сигналов УКВ диапазона частот, обеспечивающих навигационные определения при плавании судов в реках и каналах с требуемой РНП погрешностью (СКП < 2.5) ([Васильев, 2021](#)). Помехоустойчивость таких локальных навигационных систем может быть обеспечена выбором структуры и параметров навигационных сигналов, использованием диапазона частот отличного от диапазонов частот ГНСС, программной перестройкой несущей частоты и параметров сигналов ([Васильев, 2021](#); [Корнеев, 2015](#)).

Выводы

Перспективные требования РНП к точности и доступности навигационных определений на трассах СМП могут быть выполнены при следующих условиях:

— реализации перспективных технических характеристик системы ГЛОНАСС;

— развития инфраструктуры ККС в акватории СМП, предусматривающего возможность приема информации СВО ЭВИ по сети Internet и ее передачи потребителям;

— разработки двухчастотной судовой НАП, способной принимать сигналы SBAS и ККС, в том числе содержащие информацию СВО ЭВИ;

— реализации в НАП алгоритмов расчета поправок с учетом параметров адаптивных моделей ионосферы и тропосферы, параметров точечной ионосферной сетки и информации СВО ЭВИ;

— создания резервной для системы ГЛОНАСС навигационной системы.

Литература

АО КБ НАВИС. СН-5703. [Электронный ресурс]. URL: <https://navis.ru/ru/katalog/grazhdanskoe-naznachenie/sudovaya-apparatura1/ch-5703> (дата обращения 02.06.2021).

АО РИРВ. Навигационная аппаратура потребителей ИНТЕГРАЦИЯ. [Электронный ресурс]. URL: <https://rirt.ru/ru/products/navigatsionnaya-apparatura-potrebite-3/> (дата обращения 02.06.2021).

Баранов А. В. Анализ возможности создания локальной навигационной системы для обеспечения безопасности судоходства в морском канале Обской губы / А. В. Баранов, М. А. Воронов. Нижний Новгород: Филиал ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова». 2019. 37 с.

Баранов С. П., Зарубин С. П. Резервирование ГНСС наземными средствами. Проблемы и перспективы // Научно-техническая конференция «Радионавигационные технологии в приборостроении» (РНТ-2017) г. Туапсе п. Небуг, МНТОРЭС им. А. С. Попова: тезисы доклада. 2017.

Васильев В. С., Воронов М. А., Воронов С. М. Локальная псевдоспутниковая навигационная система обеспечения безопасности судоходства в Обской губе // Информация и космос. 2021. № 3. С. 105–109.

Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Общее описание системы с кодовым разделением сигналов. Редакция 1.0. М.: 2016. 33 с.

Жуков А. Н., Брагинцев В. Ф., Сухой Ю. Г. Обеспечение потребителей ассистирующей информацией СВО ЭВИ через спутники связи в диапазоне частот L3 ГЛОНАСС для абсолютного высокоточного позиционирования по PPP-технологии // Восьмая Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО-2019)». ИПА РАН: презентация доклада. 2019.

Корнеев И. Л. Локальные системы навигации, дополняющие системы ГНСС / И. Л. Корнеев, В. В. Егоров // IX Международный форум по спутниковой навигации: тезисы доклада. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://mri-progress.ru/science-publication/278> (дата обращения 02.06.2021).

Миляков Д. Ф. и др. Направления организации альтернативного радионавигационно-телекоммуникационного обеспечения судоходства в арктической морской зоне // Миляков Д. Ф., Биденко С. И., Николашин Ю. Л., Присяжнюк С. П., Шесняк С. С., Черный С. Г. Информация и космос. 2020. № 3. С. 102–1011.

Письмо ФГУП «Гидрографическое предприятие» от 07.07.2021 №775/1/1736. Об участии в выполнении работ по развитию системы НГО в акватории Северного морского пути.

Приказ Минтранса от 21.01.2016 № 9 Об утверждении Обязательных постановлений в морском порту Саббета.

Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС. О навигации. Функциональные дополнения. [Электронный ресурс]. URL: https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/function_dop.php, (дата обращения 28.05.2021).

Радионавигационный план Российской Федерации. Утвержден приказом Минпромторга России от 04.09.2019 г. № 3296.

Росморфлот. Текущие проекты развития объектов портовой инфраструктуры. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rosmorport.ru/filials/arf_port_development/ (дата обращения 25.05.2019).

Система дифференциальной коррекции и мониторинга. Интерфейсный контрольный документ. Радиосигналы и состав цифровой информации функционального дополнения системы ГЛОНАСС системы диффе-

ренциальной коррекции и мониторинга (редакция 1) ОАО «Российские космические системы», 2012. 132 с.

Урличич Ю. М., Коблов С. В., Карутин С. Н. и др. Стратегия развития системы ГЛОНАСС до 2030 года // Восьмая Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2019) ИПА РАН: презентация доклада. 2019.

Фаткуллин Р. Ф., Тестоедов Н. А., Косенко В. Е., Ревнивых С. Г. Космический комплекс системы ГЛОНАСС // Восьмая Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2019). ИПА РАН: презентация доклада. 2019.

NAV-TECH. Garmin GPS 19xHVS Glonass. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.navtech.ru/index.php?productID=2209> (дата обращения 02.06.2021).

NAV-TECH. KODEN GPS/GLONASS. Приемник KGP-925. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nav-tech.ru/index.php?productID=1891> (дата обращения 02.06. 2021).