

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-184-192

УДК 656.61.052:621.396.6:530.1

**В. В. Каретников,
Д. Ф. Миляков,
Я. Д. Милякова**

ВЫБОР МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИЕЙ ГНСС ГЛОНАСС/GPS

В статье рассматриваются вопросы использования средств функциональных дополнений ГНСС в условиях Северного морского пути (СМП). Описаны основные принципы построения дифференциальных подсистем ГЛОНАСС/GPS, среди которых в зависимости от зоны покрытия условно выделены локальные, региональные и широкозонные. Отмечена важность повышения качества, обеспечения безопасности и надежности мореплавания в акватории СМП в связи с ожидаемой интенсификацией транспортных потоков, проходящих через арктическую судоходную магистраль, связанных с повышением роли СМП для перевозки минерального и углеводородного сырья из арктических регионов страны, разработка которых стремительно развивается в настоящее время. Выделены сравнительные преимущества и недостатки использования локальных и широкозонных дифференциальных подсистем в условиях Арктики. Выполнен анализ возможных ограничений в работе данных подсистем в условиях высоких широт и предлагаются способы их преодоления. Сделан вывод о том, что на СМП использование локальных дифференциальных подсистем представляется наиболее конструктивным решением.

Ключевые слова: функциональные дополнения ГНСС, СМП, контрольно-корректирующая станция, дифференциальные поправки.

Введение

Северный морской путь (СМП) является одним из важнейших элементов инфраструктуры экономического комплекса Крайнего Севера Российской Федерации. В береговой зоне и на шельфе арктических морей сосредоточены огромные запасы природных ресурсов. В настоящее время в районах Крайнего Севера добывается порядка 80 % углеводородов России, никель, олово, золото и прочие цветные металлы. Следует отметить, что существующие запасы газа и нефти руководство страны тесно связывает с её национальной безопасностью. Использование магистрали для транспортировки грузов выгодно как с логистической, так и с экономической точки зрения, что делает СМП альтернативой традиционным маршрутам, соединяющим европейские и североамериканские порты с портами Дальнего Востока и Азии.

Прогнозирование роста транспортной активности в Арктической зоне предполагает повышение роли СМП для перевозки минерального и углеводородного сырья из арктических регионов России, разработка которых в настоящее время стремительно развивается. Для обеспечения требуемого уровня безопасности и надежности перевозок на маршруте необходимо применение высокоточных методов местоопределения подвижных объектов, в том числе с использованием средств функциональных дополнений глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS. В данной статье рассматриваются особенности использования средств функциональных дополнений для навигационного обеспечения судоходства в условиях СМП.

Потенциал и предпосылки развития

Северного морского пути как судоходной магистрали

С логистической точки зрения СМП может рассматриваться как одна из основных судоходных магистралей России в Арктике. Проходя вдоль северных берегов России по морям Северного Ледовитого океана: Карскому морю, морю Лаптевых, Восточно-Сибирскому и Чукотскому морям, СМП соединяет европейские и дальневосточные порты России, а также устья судоходных рек Сибири, образуя единую национальную транспортную систему общей протяженностью более 37 000 км. Сейчас основные морские маршруты между портами Европы, Северной Америки и Дальнего Востока проходят через Суэцкий и Панамский каналы. Выбор СМП для осуществления грузоперевозок морем представляется как реальная альтернатива традиционным южным маршрутам, которая имеет ряд существенных преимуществ. В качестве одного из них следует отметить, в первую очередь, возможность значительно сократить расстояние, преодолеваемое судами, с соответствующей оптимизацией временных затрат на транспортировку грузов. СМП, являясь кратчайшим путем из Европы на Дальний Восток, позволяет сократить расстояние по сравнению с традиционными маршрутами почти в два раза. Так, например, расстояние от Санкт-Петербурга до Владивостока по СМП составляет 14 280 км, в то же время через Суэцкий канал — 23 200 км, а вокруг мыса Доброй Надежды протяженность маршрута составит 29 400 км [1]. Таким образом, перевозка груза из стран Азии в Европу при осуществлении плавания по СМП, как правило, занимает на 10 – 15 дней меньше стандартного маршрута, пролегающего через Суэцкий канал (рис. 1).



Рис. 1. Сравнение морских маршрутов Европа – Дальний Восток

С экономической точки зрения использование СМП также выглядит весьма привлекательным. Себестоимость транспортировки одного контейнера в зимний период навигации по СМП при легком типе ледовых условий в среднем на 25 % выше, из-за необходимости ледовой проводки караванов судов, чем по альтернативному южному пути через Суэцкий канал. Однако в летний период стоимость перевозки по рассматриваемому маршруту будет ниже приблизительно на 35 %. Учитывая ставшую все более реальной перспективу круглогодичного судоходства, связанную

с климатическими сдвигами и стремительным сокращением арктического ледового покрова [2], [3], привлекательность СМП возрастает. Помимо России такой маршрут привлекателен для США, Канады, Дании, Норвегии, ЕС в целом, Китая и Японии.

Кроме того, использование СМП минимизирует риски, а соответственно, и экономические издержки, связанные с возникновением угрозы пиратских нападений на суда, которые стали достаточно частым явлением на южных маршрутах. Сегодня владельцы судов, использующие для передвижения южные маршруты, к которым относятся, в том числе, Суэцкий и Панамский каналы, воды Аденского залива и др., сталкиваются с вынужденной необходимостью нанимать вооруженную охрану для сопровождения своих судов, что, несомненно, увеличивает себестоимость таких грузоперевозок. Согласно статистике [4], только с января по сентябрь 2015 г. было зафиксировано 306 случаев пиратского нападения на суда, большая часть из которых приходится на южные маршруты (рис. 2).



Рис. 2. Статистика пиратских нападений за период 2011 – 2015 гг.
(данные Bergen Risk Solution на сентябрь 2015 г.)

В июне 2015 г. Председатель Правительства РФ Д. А. Медведев утвердил «Комплексный проект развития СМП», разработанный Минтрансом России совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти [5]. В проекте предусмотрены меры по навигационно-гидрографическому, гидрометеорологическому, аварийно-спасательному обеспечению судоходства в акватории СМП, а также развитию морских портов и обеспечению вопросов обороны в акватории СМП. Согласно справке «Комплексного проекта развития СМП», его реализация, намеченная на период 2015 – 2030 гг., позволит обеспечить безопасность мореплавания в акватории СМП и защиту морской среды от загрязнения, а также повысит надежность транзитных перевозок и перевозок углеводородного сырья с мест добычи, расположенных на арктическом побережье и континентальном шельфе Российской Федерации.

Использование средств функциональных дополнений ГНСС для навигационного обеспечения водного транспорта в акватории Северного морского пути

Применение средств функциональных дополнений ГНСС (рис. 3) призвано повысить качество координатно-временного и навигационного обеспечения потребителей и расширить спектр и возможности потребителей по решению различного рода задач навигационного обеспечения.

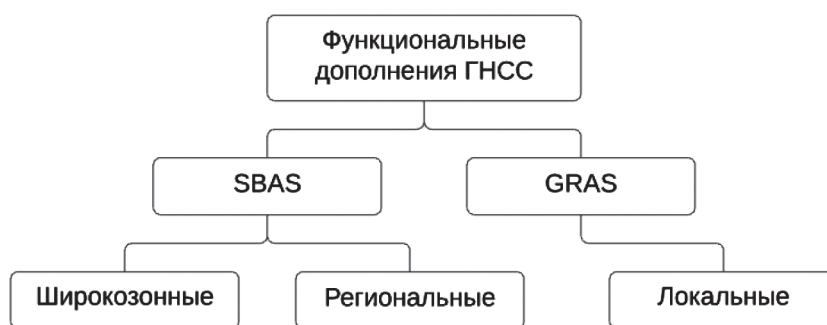


Рис. 3. Функциональные дополнения ГНСС ГЛОНАСС/GPS, используемые для обеспечения безопасности судоходства водного транспорта

Как известно, функциональные дополнения ГНСС ГЛОНАСС/GPS в зависимости от зоны покрытия весьма условно можно разделить на локальные, региональные и широкозонные [6]. Наибольшее распространение на водном транспорте получили локальные дифференциальные подсистемы (ЛДПС), исторически разворачиваемые на базе существующих радиомаяков. Эти системы позволяют добиться увеличения точности определения координат морских и речных судов до единиц метров, что особенно важно при обеспечении безопасности мореплавания в проливах, прибрежных зонах, узкостях, акваториях портов, гаваней и т. д.

Основу любой ЛДПС ГНСС ГЛОНАСС/GPS составляет наземная контрольно-корректирующая станция (ККС), координаты расположения которой известны с высокой степенью точности (рис. 4). В литературе также встречаются названия «опорная», или «базовая», для аналогичных ККС станций. Путем сравнения измеренных значений псевдодальностей до всех видимых навигационных космических аппаратов (НКА) с достоверными значениями, рассчитанными на основе информации об их орбитах и точном знании своего местоположения, ККС вырабатывает поправки к псевдодальностям, которые передаются потребителям для их учета в аппаратуре при решении навигационной задачи в виде разности между измеренными и вычисленными значениями. Такого рода поправки называются *дифференциальными* и передаются от ККС- в УКВ-диапазоне частот от 283,5 до 325,0 кГц [7] для всех видимых НКА.

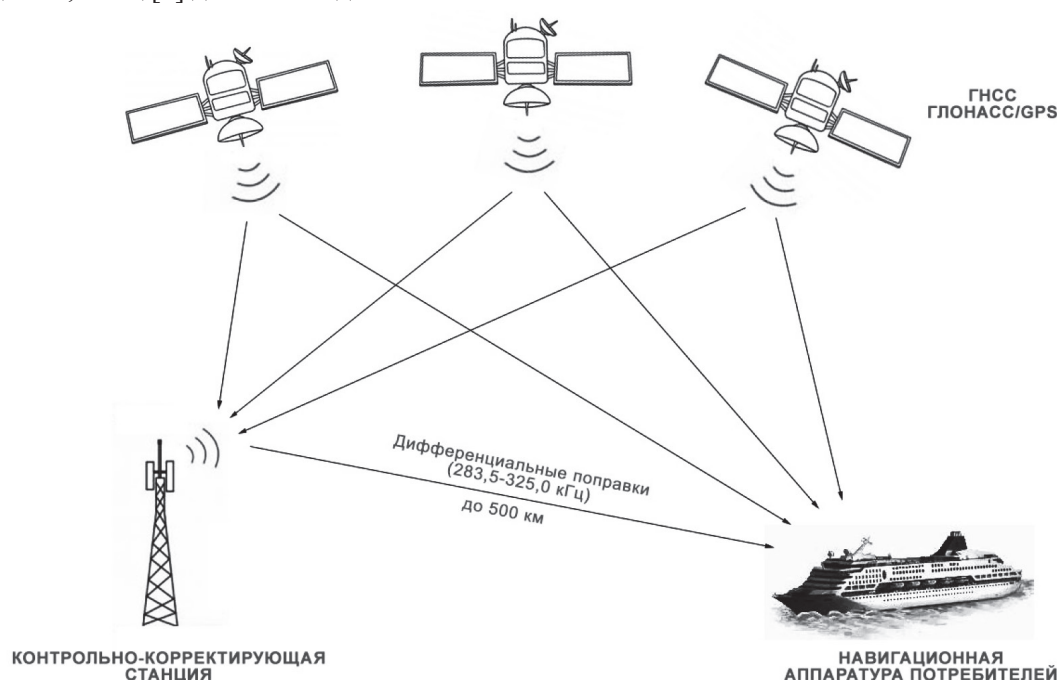


Рис. 4. Принцип действия локальной дифференциальной подсистемы ГНСС ГЛОНАСС/GPS

Аппаратура потребителей, принимающая и учитывающая дифференциальные поправки (ДП), позволяет обеспечить повышение точности координатных определений по ГНСС ГЛОНАСС/GPS от 1 до 5 м в радиусе до 500 км от ККС [8]. На больших расстояниях применение дифференциальных поправок является методически нецелесообразным ввиду нарастания некомпенсируемых погрешностей за условия распространения сигналов от видимых НКА. Основными из составляющих в общей доле некомпенсируемых погрешностей являются задержки, вызванные условиями распространения в ионосфере и тропосфере. Однако методы повышения дальности применимости дифференциальных поправок ЛДПС существуют и совершенствуются. Дальнейшее развитие дифференциальных методов коррекции навигационных измерений с применением аппаратуры потребителей способствовало появлению более абстрактного термина «корректирующая информация», который расширяет понятие «дифференциальные поправки» применительно к другим средствам функциональных дополнений ГНСС.

Региональные дифференциальные подсистемы (РДПС) образуются путем объединения данных от нескольких локальных подсистем, территориально расположенных в каком-либо регионе [9]. Например, РДПС Дальнего Востока включает шесть локальных подсистем. Для единства управления и навигационного обеспечения региональные подсистемы включают в свой состав единый центр управления, что обеспечивает также более широкие возможности для конечного потребителя.

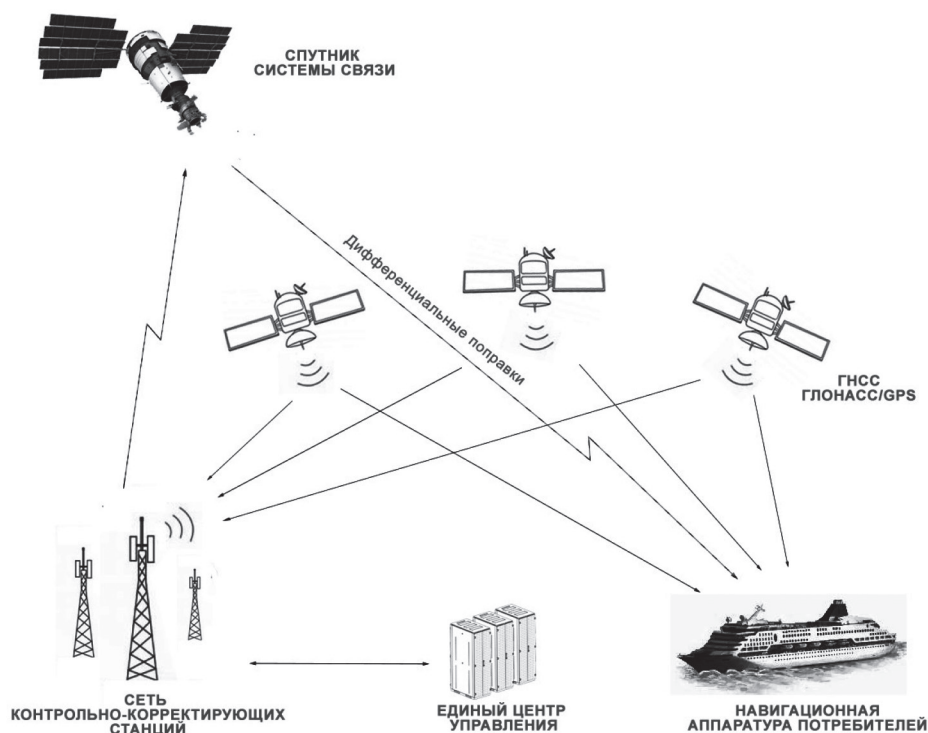


Рис. 5. Принцип действия широкозонной дифференциальной подсистемы ГНСС ГЛОНАСС/GPS

В широкозонных дифференциальных подсистемах (ШДПС) ГНСС ГЛОНАСС/GPS корректирующая информация и данные доступности ГНСС ГЛОНАСС/GPS, определяемые наземными станциями контроля, транслируются потребителям с помощью геостационарных спутников (рис. 5). Кроме того, корректирующая информация, передаваемая в ШДПС, как правило, отличается от дифференциальных поправок ЛДПС. В настоящее время в мире действуют следующие ШДПС: американская WAAS (Wide Area Augmentation System), европейская EGNOS (European Geostationary Navigation Service), японская MSAS (Multi-functional Satellite-based Augmentation System), индийская GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation), Российская СДКМ (система дифференциальной коррекции и мониторинга) — рис. 6.

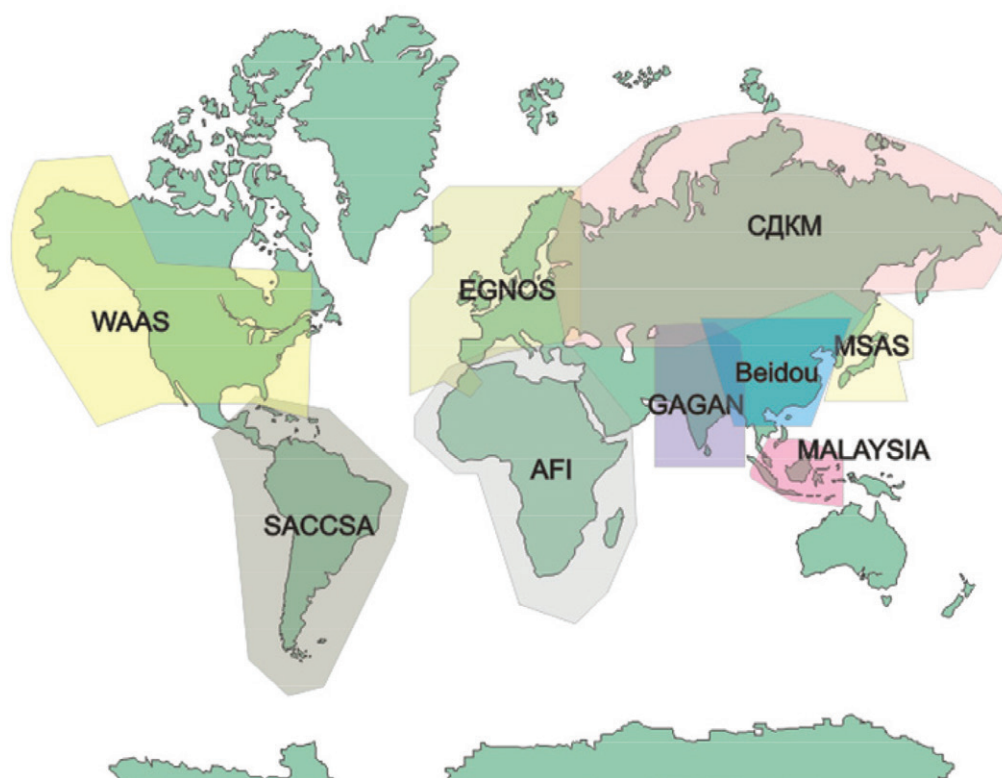


Рис. 6. Зоны покрытия ШДПС

В состав любой ШДПС входят:

- сеть наземных станций слежения, которые осуществляют непрерывный сбор данных от всех НКА на двухчастотные геодезические приемники и передачу полученных измерений на центральную станцию управления в режиме реального времени;
- центральная станция управления, необходимая для обработки и анализа данных, полученных со всех станций слежения и формирования коррекций;
- станции закладки корректирующей информации на геостационарные спутники;
- геостационарные спутники для передачи корректирующей информации на большую территорию всем пользователям сети.

На сегодняшний день в России на завершающей стадии находится создание отечественной ШДПС, которая получила название *СДКМ* (система дифференциальной коррекции и мониторинга), охватывающая в планах всю территорию России.

Надежное навигационное обеспечение СМП корректирующими данными, позволяющее осуществлять высокоточное местоопределение судов по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS, вызывает интерес как ШДПС, так и ЛДПС. Однако в данном случае необходимо определить преимущества и недостатки, присущие указанным классам функциональных дополнений. В качестве существенного недостатка ШДПС следует отметить использование спутников связи для дистрибуции корректирующей информации. Так, например, для обеспечения устойчивой связи в высоких широтах использование геостационарных КА недопустимо, так как при широтах выше 75° геостационарные спутники имеют неуверенную зону покрытия (доступность). Низкоорбитальные системы связи лишены данного недостатка, однако орбитальная группировка такой системы должна быть полностью развернута, в противном случае будут наблюдаться динамические разрывы дифференциального поля. При этом также необходимо отметить, что время доведения до пользователей системы информации о целостности ГНСС у ЛДПС значительно меньше, чем у ШДПС, что, несомненно, оказывает влияние на обеспечение безопасности судоходства, особенно в таком сложном с навигационной точки зрения районе, как СМП.

В то же время существенным недостатком использования ЛДПС для решения поставленной задачи представляется ограниченная дальность действия системы, что в сочетании с наличием недостаточной инфраструктуры СМП может вызывать проблемы, обусловленные построением рациональной топологии дифференциального поля [10], [11]. Указанный недостаток может компенсироваться установкой дополнительных ККС или применением новых методов формирования корректирующей информации, так как дальность распространения радиоволн над морской поверхностью в Арктической зоне даже сейчас превышает 500 км. Кроме того, эффективность работы ЛДПС может быть повышена с применением сетевых решений и объединением всех ККС, формирующих дифференциальное поле на СМП, в единую цепь, на основе которой можно сформировать комплексную систему контроля и управления дифференциальным полем. В таком случае использование цепи ЛДПС для обеспечения высокоточного позиционирования представляется весьма конструктивным решением.

Выводы

1. В данной статье сделан вывод о значительном потенциале СМП как судоходной магистрали как для российского, так и для международного судоходства. Для международных потребителей его использование является способом сократить издержки при транспортировке грузов между европейскими и азиатскими портами, для России СМП представляет собой естественную магистраль для транспортировки ресурсов, добываемых в Арктическом регионе. Отмечается, что в этих условиях возрастает актуальность навигационного обеспечения водного транспорта, использующего данную магистраль, которая характеризуется значительной протяженностью и специфическими климатическими условиями.

2. Приведена топология функциональных дополнений ГНСС в зависимости от зоны покрытия. На основании анализа сравнительных преимуществ различных классов функциональных дополнений сделан вывод о том, что в условиях СМП наиболее перспективным является использование локальных и широкозонных дифференциальных подсистем. При этом ШДПС характеризуется рядом ограничений (использование спутниковой связи для передачи корректирующей информации, время передачи), а функциональные ограничения ЛДПС могут быть компенсированы увеличением количества ККС либо их координацией в рамках единой сети. Таким образом, на данном этапе развития навигационных технологий именно использование локальных дифференциальных подсистем является оптимальным решением для обеспечения безопасной навигации в акватории СМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куватов В. И. Потенциал Северного морского пути арктической зоны России. Факторы и стратегия развития / В. И. Куватов, Д. В. Козьмовский, Н. В. Шаталова // Интернет-журнал «Науковедение». — 2014. — № 6 (25). — С. 20.
2. Антрим К. Новая судоходная Арктика / К. Антрим // Россия в глобальной политике. — 2010. — Т. 8. — № 5. — С. 35–48.
3. Глобальное таяние арктических льдов [Электронный ресурс]: сайт агентства по инновациям и развитию экономических и социальных проектов. — Режим доступа: <http://www.innoros.ru/news/foreign/16/03/globalnoe-tayanie-arkticheskikh-ldov> (дата обращения – 30.03.2016).
4. Bergen Risk Solution [Электронный ресурс]: оф. сайт компании. — Режим доступа: <http://www.bergenrisksolutions.com/> (дата обращения – 16.06.2016).
5. Справка о Комплексном проекте развития Северного морского пути [Электронный ресурс]: оф. сайт правительства России. — Режим доступа: <http://government.ru/orders/18405/> (дата обращения: 16.06.2016).
6. Каретников В. В. Топология дифференциальных полей и дальность действия контрольно-корректирующих станций высокоточного местоопределения на внутренних водных путях / В. В. Каретников, А. А. Сикарев. — 2-е изд. — СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. — 525 с.

7. ГОСТ Р 56055-2014. Глобальная навигационная спутниковая система. Морская дифференциальная подсистема. Проектирование контрольно-корректирующих станций. Общие требования. — М.: Стандартинформ, 2015. — 15 с.

8. Каретников В. В. Технологии глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS на службе работников речного транспорта / В. В. Каретников, Г. Б. Чистяков, В. А. Бекряшев, Р. В. Волков // Морская радиоэлектроника. — 2015. — № 3 (53). — С. 28–29.

9. Андрияшечкин Ю. Н. Роль корректирующей информации в процессе обеспечения безопасности судоходства / Ю. Н. Андрияшечкин, В. В. Каретников, А. А. Сикарев // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2012. — № 1. — С. 75–78.

10. Каретников В. В. Моделирование топологической структуры зон действия контрольно-корректирующих станций дифференциальной системы ГЛОНАСС/GPS, установленных на реке Обь / В. В. Каретников, Ю. Н. Андрияшечкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 1 (20). — С. 86–89.

11. Сикарев А. А. Основные аспекты конструктивного подхода к компенсации зон разрыва дифференциальных полей СВ-диапазона на внутренних водных путях России / А. А. Сикарев, В. В. Каретников, Ю. Н. Андрияшечкин // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2012. — № 1. — С. 112–115.

CHOOSING A METHOD OF DIFFERENTIAL CORRECTION FOR PROVIDING THE NORTHERN SEA ROUTE WITH GNSS GLONASS/GPS CORRECTION INFORMATION

This article discusses the use of GNSS augmentation under the conditions of the Northern Sea Route (NSR). It describes the basic principles of the GLONASS/GPS differential subsystems, among which local, regional and wide-band subsystems are commonly identified. The importance of improving the quality, security and maritime safety in the waters of NSRs is indisputable in the wake of the expected intensification of traffic; and the increasing role of NSRs for the transportation of minerals and hydrocarbons from the Arctic regions. The authors highlight the comparative advantages and disadvantages of using local and wide-area subsystems in the Arctic. They analyze possible limitations to the use of data subsystems in high latitudes, suggesting ways to overcome them. It is concluded that the use of locale-differential subsystems is the most constructive solution in the setting of NSR.

Keywords: GNSS augmentation, NSR, control and correction station, differential corrections.

REFERENCES

1. Kuvatov, V. I., D. V. Kozmovsky, and N. V. Shatalova. "The potential of the Northern Sea Route in the Arctic zone of Russia. Factors and strategy development." *On-line journal "Naukovedenie"* 6(25) (2014): 20.
2. Antrim, K. "Novaya sudohodnaya Arktika." *Russia in Global Affairs* 8.5 (2010): 35–48.
3. Globalnoe taniye arkticheskikh ldov. Web. 30 March 2016 <<http://www.innoros.ru/news/foreign/16/03/globalnoe-taniye-arkticheskikh-ldov>>.
4. Bergen Risk Solution. Web. 16 June 2016 <<http://www.bergenrisksolutions.com/>>.
5. Spravka o Kompleksnom proekte razvitiya Severnogo morskogo puti. Web. 16 June 2016 <<http://government.ru/orders/18405/>>.
6. Karetnikov, V. V., and A. A. Sikarev. *Topologiya differentsialnykh poley i dalnost deystviya kontrolno-korrektiruyushchikh stantsiy vyisokotochnogo mestoopredeleniya na vnutrennikh vodnykh putyakh*. 2d ed. Spb.: GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2013.
7. Russian Federation. GOST R 56055-2014. Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema. Morskaya differentsialnaya podсистема. Proektirovaniye kontrolno-korrektiruyushchikh stantsiy. Obschie trebovaniya. M.: Standartinform, 2015.
8. Karetnikov, V. V., G. B. Chistyakov, V. A. Bekryashev, and R. V. Volkov. "Technologies of the «GLONASS» global navigation satellite system in service to the river transport workmen." *Marine Radio-electronics* 3(53) (2015): 28–29.
9. Andryushechkin, Yu. N., V. V. Karetnikov, and A. A. Sikarev. "Rol korrektiruyushey informatsii v protsesse obespecheniya bezopasnosti sudohodstva." *Information Security Problems. Computer Systems* 1 (2012): 75–78.

10. Karetnikov, V. V., and Yu. N. Andryushechkin. "Modeling of the topological structure of the zones of action of the control-correcting stations differential system GLONASS/GPS installed on the river Ob." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1(20) (2013): 86–89.

11. Sikarev, A. A., V. V. Karetnikov, and Yu. N. Andryushechkin. "The basic aspects of the constructive approach to indemnification of zones of rupture of differential fields of MW on inland waterways of Russia." *Zhurnal Universiteta vodnykh kommunikatsiy* 1 (2012): 112–115.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каретников Владимир Владимирович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
kaf_tss@gumrf.ru
spguwc-karetnikov@yandex.ru
Миляков Денис Федорович —
кандидат технических наук.
КБ «НАВИС»
denism@navis.spb.su
Милякова Яна Денисовна — аспирант.
Научный руководитель:
Каретников Владимир Владимирович.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
Yana.Milyakova@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Karetnikov Vladimir Vladimirovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
kaf_tss@gumrf.ru
spguwc-karetnikov@yandex.ru
Milyakov Denis Fedorovich — PhD.
CD «NAVIS»
denism@navis.spb.su
Milyakova Yana Denisovna — postgraduate.
Supervisor:
Karetnikov Vladimir Vladimirovich.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
Yana.Milyakova@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24 июня 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-192-202
УДК 621.396

А. В. Саушев,
Е. В. Бова

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПОРТОВ И СУДОРЕМОНТНЫХ ЗАВОДОВ

Рассматривается задача параметрического синтеза систем управления электроприводов применительно к технологическим машинам береговых установок. Приводится обзор известных способов решения этой задачи. Анализируются показатели качества систем управления и способы построения критерия оптимальности. Исследуется типовая структурная схема электропривода технологических машин береговых установок, и решается задача параметрического синтеза по критерию запаса работоспособности. Рассматривается пример параметрического синтеза систем управления электропривода с регуляторами состояния, которые находят все более широкое применения на практике. Оптимальный по выбранному критерию результат сравнивается с решением, полученным при использовании обобщенного мультипликативного критерия оптимальности. Делается вывод о целесообразности применения в качестве критерия оптимальности при решении задачи параметрического синтеза систем управления электроприводов запаса работоспособности. Решение, полученное по данному критерию, гарантирует выполнение всех требований, предъявляемых к электроприводу, и обеспечивает его высокую параметрическую надежность.

Ключевые слова: электропривод, система управления, работоспособность, параметрический синтез, запас работоспособности.