

## СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ КАК КОМПЛЕКС МЕР ПО БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

**Боран-Кешишьян Анастас Леонидович**  
доктор технических наук

**Колодченко Самира Сергеевна**  
аспирант

Государственный морской университет адмирала Ф.Ф. Ушакова  
Новороссийск

**Аннотация.** Статья посвящена области использования и принципу действия спутниковых систем навигации, как комплекса мер, направленных на безопасность эксплуатации водного транспорта.

**Ключевые слова:** глобальная спутниковая система (GPS), глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС), Галилео (Galileo), Бейдоу (Beidou), индийская региональная спутниковая навигационная система (Indian Regional Navigation Satellite System – IRNSS), квазизенитная спутниковая система (The Quasi-Zenith System – QZSS), безопасность плавания.

Специфика работы морского транспорта определила необходимость использования методов, определяющих координаты судна, возможность корректировки последующего курса, безопасности транспортировки груза и т.п. Как известно, «человеческий фактор» (ЧФ), который применяется в научно-исследовательских изысканиях как многозначный термин, описывающий возможность принятия человеком ошибочных или алогичных решений в конкретных ситуациях, может стать причиной

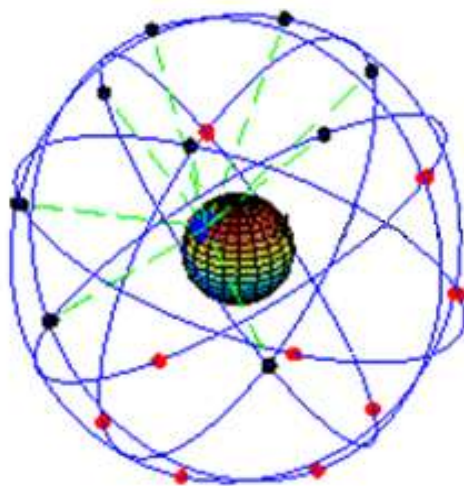
ошибок, допускаемых в определении места судна, выбора курса и управления судна. С внедрением спутниковой системы позиционирования, эти факторы можно исключить. К примеру, получив точную информацию о местоположении судна, оператор компании на берегу может качественно оценить навигационную обстановку, прогнозировать перемещения судна за дискретное или непрерывное время и принять решение по управляющему воздействию. Но, в первую очередь, принятие решения должно базироваться на подлинности текущих координат, получаемых от спутниковой радионавигационной системы (АПИ СРНС) [1-5].

Актуальной проблемой в области спутниковой навигации остаётся анализ спутниковых навигационных систем (СНС), используемых для безопасности мореплавания. «Для целей удалённого навигационного контроля могут быть использованы ГНСС, несмотря на риски и опасности, связанные с этими системами...» [6]. Существующее противоречие между наличием современных геостационарных спутниковых навигационных систем и отсутствием единого высокоточного эталона частоты (времени), необходимого для синхронизации спутниковых временных шкал времени с системным временем на Земле, определяет ошибки транзитного времени сигнала.

На сегодняшний день в эксплуатации находятся такие системы, как GPS, ГЛОНАСС, Galileo, а Beidou, IRNSS, QZSS – в процессе разработки. Актуальная информация о СНС рассматривается по следующему параметрам: 1. Положение и работа системы на околоземной орбите. 2. Структура наземного сегмента. 3. Диапазон рабочих сигналов. 4. Преимущества, недостатки и тенденции в области спутниковой навигации.

Первой из зарубежных разработок в области позиционирования объектов на земной поверхности была американская Global Positioning System (GPS), разработанная и реализованная по заказу Министерства Обороны Соединенных Штатов. Универсальность СНС GPS в её прак-

точности определять геопозицию и скорость объектов в любой точке Земной поверхности и при любых погодных условиях, а также в космическом пространстве вблизи планеты. При хорошей видимости космических аппаратов (КА), точность современных GPS – приёмников в горизонтальной плоскости составляет примерно 1-2 метра. Основой системы является движение по 6 круговым орбитальным траекториям под углом –  $55^\circ$  на высоте примерно 20180 км. Всего задействовано 32 НКА (навигационных космических объекта), 31 из которых находится на орбите как показано на рис. 1.

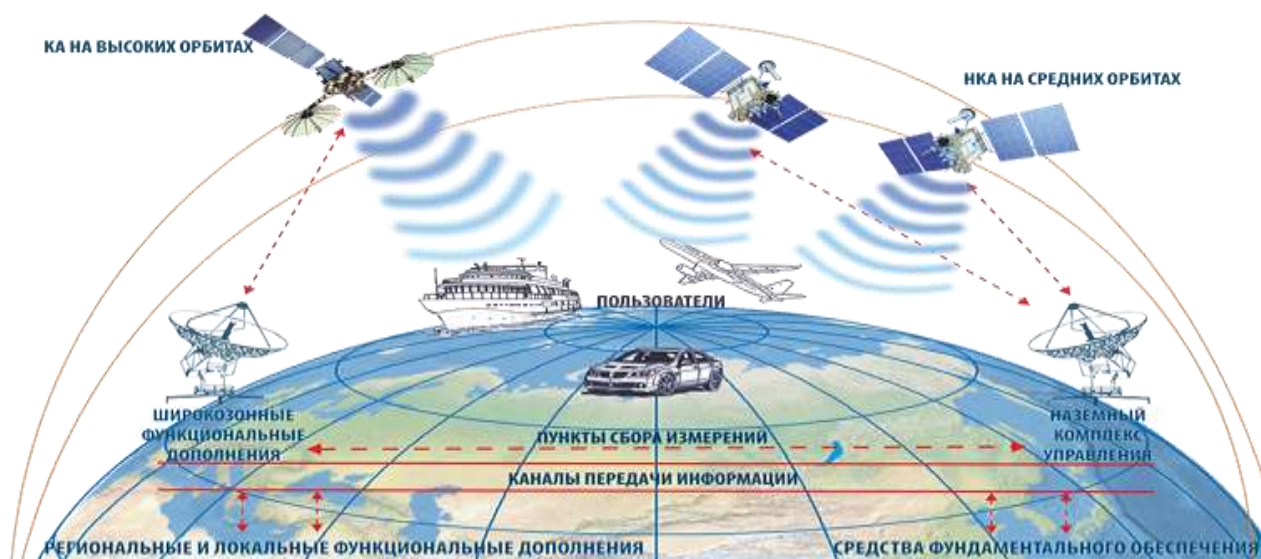


**Рис. 1. Расположение спутников GPS на орбитах**

Наземный сегмент системы GPS – пять контрольных станций и одна станция управления, расположенные на военных базах США. Несколько государственных и частных сетей слежения, выполняющих измерения навигационных сигналов для уточнения траекторий движения космических аппаратов и параметров атмосферы, применяются в качестве дополнения к основным. Спутники излучают открытые для использования сигналы в диапазонах:  $L1 = 1575,42$  МГц и  $L2 = 1227,60$  МГц. Преимущество системы GPS в использовании сигнала в диапазоне  $L5 = 1176,45$  МГц. Данный сигнал применяется в критических ситуациях, его называют *safety of life* (охрана жизни человека). К недостатками системы можно отнести её неточность позиционирования – от 1 до 2 метров. Тенденцией в области

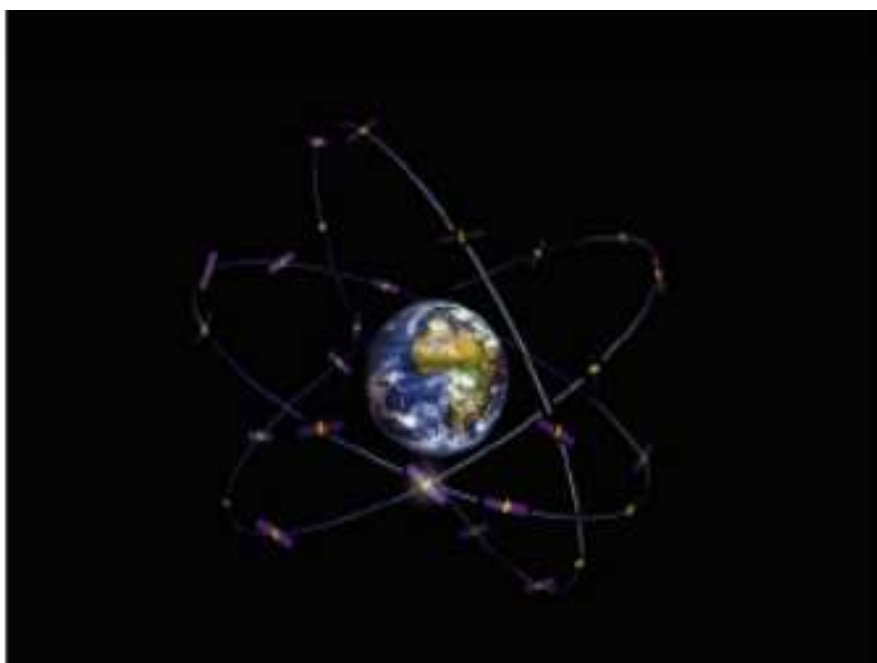
спутниковой навигации является увеличивающие точности GPS, за счёт работы передатчиков, покрывающих «всю территорию что, в свою очередь, может быть улучшено при помощи системы дифференциальной коррекции...» [7], а именно, при внедрении в систему дифференциальных поправок.

Одной из важнейших СНС считается Global Navigation Satellite System (Glonass) или ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), изобретённой ещё в СССР. Она разрабатывалась по заказу Министерства Обороны и была предназначена для оперативной глобальной навигации наземных передвигающихся объектов. Космический сегмент ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, расположенных в трех плоскостях по 8 спутников в каждой с высотой орбиты 19 100 км и наклоном –  $64,8^\circ$  и в каждой плоскости находится один резервный спутник. Наземный сегмент состоит из космодрома, командно - измерительного комплекса и центра управления. Принцип работы системы ГЛОНАСС отображён на рис. 2. Космические аппараты излучают открытые для использования сигналы в диапазонах: L1 = от 1570 до 1610 МГц и L2 = от 1235 до 1257 МГц [8].



**Рис. 2. Принцип работы системы ГЛОНАСС**

Преимуществами ГЛОНАСС являются новые навигационные сигналы в формате CDMA (Code Division Multiple Access - множественный доступ с кодовым разделением). Недостатками системы можно считать неточность позиционирования – погрешность до 6 метров, увеличенное время получения координат. Тенденцией в спутниковой системе ГЛОНАСС стал выпуск «Глонасс-К», оборудованный усовершенствованными атомными часами и передатчиками сигналов L1/L2 с кодовым разделением. За счёт добавления CDMA сигнала в диапазоне L3, точность навигационных определений повышается вдвое по сравнению со спутниками «Глонасс-М».



**Рис. 3. Орбитальная группировка Galileo**

Что касается следующей спутниковой системы, это – Galileo (Галилео). СНС создана по инициативе Европейской Комиссии и Европейского Космического Агентства. СНС Galileo состоит из 24 операционных и 6 резервных космических аппаратов. Спутники находятся на орбитах на высоте 23222 км, обращаются в трех плоскостях, наклонённых под углом  $56^\circ$ . Орбитальная группировка спутниковой системы Galileo показана на рис. 3. В состав наземного комплекса управления входят два независи-

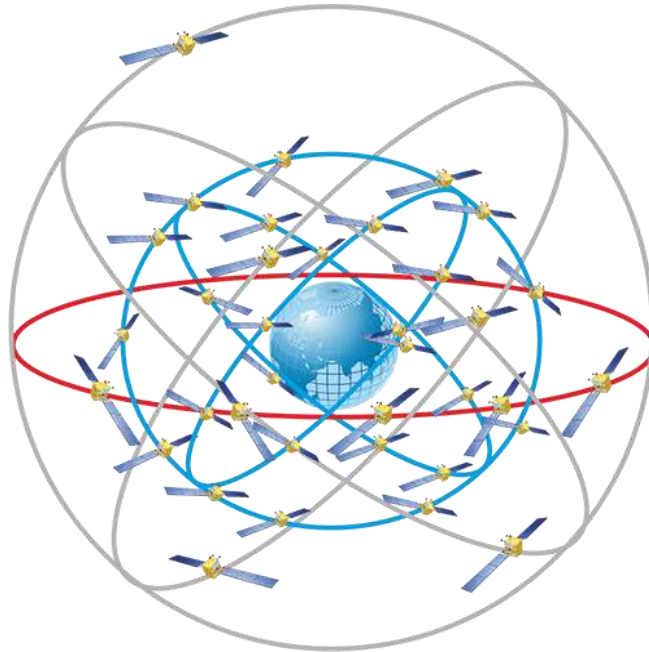
мых контура: контур управления космическими аппаратами (Ground Control Segment – GCS); контур эфемеридно-временного обеспечения (Ground Mission Segment – GMS) [9].

Система использует три диапазона частот: E5 – несущая частота 1191,795 МГц, E6 – несущая частота 1278,750 МГц, E1 – несущая частота 1575,420 МГц.

Преимуществом системы является не только автономность, но и полное завершение системы в 2019-2020 году запуском 27 рабочих и 3 запасных спутников. К недостатками системы можно отнести её незавершённость. Тенденцией системы Galileo является внедрение коммерческой службой (англ. Commercial Service) кодированного сигнала, позволяющего обеспечить точность позиционирования до 10 см. Такая точность является результатом использования двух дополнительных сигналов (в диапазоне E6 = 1260-1300 МГц).

Совсем молодая, но стремительно развивающаяся – Китайская система Beidou (Бейдоу). Она состоит из двух отдельных групп спутников. Первая группа Beidou-1, официально названная как Экспериментальная спутниковая навигационная система, запущенная в ограниченном тестовом режиме. Предоставляет услуги спутниковой навигации потребителям в Китае и соседних регионах. Зона обслуживания – 55° с.ш. – 55° ю.ш. и 55° в.д. – 180° в.д., таким образом, работает в режиме обслуживания региональных потребителей. Наземный сегмент состоит из центральной станции управления и трёх станций радиолокации. Система обеспечивает точность определения местоположения не более 100 метров, но при использовании дифференциальных методов разброс может быть уменьшен до 20 метров. Beidou – 1 может работать одновременно со ста пятидесятью терминалами. Способ работы требует наличия двусторонней связи с геостационарными спутниками и терминала пользователя с мощной антенной [10-12].

Вторая группа Бэйдоу – 2, также известная как COMPASS (Компас), находится в стадии создания. Навигационная система была запущена для Азиатско-Тихоокеанского региона. Из выведенных на орбиту 16-ти спутников, задействованы 11, а остальные пять выполняют резервную функцию (см. рис. 4).

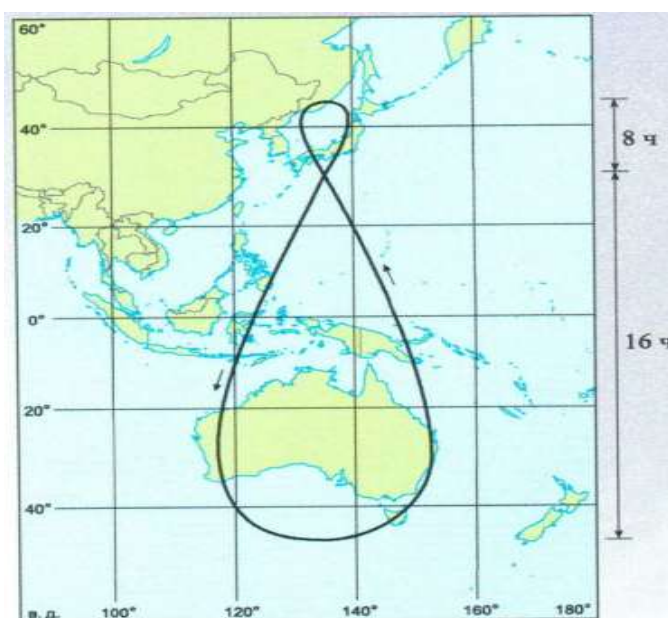


**Рис. 4. Размещение спутников СНС Beidou**

Согласно, государственной программе, к 2020 году Beidou – 2 полностью развернёт работу системы, увеличив количество спутников до 35. Для пяти спутников на геостационарной орбите зарезервированы точки стояния  $58^{\circ}75'$  в.д.,  $80^{\circ}$  в.д.,  $110^{\circ}5'$  в.д.,  $140^{\circ}$  в.д. и  $160^{\circ}$  в.д. На средней круговой орбите будут располагаться 27 КА на высоте 21500-21528 км с наклоном  $55^{\circ}$  и периодом обращения 12 ч 53 мин. На геосинхронных наклонных высоких орбитах на высоте 35786 км будет выведено 3 КА. Что касается, подспутниковых точек, то они будут двигаться на поверхности Земли по одной трассе в форме восьмёрки, ось симметрии которых будет расположена на долготе  $118^{\circ}$ .

Китайская спутниковая система работает на частотах сигнала:  $B1 = 1575,42$  МГц,  $B2 = 1191,79$  МГц и  $B3 = 1268,52$  МГц. К преимуществам

данной системы следует отнести её потенциал и стремительное развитие. Планируется увеличивать количество спутников вплоть до 2020 года и, когда система заработает в полную мощность, то будет предоставлять два вида региональных и два вида глобальных услуг. Широкозонная дифференциальная коррекция и передача коротких сообщений будут представлены региональными услугами. К глобальным будут относиться услуги с открытым и санкционированным доступом. Недостатком Beidou – 2 является её незавершенность. Отличительной особенностью китайской спутниковой системы является точность позиционирования до одного метра.



**Рис. 5. Подспутниковая трасса квазизенитных КА системы QZSS**

Не уступает место в космических инновациях и Япония со своими спутниковыми технологиями. Квазизенитная спутниковая система, так называемая, The Quasi-Zenith System (QZSS) – проект регионального космического позиционирования и навигации, предназначенный для обслуживания потребителей в Тихоокеанском Азиатском регионе (см. рис. 5). Система была сформирована таким образом, чтобы в любой момент времени спутник находился вблизи точки зенита над территорией Японии, причём угол места НКА составлял бы минимум  $60^\circ$ . Космические



аппараты находятся на трёх эллиптических геосинхронных орбитах, наклоненных под углом  $43^{\circ} \pm 4^{\circ}$  к экватору в трёх орбитальных областях. При этом орбитальные плоскости разнесены на  $120^{\circ}$ , в [13] результате каждый из спутников находится над территорией Японии более 8 часов в день. Наземный сегмент управления японской СНС QZSS [14] включает в себя: главную станцию управления, находящуюся на территории Японии (Окинава); командно-измерительные телеметрические станции; станции закладки информации на борт спутников. На этапе запуска и орбитальных проверок планируется задействовать восемь глобально распределенных станций. На этапе эксплуатации одна станция на территории Японии; сеть станций мониторинга: четыре станции на территории Японии Окинава, Коганей, Соя и острова Огасавакра, а также пять станций за пределами Японии в Бангалоре, Бангкоке, Канберре, на Гавайских островах, на острове Гуам; кроме того планируется привлекать три станции мониторинга системы GPS; пункт лазерной дальнометрии; станция управления временем. Считают, что сигналы, излучаемые спутниками QZSS, будут полностью совместимы с сигналами GPS.

Небольшая масса и невысокая стоимость изготовления и запуска спутников являются значительными преимуществами системы QZSS. Также, увеличение до четырёх КА к 2018 году, три НКА предполагается разместить на квазизенитных орбитах, а один – на геостационарной орбите, с возможностью последующего расширения группировки до семи космических аппаратов. Уже к 2023 году с учётом имеющихся семи спутников появится возможность полностью отказаться от услуг GPS. Ведь предполагаемая погрешность при позиционировании будет всего три сантиметра. У GPS она составляет порядка 10 метров. Следует отметить, что ограниченная точность и отсутствие работы в автономном режиме могут быть недостатками системы. Тенденцией в области японской спутниковой системы является комбинирование системы GPS и

QZSS для улучшения производительности благодаря выбору диапазона [15] коррекционных данных, передаваемых по сигналам L1-SAIF и L6 (LEX) с QZC. Благодаря этому, появляется возможность надёжной защиты сигналов от помех.

Проектом, разработанным Индийским управлением космических исследований для предоставления услуг координатно - временного и навигационного обеспечения, считается Индийская региональная спутниковая система «Indian Regional Navigation Satellite System» (IRNSS). Штатная орбитальная группировка навигационной спутниковой системы состоит из семи спутников. Причём три находятся на геостационарной орбите в орбитальных позициях  $34^\circ$  в.д.,  $83^\circ$  в.д. и  $131,5^\circ$  в.д., а четыре КА на наклоненных орбитах с параметрами наклоном  $29^\circ$ , два из них пересекают плоскость экватора в точке  $55^\circ$ , а другие два – в точке  $111,5^\circ$  в.д. Такая конфигурация группировки [16] спутников позволяет покрывать всю материковую часть Индии и территорию, простирающуюся на 1500 км за её пределами, в том числе большую часть бассейна Индийского океана. Схема развертывания IRNSS отображена на рис. 6.



**Рис. 6. Схема развертывания IRNSS**

Наземный сегмент состоит из 16 базовых станций мониторинга целостности и сбора информации, а именно – четырёх базовых станций мониторинга целостности и сбора измерений, центра управления ИКА, центра синхронизации системы, навигационного центра системы IRNSS. Они равномерно распределены по всей территории Индии. Преимуществом IRNSS от остальных СНС является передача навигационных сигналов в следующих диапазонах: L5 (1164,45-1188,45 МГц) и S (2483,5-2500 МГц), в которых передаются два сигнала: стандартной точности и с санкционированным доступом. Также система использует гибридную структуру навигационного сообщения, состоящего из четырёх кадров, включающих информацию в фиксированном формате для передачи первичных параметров. В гибком формате передаются параметры ионосферной сетки, текстовые сообщения, дифференциальные поправки и т.д.

Поскольку точность позиционирования составляет 20 м для региона Индийского океана, 1500 км вокруг Индии и 10 м по Индии и территории ближайших государств, охваченных данной системой, то это можно отнести к недостаткам данной системы. Что касается тенденций, то система является первой независимой СНС, предоставляющей потребителям с одночастотной аппаратурой ионосферные поправки на основе параметром ионосферной точечной сетки, обеспечивая точность местоположения потребителя, сопоставимую при использовании двухчастотной аппаратуры.

Подводя итоги, хочется отметить, что за последние несколько лет, спутниковая навигация значительно шагнула вперед. Увеличилась точность позиционирования и время эксплуатации космических объектов на орбитах. Американская система GPS с дифференциальными поправками WAAS остаётся одной из точных современных СНС. Россия не уступает и модернизирует свою систему, которая в скором времени обгонит США. Что касается, Европейской системы – Galileo, то она также пре-

успевает в данной области, расширяя свою спутниковую группировку. Также хочется отметить стремительный рост Китайской Beidou, совершившей прогресс в области спутниковой навигации в течение последних нескольких лет. Всё вышеперечисленное прямо отражается на качестве судоходства.

Точность определения местоположения судна - основная составляющая безопасности и гарантии качественной работы штурмана, доставки груза в точные сроки. Несмотря на все инновации в спутниковой геолокации, остаётся вопрос точности позиционирования. Однако, «... проблема глобальной системы навигации наземного базирования, фактически лишенной коренных недостатков спутниковых систем, может быть успешно решена лишь совместными усилиями ряда государств...» [17].

#### **Список использованных источников**

1. Аванесова Т.П., Язов Д.В., Меланич А.В. Способ решения проблемы уменьшения влияния человеческого фактора при расхождении судов в море // Вестник АГУ. 2014. Вып. № 1 (133). С. 123.
2. URL: [http://c-i-systems.com/about\\_glonass/what\\_is\\_glonass](http://c-i-systems.com/about_glonass/what_is_glonass)
3. Пятковский Ю. Спутниковая навигация: GPS, ГЛОНАСС и другие от 23.10.2013 URL: <http://itc.ua/articles/sputnikovaya-navigatsiya-gps-glonass-i-drugie>
4. Песков Ю.А. Морская навигация с ГЛОНАСС / GPS. Учебное пособие для вузов + CD. 2010. С. 34.
5. Европейская спутниковая навигационная система Galileo начала свою работу. Правда с ограничениями от 16.12.2016 URL: <http://neftegaz.ru/news/view/156718-Evropeyskaya-sputnikovaya-navigatsionnaya-sistema-Galileo-nachala-svoyu-rabotu.-Pravda-s-ogranicheniyami>
6. Кульнев В., Михайлов С. Анализ направлений состояния разработок функциональных дополнений спутниковых радионавигационных си-

- стемам. Продолжение Вып. № 4 2016 URL: [http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2006\\_4\\_64.php](http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2006_4_64.php)
7. Боран-Кешишьян, А.Л., Кобец, Н.М. Сопоставление текущих координат судна по одновременным данным с двух апи срнс применительно к концепции удаленного навигационного контроля // Transport Business in Russia Транспортное дело России. М., 2016. Вып. № 3 (124). С. 118.
  8. Кобец, Н.М. Достоверность электронных навигационных карт // Бюллетень транспортной информации. 2015. Вып. № 6 (240). С. 34-38.
  9. URL: <http://www.glonass-expert.ru/products/monitoring-transporta>
  10. URL: <http://expert.ru/2017/05/30/sputnikovaya-navigatsionnaya-sistema-glonass-osnovnyie-osobennosti>
  11. URL: <http://www.kakras.ru/doc/glonass-gps-galileo.html>
  12. URL: <http://www.itob.ru/blog/itob/chto-luchshe-glonass-gps-ili-galileo>
  13. Др. Н. Дэвис Растущая угроза для ГНСС и как с этим быть (пер. публикации журнала «The Engineer») / перевод статьи доктора Найдже-ла Дэвиса в журнале «The Engineer» от 28.12.2016 URL: <http://seacom.ru/dokumentacija/11244>
  14. URL: [en.beidou.gov.cn](http://en.beidou.gov.cn)
  15. URL: <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/beidou.php>
  16. URL: <https://iot.ru/wiki/beidou>
  17. URL: <http://ppcmnic.ru/gnss/qzss>
  18. Плонский А.Ф., Плонская Т.В., Боран-Кешишьян А.Л. «Чёрные дыры» спутниковых систем // Омский научный вестник. 2013. № 2 (120). С. 317.