

УДК 373.31:378.14:376.3

## **СОВРЕМЕННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ СУДОВОДИТЕЛЕЙ**

**Сокол И.В.**

**Херсонский государственный морской институт**

*В статье рассматривается область использования и принцип действия существующих на сегодняшний день спутниковых систем навигации и применение их в современном судовождении, а так же в процессе подготовки судоводителей.*

**Ключевые слова:** GPS, NAVSTAR, DGPS, ГЛОНАСС, Бэйдоу, Galileo, IRNSS, спутниковая система навигации, место нахождения судна.

Одним из направлений подготовки будущих судоводителей является формирование информационной компетентности, наличие которой предполагает знание основных возможных источников информации о месте положения судна, умений обрабатывать ее и использовать для определения курса судна, а также оперативной корректировки траектории движения судна, как в обычных, так и в экстремальных условиях. Сегодня в число новых источников важной для судоводителей информации входят современные спутниковые системы навигации. Изучение особенностей их устройства и радиуса действия – важный аспект подготовки курсантов морских учебных заведений к будущей профессии.

Цель нашей статьи состояла в освещении области применения и принципа действия существующих спутниковых систем навигации, а также раскрытии возможности их использования при подготовке будущих судоводителей.

В число заданий исследования вошли:

- изучение истории развития навигационной техники как необходимого элемента судовождения;
- изучение области применения и принципа работы спутниковых систем навигации;
- выявление особенностей и отличий спутниковых систем навигации разных стран;
- определение возможностей использования спутниковых систем навигации в подготовке будущих судоводителей.

Изучение литературы по теме исследования [1, 2, 3] позволило установить, что в древности мореплаватели ориентировались в основном по звёздам, полагаясь исключительно на остроту зрения. Со временем арсенал навигационных приборов пополнили лаглинь, лотлинь, буссоль, компас и хронометр. Затем изобрели астролябию и квадрант. В 1699 году Исаак Ньютон разработал теорию оптического угломерного инструмента – секстана – прибора для измерения угловых координат небесных тел, который был сконструирован в 1730 году американцем Годфреем и независимо в 1731 году англичанином Годлеем [4]. Благодаря изобретению секстана точность определения места нахождения судна в море значительно возросла, а, следовательно, возросла безопасность мореплавания – сохранность человеческой жизни и груза в море. Точность определения места судна в море по небесным светилам для скоростей движения судов в XVIII веке была более чем достаточной.

Совершенствуясь, мировой флот требовал более точных средств определения местоположения, поэтому в середине XX века были разработаны радионавигационные системы, позволяющие определять место судна с точностью достаточной для скоростей развиваемых современными судами. Первой такой радионавигационной системой стала LORAN-A (LORAN – Long Range Navigation). Для определения положения судна с помощью

этой системы требовалось несколько береговых станций, которые передавали сигналы через определённые промежутки времени. На судах их принимали и по разнице времени прохождения сигнала определяли координаты судна.

Из радионавигационных систем в практике мореплавания наиболее широко применялась импульсно-фазовая разностно-дальномерная система LORAN-C и отличающаяся более низкими частотами (и, соответственно, большей дальностью) OMEGA. Однако, применение этих систем в открытом океане не представлялось возможным. Поэтому основной сферой их применения стало позиционирование судов в прибрежных водах [2].

Для неограниченного района плавания необходимо было создать систему позволяющую определять место судна в любой точке земного шара.

Идея создания спутниковой навигации родилась в 50-е годы. В тот момент, когда в СССР был запущен первый спутник, американские учёные во главе с Ричардом Кершнером, наблюдали сигнал, исходящий от советского спутника и обнаружили, что частота принимаемого сигнала увеличивается при приближении спутника и уменьшается при его отдалении. Открытие заключалось в том, что если точно знать свои координаты на Земле, то становится возможным измерить положение и скорость спутника, и наоборот, точно зная положение спутника, можно определить собственную скорость и координаты [3].

Спутниковая система навигации – комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты), а также параметров движения (скорости, направления, динамика движения и т. д) для наземных, водных и воздушных объектов [1].

Основные элементы спутниковой системы навигации включают:

- космический сегмент, состоящий из нескольких (от 2 до 30) спутников, излучающих специальные радиосигналы;
- наземную систему управления и контроля, включающие блоки измерения текущего положения спутников и обмена информацией для корректировки их положения;
- приёмное клиентское оборудование, используемое для определения координат движущегося объекта;
- наземную систему синхронизирующих радиомаяков, позволяющую значительно повысить точность определения координат;
- информационную радиосистему для передачи пользователям поправок, позволяющих значительно повысить точность определения координат.

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от излучателя на объекте (координаты которого необходимо получить) до приемника спутников, положение которых известно с большой точностью. В памяти приёмника сохраняется специальная таблица положений всех спутников – альманах. Альманах записан во всех спутниковых приёмниках, и приёмник мгновенно его использует до начала измерения, если альманах не устарел со времени последнего выключения приемника. Каждый спутник передаёт в своём сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений, на основе альманаха, можно вычислить положение объекта в пространстве.

Метод измерения расстояния спутника до антенны приёмника основан на определённости скорости распространения радиоволн. Для осуществления возможности измерения времени распространяемого радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени, в составе своего сигнала используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приёмника его часы синхронизируются с системным временем и при дальнейшем приёме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приёма сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приёмник вычисляет координаты антенны. Дополнительно накапливая и обрабатывая эти данные за

определённый промежуток времени, становится возможным вычислить такие параметры движения, как скорость (текущую, максимальную, среднюю), пройденный путь и т. д.

Для работы спутниковой системы навигации необходимо учитывать:

- неоднородность гравитационного поля Земли, влияющая на орбиты спутников;
- неоднородность атмосферы, из-за которой скорость и направление распространения радиоволн может меняться в определённых пределах;
- отражения сигналов от наземных объектов;
- невозможность разместить на спутниках передатчики большой мощности, из-за чего приём их сигналов возможен только в прямой видимости на открытом пространстве.

В настоящее время работают или готовятся к развёртыванию следующие системы спутниковой навигации:

**1. GPS** (англ. Global Positioning System – глобальная система позиционирования) – спутниковая система навигации, которая позволяет в любом месте Земли (не включая приполярные области), почти при любой погоде, а также в космическом пространстве вблизи планеты определить местоположение и скорость объектов. Принадлежит Министерству обороны США, что считается другими государствами её главным недостатком. Эта система также известна под более ранним названием NAVSTAR. Сегодня это единственная полностью работающая спутниковая навигационная система.

Первоначально GPS разрабатывалась как военный проект. Но после того как в 1983 году был сбит вторгшийся в воздушное пространство Советского Союза самолёт Корейских Авиалиний с 269 пассажирами на борту, президент США Рональд Рейган разрешил частичное использование этой системы навигации для гражданских целей. Во избежание применения системы для военных нужд точность позиционирования была уменьшена специальным алгоритмом.

Основой системы GPS являются навигационные спутники, движущиеся вокруг Земли по 6 круговым орбитальным траекториям (по 4 спутника в каждой), на высоте примерно 20180 км. 24 спутника обеспечивают 100% работоспособность системы в любой точке земного шара, но не всегда могут обеспечить уверенный приём и хороший расчёт позиции. Поэтому, для увеличения точности позиционирования и резерва на случай сбоев, общее число спутников на орбите поддерживается в большем количестве (в марте 2010 года 31 аппарат).

Слежение за орбитальной группировкой осуществляется с главной контрольной станции, расположенной на авиабазе ВВС США Schriever (штат Колорадо), и с помощью 10 станций слежения, из них три станции способны посылать на спутники корректировочные данные в виде радиосигналов с частотой 2000-4000 МГц. Спутники последнего поколения распределяют полученные данные среди других спутников.

Несмотря на то, что изначально проект GPS был направлен на военные цели, сегодня GPS всё чаще используется в гражданских целях. GPS-приёмники продают во многих магазинах, торгующих электроникой, их встраивают в мобильные телефоны, смартфоны, КПК и онбордеры. Потребителям также предлагаются различные устройства и программные продукты, позволяющие видеть своё местонахождение на электронной карте, прокладывать маршруты с учётом дорожных знаков, разрешённых поворотов и автомобильных пробок, искать на карте конкретные дома и улицы, автозаправки и прочие объекты.

Типичная точность современных GPS-приёмников в горизонтальной плоскости составляет примерно 10-12 метров при хорошей видимости спутников. На территории США и Канады имеются станции WAAS, передающие поправки для дифференциального режима, что позволяет снизить погрешность до 1-2 метров на территории этих стран. При использовании более сложных дифференциальных режимов, точность определения координат можно довести до 10 см. К сожалению, точность любой спутниковой навигационной системы сильно зависит от открытости пространства, от высоты используемых спутников над горизонтом.

Общим недостатком использования любой радионавигационной системы является то, что при определённых условиях сигнал может не доходить до приёмника или приходиться со значительными искажениями или задержками. Например, практически невозможно определить своё точное местонахождение в глубине квартиры внутри железобетонного здания, в подвале или в тоннеле. Так как рабочая частота GPS лежит в дециметровом диапазоне радиоволн, уровень приёма сигнала от спутников может серьёзно ухудшиться под плотной листвой деревьев или из-за очень большой облачности. Нормальному приёму сигналов GPS могут повредить помехи от многих наземных радиоисточников а также от магнитных бурь.

Невысокое наклонение орбит спутников GPS (примерно  $55^\circ$ ) серьёзно ухудшает точность в приполярных районах Земли, так как спутники GPS невысоко поднимаются над горизонтом.

Существенной особенностью GPS является полная зависимость от получения сигналов Министерства обороны США, которое решило начать полное обновление этой системы. Оно было запланировано достаточно давно, но начать реализовывать этот проект удалось только сейчас. В ходе обновления старые спутники заменят на новые, которые разработаны и произведены компаниями Lockheed Martin и Boeing. Они смогут обеспечивать точность позиционирования с погрешностью 0,5 метра.

DGPS (англ. Differential Global Positioning System) – дифференциальная система GPS. DGPS сервис, обеспечивающий получение дополнительных дифференциальных поправок, уточняющих местоположение GPS приёмника. DGPS используется для исключения атмосферных искажений сигнала на приёмниках. Сигналы DGPS-коррекции посылают пользователям по радио. Основные источники сигналов DGPS – это радионавигационные маяки и спутники на геостационарной орбите. Сигналы дифференциальной коррекции от радиомаяков передаются на средних частотах (283,5-325 кГц). Радиосигналы на этих частотах подвержены отражению от земной поверхности. Поэтому холмистая и горная местность обычно не влияет на приём сигнала. Однако в глубоких каньонах далеко от радиомаяка, где радиосигналы традиционно слабы, сигналы коррекции могут быть и не приняты.

Европейская DGPS-сеть была разработана в основном финскими и шведскими морскими администрациями в целях повышения безопасности на архипелаге между двумя странами.

США NDGPS охвачены только в прибрежных водах, в районе Великих озёр и реки Миссисипи на внутренних водных путях.

Канадская сеть DGPS аналогична системе США и в первую очередь предназначена для использования на море. Охватывает Атлантическое и Тихоокеанское побережье, а также район Великих озёр и реку Святого Лаврентия.

**2. ГЛОНАСС.** ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система (ГЛОНАСС) – советская и российская спутниковая система навигации, разработана по заказу Министерства обороны СССР. Одна из двух функционирующих на сегодня систем глобальной спутниковой навигации. Основой системы должны являться 24 спутника, движущихся над поверхностью Земли в трёх орбитальных плоскостях с наклоном орбитальных плоскостей  $64,8^\circ$  и высотой 19100 км.

В настоящее время развитием проекта ГЛОНАСС занимается Федеральное космическое агентство (Роскосмос) и ОАО «Российские космические системы». Принадлежит Министерству обороны России. Находится на этапе повторного развёртывания спутниковой группировки (оптимальное состояние орбитальной группировки спутников, запущенных в СССР, было в 1993-1995 гг.).

Первый спутник ГЛОНАСС был выведен Советским Союзом на орбиту 12 октября 1982 года. 24 сентября 1993 года система была официально принята в эксплуатацию с орбитальной группировкой из 12 спутников. В декабре 1995 года спутниковая группировка была развернута до штатного состава – 24 спутника.

Вследствие недостаточного финансирования, а также из-за малого срока службы, число работающих спутников сократилось к 2001 году до шести.

В августе 2001 года была принята федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система», согласно которой полное покрытие территории России планировалось уже в начале 2008 года, а глобальных масштабов система достигла бы к началу 2010 года. Для решения данной задачи планировалось в течение 2007, 2008 и 2009 годов произвести шесть запусков ракетополетителей и вывести на орбиту 18 спутников. Таким образом к концу 2009 года группировка вновь насчитывала бы 24 аппарата.

Однако из-за сложившихся финансовых и экономических проблем полное созвездие спутников было запущено только 2 сентября 2010 года и общее количество спутников в группировке доведено до 26.

В настоящее время точность определения координат системой ГЛОНАСС несколько отстаёт от аналогичных показателей для GPS.

Согласно данным на 29 марта 2010 года ошибки навигационных определений ГЛОНАСС по долготе и широте составляли 4,46-8,38 м при использовании в среднем 7-8 космических аппаратов (в зависимости от точки приёма). В то же время ошибки GPS составляли 2,00-8,76 м при использовании в среднем 6-11 космических аппаратов (в зависимости от точки приёма).

При совместном использовании обеих навигационных систем ошибки составляют 2,37-4,65 м при использовании в среднем 14-19 космических аппаратов (в зависимости от точки приёма).

При этом использование обеих навигационных систем уже сейчас даёт существенный прирост точности. Европейский проект EGNOS, использующий сигналы обеих систем, даёт точность определения координат на территории Европы на уровне 1-3 метров.

При совместном использовании ГЛОНАСС и GPS в совместных приёмниках (практически все ГЛОНАСС приёмники являются совместными) точность определения координат практически всегда «отличная» вследствие большого количества видимых космических аппаратов и их хорошего взаимного расположения.

**3. Бэйдоу.** Развёртываемая в настоящее время Китаем подсистема GNSS предназначена для использования только в этой стране. Название Бэйдоу переводится как «Северный ковш» – и происходит от китайского названия созвездия «Большой медведицы» которое издревле использовалось китайцами для определения местонахождения Полярной звезды.

Первая Бэйдоу официально называвшаяся «экспериментальной», или «Бэйдоу-1», состоит из трёх спутников и имеет ограниченную зону покрытия и возможности применения. Она обеспечивала навигационными услугами пользователей внутри Китая и приграничных территорий с 2000 года.

Бэйдоу второго поколения, или «Бэйдоу-2», официально называемая также «Навигационная система Компас», на данный момент имеет 5 спутников, и будет предлагать свои услуги потребителям в Азиатско-тихоокеанском регионе в 2012 году. Полная группировка спутников для покрытия всего земного шара в числе 35 будет выведена к 2020 году.

Китайское национальное космическое управление планирует развернуть навигационную систему «Бэйдоу» в три этапа.

- 2000-2003годы: экспериментальная система Бэйдоу из трёх спутников.
- к 2012 году – региональная система для покрытия территории Китая и прилегающей территорий.
- к 2020 году – глобальная навигационная система.

**4. Galileo.** Европейская спутниковая система навигации, находящаяся на этапе создания спутниковой группировки.

Галилео (Galileo) – совместный проект спутниковой системы навигации Европейского союза и Европейского космического агентства, является частью транспортного проекта

Трансъевропейские сети (англ. Trans-European Networks). Система предназначена для решения навигационных задач для любых подвижных объектов с точностью менее одного метра. Ныне существующие GPS-приёмники не смогут принимать и обрабатывать сигналы со спутников Галилео, хотя достигнута договорённость о совместимости и взаимодополнении с системой NAVSTAR GPS третьего поколения.

Помимо стран Европейского союза достигнуты договорённости на участие в проекте с государствами – Китай, Израиль, Южная Корея, Украина и Россия. Кроме того, ведутся переговоры с представителями Аргентины, Австралии, Бразилии, Чили, Индии, Малайзии. Ожидается, что «Галилео» войдёт в строй в 2014-2016 годах, когда на орбиту будут выведены все 30 запланированных спутников (27 операционных и 3 резервных). Компания Arianespace заключила договор на 10 ракет-носителей «Союз» для запуска спутников начиная с 2010 года. Космический сегмент будет дополнен наземной инфраструктурой, включающей в себя три центра управления и глобальную сеть передающих и принимающих станций.

В отличие от американской GPS и российской ГЛОНАСС, система Галилео не контролируется национальными военными ведомствами, однако, в 2008 году парламент ЕС принял резолюцию «Значение космоса для безопасности Европы», согласно которой допускается использование спутниковых сигналов для военных операций, проводимых в рамках европейской политики безопасности. Разработку осуществляет Европейское космическое агентство.

Первый опытный спутник системы Галилео GIOVE-A (англ.) был доставлен на космодром Байконур 30 ноября 2005 года. 28 декабря 2005 года в 8:19 с помощью ракеты-носителя «Союз-ФГ» космический аппарат GIOVE-A был выведен на расчётную орбиту высотой более 23000 км с наклоном 56°. Основная задача GIOVE-A состояла в испытании дальномерных сигналов Галилео на всех частотных диапазонах. Спутник создавался в расчете на 2 года активного экспериментирования, которое и было успешно завершено примерно в расчетные сроки. Передача сигналов по состоянию на апрель 2009 года еще продолжалась.

Второй опытный спутник системы Галилео GIOVE-B был запущен 27 апреля 2008 года и начал передавать сигналы 7 мая 2008 года. Основная задача GIOVE-B состоит в тестировании передающей аппаратуры, которая максимально приближена к будущим серийным спутникам. GIOVE-B – первый спутник, в котором в качестве часов используется водородный мазер.

Оба спутника GIOVE предназначены для проведения испытаний аппаратуры и исследования характеристик сигналов. Для систематического сбора данных измерений усилиями Европейского космического агентства была создана всемирная сеть наземных станций слежения.

Третий этап состоит в выводе на орбиты четырёх спутников Galileo IOV (in-orbit validation), которые, будучи запущенными парами, не ранее августа-октября 2011 года создадут первое мини-созвездие Galileo. Запуски состоятся с помощью ракеты «Союз-СТБ» с космодрома в Куру. Спутники будут расположены на круговых орбитах на высоте порядка 23 тыс. км.

Система Galileo будет обеспечена приёмом сигналов бедствия и позиционирования места бедствия с возможностью получения на месте бедствия ответа от спасательного центра. Система должна дополнить, а затем и заменить ныне существующую КОСПАС/САРСАТ (спутниковая система, разработанная для оповещения о бедствии и местоположении координат персональных радиобуев и радиобуев, установленных на судах и самолётах в случае аварийных ситуаций). Преимуществом системы над последней является более уверенный приём сигнала бедствия вследствие большей близости к земле и геостационарного положения спутников. Система разработана в соответствии с директивами Международной морской организации (ИМО) и должна быть включена в Глобальную морскую систему связи при бедствиях и для обеспечения безопасности мореплавания

(ГМССБ).

**IRNSS.** Индийская навигационная спутниковая система находится сегодня в состоянии разработки. Предполагается для использования только в этой стране. IRNSS будет обеспечивать только региональное покрытие самой Индии и частей сопредельных государств. Первый спутник был запущен в 2008 году.

Спутниковая группировка IRNSS будет состоять из семи спутников на геосинхронных орбитах. Причем четыре спутника из семи в IRNSS будут размещены на орбите с наклоном в  $29^\circ$  по отношению к экваториальной плоскости. Все семь спутников будут иметь непрерывную радиовидимость с Индийскими управляющими станциями.

Земной сегмент IRNSS будет иметь станцию мониторинга, станцию резервирования, станцию контроля и управления бортовыми системами. Государственная компания ISRO является ответственной за развертывание IRNSS, которая будет находиться целиком под контролем Индийского правительства. Навигационные приемники, которые будут принимать сигналы IRNSS, также будут разрабатываться и выпускаться индийскими компаниями.

В процессе подготовки судоводителей учебным планом предусмотрено изучение ряда дисциплин: «Радионавигационные приборы и системы», «Глобальная морская связь для поиска и спасения (GMDSS)», «Навигационные информационные системы», – которые включают в себя изучение использования оборудования спутниковой навигации и позиционирования.

Первоначальные сведения о спутниковых системах навигации курсанты специальности «Судовождение на морских путях» получают во время изучения дисциплины «Радионавигационные приборы и системы», которая рассматривает GPS – единственную полностью работающую на сегодняшний день систему спутниковой навигации. На практических занятиях будущие судоводители обучаются использованию приёмников-индикаторов GPS для определения координат места положения судна, скорости движения судна, истинного курса судна, всемирного времени. Навыки по использованию приёмников-индикаторов GPS курсанты отрабатывают как на программах симуляторах, так и на реально действующем оборудовании.

Используя полученную информацию, решают основные задачи навигации и мореходной астрономии – определение поправки компаса и определение места судна. Использование GPS также позволяет контролировать маршрут движения судна, и в случае отклонения от заданной траектории подачей звукового сигнала сообщать об этом.

Во время изучения учебной дисциплины «Глобальная морская связь для поиска и спасения (GMDSS)» курсанты изучают спутниковые системы, используемые для поиска и спасения человеческой жизни на море. С помощью симуляторов отрабатываются навыки подачи и приема сигналов бедствия и проведения спасательных операций.

Во время изучения дисциплины «Навигационные информационные системы» курсанты отрабатывают навыки работы с программами визуализации движения судна на электронной морской карте и принятии решений о расхождении судов как в узкостях, так и в открытом море с соблюдением Международных правил предупреждения столкновения судов в море. На сегодняшний день используют две системы визуализации морских навигационных карт – это ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), ECS (Electronic Chart System). Информацию о траектории и скорости движения своего судна и других судов системы ECDIS и ECS получают со спутника.

Рассмотренный цикл учебных дисциплин подготовки судоводителей, в которых используются данные, получаемые через спутниковые системы навигации, позволяют обеспечить автоматизацию процесса определения места положения судна и выбора оптимальной прокладки маршрута следования, оперативно реагировать на изменение ситуации, принимать верные решения для выполнения поставленных задач.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. [http://www.mir-forum.ru/catalogue/sistemi/sistemi2/spravka\\_navigat\\_sistem/](http://www.mir-forum.ru/catalogue/sistemi/sistemi2/spravka_navigat_sistem/)
3. <http://glonax.ru/history-gps.html>
4. Сокол И.В., Пятаков Э.Н. Основы мореходной астрономии. – Херсон: "Олди-плюс", 2006. – 209 с.
5. Навчальна програма для ВНЗ I рівня акредитації з навчальної дисципліни «Радіонавігаційні прилади і системи» для спеціальності 5.07010401 «Судноводіння на морських шляхах». – Херсон. МК ВНЗ ХДМІ, 2010 – 11 с.
6. Навчальна програма для ВНЗ I рівня акредитації з навчальної дисципліни «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування (GMDSS)» для спеціальності 5.07010401 «Судноводіння на морських шляхах». – Херсон. МК ВНЗ ХДМІ, 2010 – 15 с.
7. Навчальна програма для ВНЗ I рівня акредитації з навчальної дисципліни «Навігаційні інформаційні системи» для спеціальності 5.07010401 «Судноводіння на морських шляхах». – Херсон. МК ВНЗ ХДМІ, 2010 – 12 с.