

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

УДК 622.271: 658.78

Б. Л. Герике, П. В. Артамонов

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ НАВИГАЦИОННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ – ОТ ПЕРВЫХ СПУТНИКОВ К МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИСПЕТЧЕРЕЗАЦИИ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Инициаторами высокотехнологичных исследований, связанных с созданием и применением спутниковых систем, были военные. Одними из первых опубликованных материалов, направленных на исследования возможности применения искусственных спутников Земли для навигации, являются работы Ленинградской военно-воздушной академии им. А.Ф. Можайского [1]. В течение 1955-1957 гг. проводились исследования перспектив радиоастрономических методов для самолетовождения [2]. Результаты экспериментальных исследований группы ученых под руководством акад. В.А. Котельникова уже в 1957 г. доказали способность установления параметров движения искусственных спутников Земли, с помощью измерений сдвига частоты сигнала, передаваемого спутником в месте приема с известными координатами [3].

Отправной точкой истории создания спутниковых навигационных систем принято считать 4 октября 1957 года - запущен первый искусственный спутник Земли, радиопередатчики которого функционировали две недели после старта [4].

Следя за радиосигналом этого спутника, ученые обнаружили, что частота принимаемого сигнала увеличивается при его приближении и уменьшается при его отдалении. Это эффект Доплера – изменение частоты и длины волн, регистрируемых приёмником, вызванное движением их источника и движением приёмника. Изменение сдвига этой частоты на Земле в точке с известными координатами позволяет отследить параметры движения этого спутника. Практическое применение этого открытия во многом сводится к решению обратной задачи. Зная точное положение спутника, можно определить как собственную скорость, так и координаты объекта.

Работы по созданию радионавигационных спутниковых систем в конце 50-х годов велись параллельно в СССР и США. Американские исследования проводились на базе университета Д. Хопкинса в Мэриленде. Во главе их стоял Ричард Кершнер – директор лаборатории прикладной физики, специализирующейся на разработках ракет ПВО и космических объектов национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (NASA) [5].

Первая низкоорбитальная навигационная система «Transit» разрабатывалась в США с 1958 года с целью навигационного обеспечения атомных подводных лодок, а так же навигационного обеспечения пуска с этих лодок баллистических ракет класса «Полярис». Первый из семи навигационных спутников этой системы был выведен на орбиту в 1959 году, а к 1964 году система была запущена в эксплуатацию. Через три года эксплуатации технологии спутникового мониторинга стали доступны для коммерческого использования. Высокая эффективность использования системы для морских перевозок привела к большому спросу на услуги радионавигационных систем, и вскоре количество гражданских объектов существенно превалировало над военными потребителями [6].

Существенным фактором, повышающим точность определения местоположения объектов, стала разработка в начале 60-х годов приборов для измерения времени, в которых за стандарты частоты использовались собственные колебания, происходящие на уровне атомов и молекул (атомные часы). Это позволили синхронизировать передатчики с высокой точностью и существенным образом повысить точность определения координат. Тем не менее, возможности системы «Transit» ограничивались временем радиовидимости спутников, что позволяло эффективно работать только со стационарными и медленно движущимися объектами. Система «Transit» просуществовала до 1996 года, начиная с 1973 года функции по обеспечению спутниковой навигации постепенно переходят к высокоорбитным спутниковым системам.

Отечественные разработки велись в рамках программы «Спутник». Производилась комплексная работа группой ученых из ведущих научно-исследовательских институтов. Руководство и координация исследований осуществлялась Институтом теоретической астрономии АН СССР и ЛВВИА им. А.Ф. Можайского. Закладывались теоретические основы обеспечения непрерывности работы, независимости от погодных условий, масштабноности и повышения точности навигационных спутниковых систем [2].

Первым навигационным спутником в СССР явился «Космос-192», выведенный на орбиту 27 ноября 1967 года. Во второй половине 60-х годов

была развернута серьезная работа по созданию навигационной отечественной системы [7].

Необходимость развития технологий спутникового навигационного позиционирования обуславливалась в первую очередь требованиями, предъявляемыми к техническому оснащению ВМФ СССР. В начале 60-х годов образовался значительный разрыв между боевыми возможностями баллистического оружия атомных подводных ракетонесущих крейсеров и средств управления их перемещений. Эффективность стрельбы ракетами непосредственно зависит от точности определения координат подводного крейсера [8].

Первые спутниковые радионавигационные системы – системы первого поколения, характеризовались использованием низкоорбитальных искусственных спутников, при этом для определения сигнала использовался только один спутник, находящийся в зоне доступа. Опытные образцы спутников и наземного оборудования отечественной низкоорбитальной системы созданы к 1963 году. В дальнейшем гражданский вариант спутниковой морской навигационной системы получил название «Цикада», в то время как военный вариант называли «Циклон».

Разработка этих систем велась системно несколькими ведущими предприятиями судостроительной и радиотехнических отраслей промышленности. Навигационные спутники разрабатывались в научно-производственном объединении прикладной механики (НПО ПМ); радиотехнические комплексы и оборудование наземной аппаратуры в Российском научно-исследовательском институте космического приборостроения; космическая спутниковая аппаратура синхронизации разрабатывалась в Российском институте радионавигации и времени [9].

Практическая реализация проекта системы «Циклон», разработанной в 1962, осуществлялась в 1967-1969 гг. В этот период на орбиту выводятся первые три спутника системы, проводятся первые летно-конструкторские испытания. Подводные крейсера Черноморского флота оборудуются средствами космической связи и комплексом контрольно-измерительной аппаратуры. Комплекс проведенных экспериментальных исследований позволил выявить недостатки в точности определения местоположения объектов, повысить уровень программно-математического обеспечения системы, а также детально учесть влияние аномалий гравитационных полей. Это привело к разработке и созданию системы «Циклон-б» обладающей улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. Количество спутников было доведено до шести, аппаратурой космической связи были оборудованы не только подводные лодки и корабли ВМФ, но и комплекс наземных объектов. В 1976 году система прошла испытания государственной комиссии и была принята на вооружение [10].

Демонстрация потенциальных возможностей низкоорбитальных навигационных систем на военных объектах заинтересовала потребителей в гражданских сферах деятельности. В первую очередь гражданских морских и речных судов, воздушных судов, и некоторых наземных объектов. По инициативе министерства рыбного хозяйства и академии наук в 1974 году началась разработка гражданской навигационной системы «Цикада», имеющей ряд преимуществ перед существующими предшественниками. В первую очередь это касается продолжительности функционирования оборудования и без лимитного времени работы бортовых приборов на витке [8].

Система «Цикада» начала полноценно функционировать в 1979 году. В ее состав входили четыре спутника, вращающихся на орбите высотой около 1000 км. Система давала возможность войти в радиоконтакт в интервалах около двух часов и определять свое местонахождение в течение нескольких минут.

В процессе эксплуатации системы был выявлен ряд проблем, связанных как с погрешностью передаваемых эфемерид (координат искусственных спутников), так и с точностью определения орбит спутников. Отдельное внимание уделялось вопросам совершенствования наземных приемоиндикаторных приборов. Работы по усовершенствованию системы «Цикада» позволили увеличить точность определения морских объектов до восьмидесяти метров, что в свою очередь дало возможность создать систему для обнаружения терпящих бедствие судов – «Коспас», которая, работая совместно с разработанной в Америке, Франции и Канаде системой «Сарсат», составляет единую систему – «Cospas-sarsat». Абонентами системы выступают спутниковые аварийные радиобуи, функционирующие на частотах 121,5 МГц и 406 МГц. Сигнал с радиобуя, проходя через спутник, ретранслируется на наземные станции, в которых вычисляются координаты аварийного объекта. Работа системы «Cospas-sarsat» началась летом 1982 с запуска спутника «Космос 1383».

Первый практический случай спасения людей случился еще на стадии технической проверки работы системы осенью 1982 года. На сегодняшний день на счету системы более восьми тысяч поисково-спасательных операций при спасении более тридцати тысяч людей [11].

Развитие наземного, морского и авиационного транспорта вместе с развитием космических технологий потребовало создание единой универсальной системы, которая могла бы удовлетворить потребности все большего числа потребителей.

Эксплуатация первых навигационных систем показала их высокую эффективность и значительный потенциал в обеспечении безопасности воздушного и морского транспорта, а также экономии топливных ресурсов при перевозках. В то же время низкоорбитальные системы имеют ряд зна-

чительных недостатков, устранить которые не представляется возможным из-за принципов, заложенных в их основу. Полярные круговые орбиты спутников высотой около 1000 километров, имеют период обращения около двух часов. Это влияет на интервалы времени между прохождением спутником зоны радиовидимости (обсервации), что в свою очередь сокращает время приема сигнала. При этом отсутствует возможность сократить интервалы обсервации путем увеличения числа спутников, так как их технические характеристики не позволяют передавать сигналы на разных частотах, что вызывает взаимные помехи при нахождении в зоне радиовидимости нескольких спутников [6].

Существенным недостатком навигационных систем первого поколения является недостаточная точность определения движущихся объектов. Это обусловлено сложностью приведения линий положения объекта в движении к одному моменту времени. При этом приходится вносить коррективы в координаты объекта, путем счисления его положения в интервалах между обсервациями. В результате даже незначительная погрешность определения скорости, приводят к существенным ошибкам при определении координат. Указанные недостатки наряду с развитием космических технологий послужили толчком к созданию принципиально новых навигационных спутниковых систем второго поколения. Американская система получила название «Global Positioning System» – GPS, отечественная система «ГЛОНАСС». В течение 20 лет эти по сути аналогичные системы развивались параллельно, однако с окончанием «холодной войны» совместное использование систем находит все более широкое применение.

Отечественные разработки системы спутниковой навигации второго поколения начались в 1976 году с технического проекта Красноярского научно-производственного объединения прикладной механики. Проект был согласован с межведомственной комиссией и утвержден в августе 1976 года. Легитимность на государственном уровне система ГЛОНАСС получила в декабре 1976 года, когда вышло постановление совета министров СССР «О развертывании Единой космической навигационной системы».

Основным требованием, предъявляемым к системе, явилось обеспечение устойчивого непрерывного сигнала как минимум с четырех спутников, что дает возможность определять три пространственные координаты и направление вектора скорости объекта. Для полноценного функционирования системы на орбите должно находиться как минимум 18 спутников, хотя это число было скорректировано разработчиками до 24, для обеспечения повышенной точности определения координат наземных объектов, путем выбора 4 спутников из всех находящихся в зоне радиовидимости абонента. Актуальность данного требования

существенно снизилась с появлением современных средств навигационной радиосвязи, позволяющих принимать и обрабатывать десяток сигналов одновременно с различных спутников.

При создании высокоорбитальных спутниковых систем разработчики столкнулись с проблемой взаимной синхронизации спутниковых шкал по времени. Для обеспечения синхронизованного сигнала с нескольких спутников одновременно необходима точность шкал времени до наносекунд. Погрешность в установлении координат на Земле составляет порядка десяти метров, при прохождении сигнала со спутников в десять наносекунд. Проблему удалось решить путем установки высокостабильных по частоте источников электромагнитных сигналов. На спутниках были установлены цезиевые стандарты частоты, на Земле водородный стандарт частоты и средства сличения шкал с погрешностью порядка нескольких наносекунд [6]. Это позволило синхронизировать сигналы спутников системы и обеспечить высокую точность в установлении координат.

Не менее существенной проблемой разработки системы было обеспечение высокоточного определения параметров орбит навигационных спутников, учитывая неравномерность вращения Земли, а также движения ее полюсов. Исследования влияния параметров геопотенциала на спутниковые орбиты проводились с помощью специальных космических аппаратов по типу «Эталон-1», оборудованных аппаратурой для кватново-оптических измерений. Было осуществлено два запуска 10 января и 31 мая 1989 года с космодрома Байконур запущены спутники Космос-1989 и Космос-2024. Проведенные работы позволили значительным образом увеличить точность определения параметров спутниковых орбит.

Помимо технических проблем разработки и внедрения системы существовали и организационно-финансовые сложности. Изначально заказчиком выступало большое количество министерств и ведомств, помимо министерства обороны это министерства: общего машиностроения, авиационной промышленности, рыбного хозяйства, гражданской авиации и т.д. Что послужило причиной длительного согласования. Сроки испытаний несколько раз переносились. В итоге практическая реализация проекта началась только к осени 1982 года.

Вплоть до осени 1987 года запуски спутников проводились регулярно, но из-за проблем с финансированием программы полноценно система смогла заработать только 4 апреля 1991 года, когда на орбите одновременно оказались 12 функционирующих спутников, а 24 сентября 1993 года система ГЛОНАСС была принята на вооружение.

К 1995 году число спутников достигло расчетных 24 аппаратов, однако вследствие технических проблем – многие спутники имели маленький срок службы, некоторые не вышли на задан-

ные орбиты из-за неисправностей разгонного блока, а также сокращения финансирования программы, к 2001 году на орбите число работающих спутников сократилось до 6 [9].

Ситуация начала меняться с принятием в 2001 году федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» [12]. Данная программа предусматривала полное покрытие территории России к началу 2008 года, а также увеличение группировки спутников до 24 к концу 2009 года и выход на глобальные масштабы. Несмотря на то, что сроки практической реализации этой программы оказалась несколько сдвинуты, к концу 2010 года система ГЛОНАСС оказалась полностью развернутой. К осени 2012 года общее число спутников достигло 31. Система ГЛОНАСС запатентована в Соединенных Штатах Америки [13].

В США создание спутниковой системы второго поколения началось в 1973 году. Была создана единая навигационная технологическая программа, путем слияния программ ВВС и ВМФ. Позднее проект назвали «Навстар – GPS». Первый спутник системы был запущен 14 июля 1974 года. На протяжении 1974-1979 года производились испытания системы, в ходе которых удалось добиться повышения точности синхронизации, путем применения кварцевых и рубидиевых стандартов частоты. Были скорректированы высоты орбит спутников до 20000 км, а также увеличилась несущая частота передатчиков до 1575 МГц. Первая группа спутников, насчитывающая 11 аппаратов, была выведена на орбиту в период 1978-1983 гг. [6].

Важным обстоятельством в развитии системы явился отказ от программы Vela, предназначенной для слежения за соблюдением СССР договора о частичном запрещении испытания ядерного оружия, и передачу этих функций системе GPS. Начиная с 1980 г. спутники системы стали оборудоваться сенсорами регистрации ядерных взрывов. В начале 80-х годов было принято решение о сокращении финансирования программы и сокращении числа спутников до 18, вместо ранее планируемых 24.

Изначально использование системы предполагалось исключительно в военных целях, однако эту позицию пришлось пересмотреть в связи с инцидентом, произошедшим 1 сентября 1983г. Самолет южнокорейской авиакомпании Korean Air Lines «Боинг -747» был сбит в воздушном пространстве СССР истребителем «СУ-15». По официальной версии нарушение воздушной границы произошло из-за ошибки экипажа в программировании автопилота. Из 246 пассажиров и членов экипажа не выжил никто. С целью недопущения в дальнейшем подобных трагедий президент Рональд Рейган разрешил использовать систему GPS для нужд гражданских служб, однако точность была уменьшена специальным алгоритмом [14].

В дальнейшем применение этого алгоритма,

позволяющего неавторизованным пользователям определять свои координаты с точностью только до 100 метров, продолжалось до 2000 года. Исключение было сделано в первой половине 1991 года в связи с военным конфликтом в Персидском заливе, из-за нехватки военных моделей приемников. В начале 21 века появилась информация, что некоторые компании сумели расшифровать алгоритм уменьшения точности, что в итоге привело к отмене искусственного загробления сигнала, а точность для гражданских пользователей возросла до 20 метров.

Окончательное решение о безвозмездном предоставлении сигналов гражданским службам, а также частным лицам принято в августе 1993 года с появлением первых сообщений о готовности системы. К июлю 1995 года система укомплектована и функционирует на полную мощность. С началом 21 века система интегрируется с европейской спутниковой системой Галилео и отечественной навигационной системой ГЛОНАСС.

Галилео – навигационная спутниковая система, являющаяся международным проектом, созданным под эгидой Европейского космического агентства. Предполагаемые сроки ввода в эксплуатацию 2014-2016 гг. В отличие от систем GPS и ГЛОНАСС управление системой планируется осуществлять не национальными военными ведомствами, а гражданскими структурами. Потенциальные технические характеристики системы выше, чем у ныне существующих, за счет более высоких орбит спутников и применением передовых технологий в использовании атомных часов. Заявленная точность определения координат абонента – до 1 метра. Несмотря на то, что большинство существующих сейчас GPS приемники не в состоянии принимать сигналы со спутников Галилео, достигнуты принципиальные договоренности о совместном использовании в ближайшей перспективе. Материальное обеспечение проекта осуществляется во многом благодаря продажам лицензий производителям навигационных приемников [15].

Наиболее перспективным направлением развития технологий спутникового позиционирования представляется совместное использование систем ГЛОНАСС, Галилео и GPS. Это позволит увеличить точность определения координат абонентов, повысить надежность обслуживания. Возможность взаимного интегрирования обуславливается общностью структуры построения спутниковых орбит, аналогичностью применяемого навигационного оборудования, работой в близком частотном диапазоне, а также применением подобных сигнально-кодовых конструкций. Близкие по времени этапы создания и совершенствования, позволяют легче перейти к совместному функционированию систем.

Существенным фактором, стимулирующим совместную работу систем, являются коммерче-

ские интересы производителей навигационного оборудования. В настоящее время практически все авто производители оборудуют свою продукцию штатными навигаторами с поддержкой GPS/ГЛОНАСС. Средства мобильной связи также оснащены навигационной поддержкой, крупнейшие производители сотовых телефонов, такие как Samsung, Sony, Apple, активно внедряют спутниковые технологии в своих новых разработках [16].

Важным обстоятельством является готовность руководства России и США к сотрудничеству в сфере спутниковых навигационных систем. В 2006 году прошли масштабные Российско-Американские переговоры по сотрудничеству в области спутниковой навигации. Сегодня совместный проект GPS/ГЛОНАСС применяется в горном деле, при строительстве зданий и сооружений, в геодезии для мониторинга деформаций земной поверхности, в сельском хозяйстве, для синхронизации систем связи, в энергетике и т.д.

Одним из представителей компаний, успешно использующих совместный проект GPS/ ГЛОНАСС для задач горнодобывающей и металлургической промышленности, энергетики, науки и телекоммуникаций, является компания «ВИСТ Групп» (Россия), которая работает на рынке информационных технологий уже более 20 лет [17]. Система диспетчеризации горнотранспортного комплекса «КАРЬЕР», разработанная и внедрен-

ная специалистами компании на горнодобывающих предприятиях, успешно используется не только на территории России, но и за ее пределами (Украина, Монголия) и позволяет:

- увеличить время производительного использования оборудования в течение рабочей смены;
- обеспечить экономию ресурсов при достижении необходимых объемов производства;
- повысить трудовую и технологическую дисциплину персонала;
- создать основу объективной оценки деятельности служб и участков предприятия;
- создать предпосылки для планомерного ремонта и обслуживания парка машин предприятия;
- оптимизировать грузопотоки, используя автоматическую диспетчеризацию.

Системы глобального спутникового позиционирования занимают важное место на современном этапе развития науки и техники. Мир сегодня немислим без средств спутниковой навигации, которые становятся все более многофункциональными. Помимо широкого использования при воздушных, водных, железнодорожных и автотранспорте, спутниковые системы активно внедряются в производство, а также служат отличным инструментом для обеспечения безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шебшаевич, В. С.* Основные возможности использования ИСЗ для радионавигации самолетов. Доклад на семинаре ЛВВИА 25.12.57.// Информационный сборник. Л., 1958, №33.
2. *Шебшаевич, В. С.* Развитие теоретических основ спутниковой радионавигации ленинградской радиокосмической школы.//Радионавигация и время, РИРВ, 1992, №1. – С. 6-9.
3. Радиотехнические системы. / Под ред. Казаринова Ю.М.// М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
4. *Чертюк Б.* Ракеты и люди. Фили. Подписки. Тюратам.// М.: Машиностроение, - 1999. – 448 с.
5. Электронный ресурс <http://www.glonax.ru/history-gps>
6. *Соловьев Ю.А.* Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. – 270 с.
7. *Решетнев М.Ф.* Развитие спутниковых радионавигационных систем. Информационный бюллетень НТЦ «Интернавигация», 1992, №1. – С. 6-10.
8. Военно-космические силы. Военно-исторический труд. Книга 1. М., 1997. – С. 126-127.
9. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС./ Под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина. М.: ИПРЖР, 1998. – 399 с.
10. Электронный ресурс <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/201/27b.shtml>
11. Электронный ресурс <http://www.cospas-sarsat.org/>
12. Электронный ресурс http://www.gpssoft.ru/fcp_glonass.html
13. Pat. 5,331, 329 (US), Jul. G01S 5/02\$ H04 15/00. Satellite aided Radio Navigating Method and Radio System Therefore.
14. Электронный ресурс <http://www.navcen.uscg.gov>
15. Электронный ресурс <http://www.gsa.europa.eu>
16. Электронный ресурс <http://www.garmin.ru/about/posts>
17. Электронный ресурс <http://www.vistgroup.ru>

□ Авторы:

Герике
Борис Людвигович,
докт. техн. наук, гл. научн. сотрудник
лаб. угольного машиноведения Инсти-
тута угля СО РАН, проф. каф. горных
машин и комплексов КузГТУ,
e-mail: gbl_42@mail.ru

Артамонов
Павел Викторович,
канд. техн. наук, доцент каф. меха-
ники государственного националь-
ного минерально-сырьевого универ-
ситета «Горный», Санкт-Петербург.