

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОНАВИГАЦИИ

После изобретения радио и разработки конструкций направленных антенн, были предприняты вполне очевидные попытки применить для целей навигации радиомаяки, работающие за пределами оптической видимости. Кроме морской навигации, радиомаяки стали широко применяться (и применяются до сих пор) в авиации для прокладки и коррекции курса летательных аппаратов. Как правило, они работают в диапазоне средних волн, а для приема сигнала используется комбинированная рамочная антенна с узкой диаграммой направленности. Существуют маяки УКВ-диапазона. Различают авиационные радиомаяки дальнего и ближнего привода. Радиомаяки позволяют скорректировать показания бортового магнитного компаса и частично заменить или продублировать его. Точность работы бортового радиокompаса позволяет пилотам гарантированно выйти на такое расстояние к аэродрому, при котором возможна дальнейшая визуальная ориентация в пространстве, например, по местности (малая авиация) или огням взлетно-посадочной полосы.

Анализируя работу радионавигационных систем, основанных на радиомаяках, можно обнаружить, что традиционные радиокompасы, решая с приемлемой точностью задачу *курсоуказания*, не позволяют решить задачу точного позиционирования на местности, т.е. определения долготы и широты объекта.

В качестве примера рассмотрим простейшую схему, изображенную на рис. 1.1. Пусть у нас имеются два береговых передатчика, А и В, и расположенный на корабле приемник О. Передатчики излучают сигнал равномерно во все стороны. Антенна корабельного приемника имеет направленное действие, т.е. когда она определенным образом повернута в сторону передатчика, амплитуда принимаемого сигнала многократно возрастает. Теоретически, если мы идеально точно определили направления на передатчики, имеющие заранее известные координаты, то мы соответственно точно определили свое местоположение на единственно возможном пересечении азимутов в точке О.

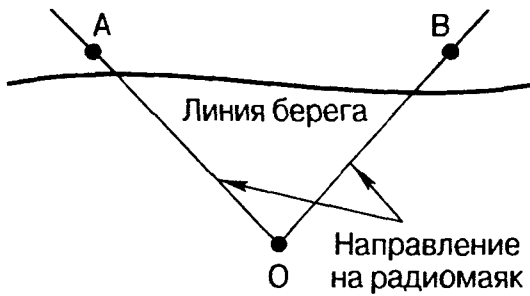


Рис. 1.1. Определение местоположения по двум радиомаякам

Расстояние до передатчиков многократно превышает длину волны, поэтому мы рассматриваем передатчики как точечные излучатели.

Проблема в том, что не существует антенн с идеальной диаграммой направленности, и чем острее направленность антенны, тем сложнее ее конструкция. Кроме того, если мы хотим, чтобы система позиционирования действовала за пределами оптической видимости, мы должны использовать достаточно длинные радиоволны, способные огибать горизонт. Но чем больше длина волны, тем большие физические размеры должна иметь идеальная направленная антенна. Поэтому точность действия направленной антенны ограничена ее разумными конструктивными размерами.

Погрешность определения азимута на радиомаяк, представленную в виде некоего угла  $\varphi$  (рис. 1.2,а), путем простейших геометрических преобразований можно условно спроецировать во встречный угол  $\varphi'$  с вершиной в позиции радиомаяка (рис. 1.2,б).

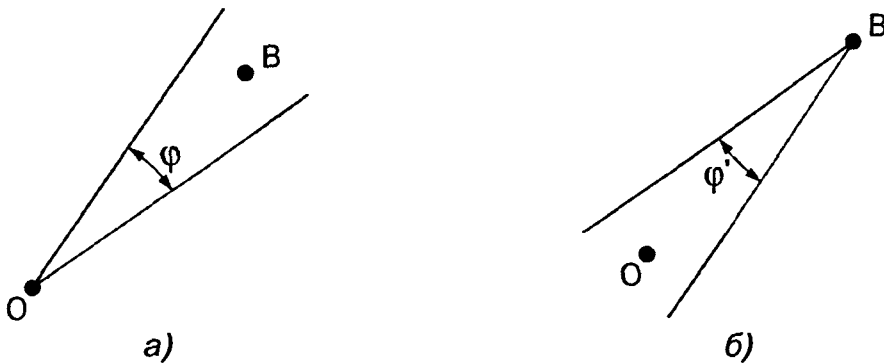


Рис. 1.2. Погрешность определения направления на радиомаяк (а) и обратный угол погрешности определения направления (б)

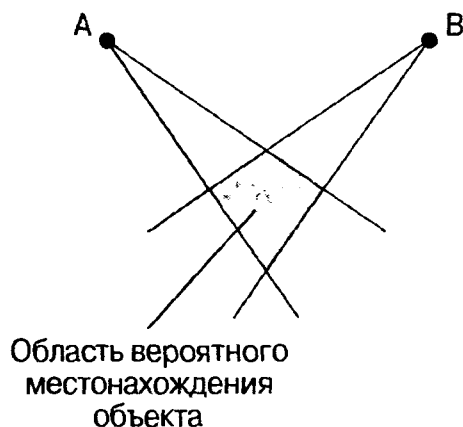


Рис. 1.3. Влияние угловых погрешностей ориентации антенны

Очевидно, что с учетом погрешности определения азимутов, вместо точных координат мы получаем некую область *вероятного* местонахождения, как показано на рис. 1.3.

На расстояниях до радиомаяков, исчисляемых сотнями километров, погрешности измерения азимута в доли градуса проецируются в погрешности измерения местоположения, исчисляемые сотнями метров. На протяженных воздушных трассах погрешность позиционирования летательного аппарата достигает нескольких километров по величине бокового отклонения от трассы [1].

В стационарных условиях можно заметно сузить область вероятного местонахождения, принимая за основу такой угол ориентации антенны, который является средним между двумя крайними достоверными положениями. Однако на практике, в условиях нестабильно движущегося объекта, каким может являться небольшое судно, выбрать правильные направления чрезвычайно сложно, поскольку требуется гироскопирование всего приемного антенного узла. Подобные механические системы весьма дороги и ненадежны.

Кроме этого, в случае с двумя передатчиками A и B, если они расположены на одной линии с приемной антенной, возникает абсолютная невозможность определения местоположения. Наличие третьего радиопередатчика устраняет проблему неоднозначности, но лишь незначительно повышает точность местоопределения.

Следовательно, для успешного решения задачи местоопределения необходимо измерять дальности, т.е. расстояния между приемником и передатчиками. Зная лишь дальности до трех передатчиков, расположенных в одной плоскости с приемником, можно однозначно решить задачу местоопределения, как это схематически показано на рис. 1.4.

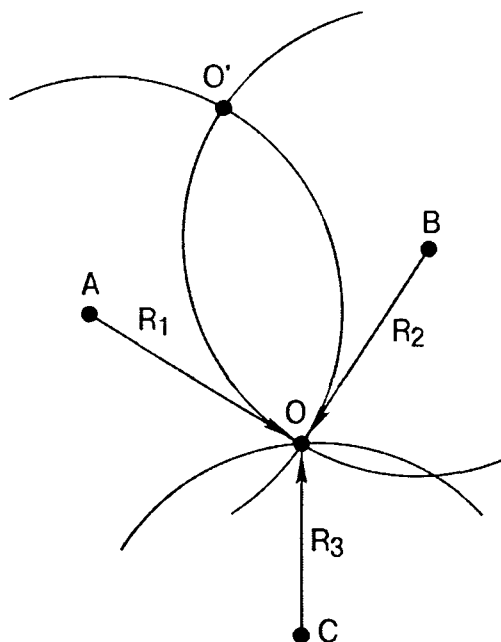


Рис. 1.4. Определение координат объекта по трем дальностям

Координаты объекта (точка  $O$ ) являются координатами точки пересечения воображаемых окружностей с радиусами  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , равными дальностям. Третий передатчик необходим для устранения возможной неоднозначности, возникающей при пересечении двух окружностей (точки  $O$  и  $O'$ ). Очевидно, что в случае с измерением дальностей направленность действия приемной антенны не влияет на точность позиционирования. Но решающее значение приобретает точность синхронизации шкал времени передатчиков и приемника и величина погрешности, возникающей при измерении времени распространения сигнала.

Появление в 1960-х годах чрезвычайно точных атомных часов позволило существенно снизить погрешности дальномерного метода, до уровня, достаточного для широкого применения его на практике.

Практическим воплощением дальномерного метода в США является морская навигационная система LORAN (Long Range Aid to Navigation – Навигационное оборудование дальнего радиуса действия), имеющая чрезвычайно большое значение в истории развития GPS, поскольку в ней впервые было использовано определение времени прохождения сигнала от передатчика до приемника, получившее дальнейшее развитие в системах спутниковой навигации. Значение скорости распространения радиосигнала давно известно науке, поэтому, измерив с достаточной точностью время распространения радиосигнала, можно легко вычислить точное расстояние до передатчика. Передатчик излучает

---

сигнал непрерывно, а время распространения сигнала вычисляется по набегу фазы за время прохождения радиоволнами расстояния до приемника. Поскольку относительный набег фазы прямо пропорционален времени прохождения сигнала, по разности фаз между внутренним опорным сигналом приемника и принимаемым сигналом вычисляется расстояние до передатчика.

## **1.1. Развитие радионавигации в США**

Как это происходило и происходит с множеством высоких технологий, сначала GPS разрабатывалась как сугубо военная система, и на деньги выделенные из государственного бюджета США на нужды Министерства обороны. Военные нуждались, с одной стороны, в средствах наведения высокоточного оружия дальнего радиуса действия, и, с другой стороны, в универсальной системе навигации, доступной для массового применения в армии. Вполне очевидным решением было объединение этих двух задач в одну – создание системы точного позиционирования. Начиная с 1960-х годов Министерство обороны США начало развивать идею создания глобальной, всепогодной, непрерывно доступной, очень точной системы навигации и позиционирования.

В случае с GPS Министерство обороны США попыталось проявить редкостную дальновидность в плане последующей экономии денег. Было очевидно, что система, обладающая подобными характеристиками, имеет обширные перспективы для гражданского применения. Поэтому с самого начала от разработчиков было затребовано, чтобы окончательное (пользовательское) оборудование было доступно самым разнообразным пользователям, но при условии, что военные смогут по своему желанию и в любой момент ограничивать его функциональность, вплоть до полного блокирования. Подразумевалось также, что распространением пользовательского оборудования будет управлять Министерство обороны США, частично компенсируя свои расходы. Известно, что в итоге получилось не совсем так: разработкой, производством и продажей пользовательского оборудования занимаются многие независимые коммерческие организации, а реальная величина затрат многократно превысила первоначальные расчеты. Но, в любом случае, Соединенные Штаты не прогадали. Образно выражаясь, практически весь цивилизованный мир проглотил гигантскую наживку на крючке, который всегда можно подсесть. Вот эффектный пример: стоит правительству США полностью закрыть доступ к сервису GPS для гражданских пользователей, как во всем мире будет частично затрудне-

## *История развития радионавигации*

---

на, а в отдельных случаях и полностью парализована работа сетей мобильной связи. Дело в том, что для синхронизации сетей связи дешевле и проще всего использовать сигнал точного времени со спутников GPS или ГЛОНАСС, но реально в мире заметно шире распространено оборудование стандарта GPS NAVSTAR. Понимание этой проблемы привело к тому, что сейчас все большее число пользовательских приемников имеет возможность работы в двух системах.

Когда основные требования к системе были определены, Военно-морские и Военно-воздушные Силы США приступили к разработке концепции использования в целях навигации и позиционирования радиосигналов, излучаемых со спутников. Безусловно, толчком к такому пути развития послужил запуск Советским Союзом первого искусственного спутника в 1957 г. Соединенные Штаты напряженно следили за полетом советских спутников, принимая сигнал бортового передатчика на наземных пунктах с заранее известными координатами. Были изучены параметры прохождения сигнала через толщу земной атмосферы и возникающий при движении спутника по орбите доплеровский сдвиг частоты. Исследования APL (Applied Physics Laboratory, лаборатории прикладной физики) показали, что по доплеровскому сдвигу можно вычислить полную орбиту спутника. Доктор Фрэнк МакКлар (Frank T. McClure) из APL указал, что наоборот, если известна полная орбита спутника, то по доплеровскому сдвигу можно вычислить точное положение спутника на орбите. Возник интерес к обратной задаче: расчет координат приемника на основании принятых со спутника сигналов.

Военно-морские силы финансировали две программы, ставшие предшественниками GPS: Transit и Timation. Система Transit стала первой действующей спутниковой навигационной системой. Разработанная в 1964 г. в лаборатории прикладной физики имени Джона Гопкинса под руководством доктора Ричарда Кершнера, система Transit состояла из 7 низкоорбитальных спутников, которые излучали очень стабильные радиосигналы. Несколько наземных станций слежения контролировали и корректировали параметры орбиты. Пользователи системы Transit определяли свои координаты на земной поверхности, измеряя доплеровский сдвиг частоты от каждого спутника.

Изначально разработанная Военно-морскими силами для управления подводными лодками с баллистическими ракетами Polaris на борту и иными военными объектами, находящимися на поверхности океана, в 1967 г. система Transit стала доступна для гра-

---

жданских пользователей. Она была очень быстро приспособлена для навигации больших коммерческих судов и небольших частных катеров и яхт. Причем число гражданских пользователей быстро превысило число военных. Несмотря на то, что система Transit обеспечивала основные потребности в навигации судов, она имела много недостатков: низкое быстродействие, потребность в длительном наблюдении спутников, возможность позиционировать только стационарные или медленно движущиеся объекты, определение только двухмерных координат, отсутствие непрерывной доступности (время, когда ни один из спутников не был виден, измерялось часами), необходимость самостоятельного внесения пользователем коррективов для движущихся объектов – все это сделало невозможным применение системы в авиации и иных быстро движущихся объектах. Не последнюю роль сыграла и невозможность избирательно ограничивать доступ к системе. Тем не менее, заложенные в Transit новые технологии были очень важны для последующего развития GPS. Так, например, в GPS используется алгоритм предсказания спутников, впервые разработанный для Transit.

Второй предшественник GPS, Timation, был разработан в NRL (Naval Research Laboratory, Военно-морская исследовательская лаборатория) под руководством Роджера Истона. Программа исследований стартовала в 1964 г. и включала в себя запуск двух искусственных спутников, несущих на борту разработанные ранее сверхстабильные часы, передачу со спутника прецизионных сигналов точного времени и определение двухмерных координат приемника. Основная идея состояла в использовании синхронизированных передатчиков, излучающих закодированный сигнал. Измеряя задержку прохождения сигнала от спутников, имеющих заранее известные координаты, можно вычислить расстояние до спутников и рассчитать на основании этого координаты приемника. Таким образом, был заложен и экспериментально опробован базовый принцип работы GPS.

Первый спутник, системы Timation запущенный в 1967 г., нес на борту сверхстабильные кварцевые часы, последующие модели использовали атомный стандарт частоты (рубидиевый и цезиевый). Атомные часы позволили значительно улучшить предсказание орбит спутников и существенно увеличить промежуток между корректировками спутниковых часов с наземного пункта управления. Эти передовые разработки космического стандарта времени явились важнейшим вкладом в создание GPS. Фактически, последние два спутника системы Timation являлись действующими прототипами спутников GPS.

## *История развития радионавигации*

---

Тем временем, Военно-воздушные силы США работали над аналогичной технологической программой, впоследствии названной "Система 621В". Она предоставляла возможность трехмерной (широта, долгота и высота) навигации с непрерывным доступом. В 1972 г. была продемонстрирована работа системы, использующей новый метод разделения сигналов спутников – кодовое разделение на основе псевдослучайного, шумоподобного сигнала. В этом варианте все спутники излучают на одной несущей частоте, которая модулируется сверхдлинным псевдослучайным кодом (ПСК), индивидуальным для каждого спутника. Спектр такого сигнала весьма похож на спектр случайного шума с распределением по Гауссу, отчего сигнал и получил название шумоподобного.

Использование псевдослучайного кода позволяет значительно увеличить помехоустойчивость и передавать в сигнале информацию о положении спутников (эфемериды) и метки точного времени. Также при использовании псевдослучайного кодирования легко решается проблема ограничения доступа. В простейшем случае, коды могут быть как открытыми для общего пользования, так и секретными. Гражданским пользователям доступны только открытые коды, поэтому достаточно по команде с наземного пункта управления внести преднамеренные погрешности в информацию, передаваемую открытыми кодами, как работоспособным останется только военное оборудование, а гражданские приемники перестанут функционировать с приемлемой точностью.

Для испытания технологии ПСК американские ВВС произвели серию экспериментов на испытательном полигоне Белая Пустыня в Нью-Мехико. Для имитации спутников использовались передатчики, размещенные на воздушных шарах и самолетах. Экспериментальное оборудование позиционировало самолет с точностью до сотых долей мили. Одновременно была сформулирована концепция глобальной системы из 16 спутников на геостационарных орбитах, чьи проекции на земную поверхность образовывали четыре овальных кластера, вытянутых на 30 градусов севернее и южнее экватора. Эта особая геометрия допускала последовательное развитие системы, поскольку для демонстрации реальной работоспособности было достаточно четырех спутников. Следовательно, один полный кластер из четырех спутников обеспечивал 24-часовое покрытие определенного географического региона (например, Северной или Южной Америки).

Тем не менее, вплоть до 1973 г. не было заметного сдвига в разработке полномасштабной "Системы 621В". Частично причиной этого явилась поддержка со стороны ВВС дополнительных разра-



---

боток по спутниковой навигации, основанных на нескольких параллельных инициативах от различных организаций. Начиная с 1960-х, ВМФ США, ВВС США и сухопутные силы независимо друг от друга работали над радионавигационной системой, обеспечивающей всепогодное 24-часовое покрытие, и с точностью, достаточной для военного применения соответствующими службами. Лаборатория прикладной физики разработала техническое обеспечение для системы Transit и собиралась усовершенствовать систему, тогда как Военно-морская исследовательская лаборатория энергично расширяла систему Timation; сухопутные силы предлагали использовать собственную систему, названную SECOR (Sequential Correlation of Range, последовательное вычисление дальностей). Возникшая ситуация начала беспокоить Министерство обороны США, поскольку различные стратегии построения системы были опробованы на практике и пришло время для построения единой концепции. Для координации усилий всех исследовательских групп, разрабатывающих различные навигационные системы, Министерство обороны США основало трехсторонний объединенный комитет, названный NAVSEG (Navigation Satellite Executive Group). В течение последующих нескольких лет комитет окончательно определил, какой должна быть система спутниковой навигации – количество спутников, высоту орбит, коды сигналов, метод модуляции – и сколько все это будет стоить.

Наконец, в апреле 1973 г., Военно-воздушные силы были утверждены, как ведущий разработчик, объединяющий различные концепции построения систем спутниковой навигации в единую всеобъемлющую систему военного назначения, известную, как DNSS (Defense Navigation Satellite System, оборонительная система спутниковой навигации). Новая система должна была разрабатываться в Объединенном Центре разработок ВВС в партнерстве со всеми заинтересованными военными службами. Взаимодействием между различными службами с целью разработки концепции DNSS руководил полковник ВВС Брэд Паркинсон, программный директор Объединенного Центра.

К сентябрю 1973 г. была создана компромиссная система, вобравшая в себя все лучшие опции от прежних программ ВВС и ВМФ. Структура сигнала и частоты были заимствованы от "Системы 621В". Орбиты спутников основывались на структуре, предложенной для системы Timation, но с большей высотой, обеспечивающей 12-часовой период обращения вместо 8-часового. Обе системы предполагали использование атомных часов на спутниках,

но только ВВС проверили эту идею на практике. Система, построенная по сформулированной концепции, теперь известна, как система глобального позиционирования NAVSTAR. В декабре 1973 г. Министерство обороны США утвердило и профинансировало первый этап разработки NAVSTAR GPS (планом работ было предусмотрено три этапа).

### **Опробование основной идеи GPS (1974-1979)**

Первый этап подразумевал экспериментальное подтверждение пригодности общей концепции спутниковой навигационной системы, демонстрацию заложенного в нее потенциала и конкретизацию дальнейшего плана работ. Во второй этап включались полномасштабные инженерные разработки, в третий – производство и развертывание сегментов GPS. Исходная программа оценивалась приблизительно в 100 миллионов долларов и подразумевала изготовление четырех спутников, запуск ракет-носителей, три типа оконечного оборудования, средства управления спутниками и всестороннюю программу испытаний.

Самые первые спутники NAVSTAR на самом деле были двумя переделанными спутниками системы Timation, созданными в Военно-морской исследовательской лаборатории. Известные ныне, как технологические навигационные спутники №1 и №2, они несли на борту атомные часы, первые из когда-либо запущенных в космос. Несмотря на то, что эти экспериментальные спутники функционировали лишь в течение короткого периода времени между запусками в 1974 и 1977 гг., они позволили опробовать метод измерения дальности с использованием широкополосного радиосигнала и прецизионных меток времени, получаемых от орбитальных атомных часов. В качестве первого атомного стандарта использовался рубидиевый стандарт, затем более точные цезиевый и водородный.

Несколько позже были запущены и протестированы спутники GPS, известные, как "Блок 1". Эта серия спутников поддерживала выполнение большинства программ для испытания системы. Между 1978 и 1985 гг. одиннадцать спутников, построенных компанией Rockwell International, были выведены на орбиту носителем Atlas-F, один спутник был утрачен из-за аварии при запуске. Остальные постепенно утратили пригодность из-за ухудшения точности атомных часов или поломки системы контроля высоты. Тем не менее, многие из спутников первого блока прослужили значительно дольше, чем подразумевавшиеся при разработке три года – в некоторых случаях более десяти лет.

---

Круговые орбиты спутников последовательно увеличивались с 925 км до 13000 км, а затем достигли окончательной величины в 20145 км. Также последовательно менялась несущая частота передатчиков: сначала 400 МГц, затем 1227 МГц, и позднее достигла современного значения 1575 МГц.

Незадолго перед началом запусков "Блока 1" военные предусмотрели двойное назначение спутников GPS. В дополнение к имеющемуся оборудованию позиционирования и точного времени, спутники могли нести на борту датчики ядерного взрыва (NUDET, nuclear detonation), предназначенные для обнаружения фактов испытания ядерного оружия, выявления ядерной атаки и оценки масштабов разрушений. Система могла быть также использована для контроля за соблюдением Договора о запрещении испытаний ядерного оружия, заключенного между США и СССР в 1963 г. Впервые датчики ядерного взрыва были размещены на шести спутниках GPS, запущенных 26 апреля 1980 г. Для контроля за соблюдением запрета испытаний ВВС США и Комиссия по атомной энергии (предшественник Министерства атомной энергетики) совместно разработали серию спутников радиационного контроля, названных Vela. Датчики ядерного взрыва были также размещены практически на всех спутниках, запускаемых Министерством обороны, включая спутники NAVSTAR. Датчики, размещенные на первых спутниках GPS, не отличались от датчиков системы Vela. Впоследствии были разработаны датчики нового типа. Система обнаружения ядерных взрывов играет важную роль в контроле за выполнением Договора о нераспространении ядерного оружия от 1968 г. Министерство обороны США планирует и впредь размещать на спутниках GPS оборудование ядерного обнаружения.

Размещение датчиков ядерного взрыва непосредственно на спутниках GPS удобно еще и тем, что в случае ведения военных действий позволяет передавать первичную информацию о ядерном взрыве не только на центральную станцию слежения, но и напрямую на оконечные терминалы военных. Безусловно, это позволяет быстро принимать не только стратегические решения на уровне головного командования, но и тактические решения на местах.

Испытания пользовательского оборудования GPS начались в марте 1977 г., еще до того, как необходимые спутники были выведены на орбиту. Система наземных радиопередатчиков с питанием от солнечных батарей была размещена на крыше одного из исследовательских центров в Аризоне для симуляции сигнала от спутников GPS. Эти передатчики, названные псевдолитами (как производное от термина pseudo satellite), излучали сигнал, по структуре

идентичный сигналу спутников GPS. И хотя сигналы, приходящие от наземных передатчиков, отличаются от сигнала из космоса, они позволяли приблизительно имитировать геометрию расположения спутников. Тем временем четыре спутника были выведены на орбиту и исследовательская группа принялась испытывать различные типы пользовательских терминалов, размещенных на самолетах, кораблях, грузовиках и армейских джипах. Испытывался даже носимый человеком приемник GPS. В то время он представлял собой ранец весом около 12 килограммов.

Обобщенная структура GPS состоит из трех сегментов: космического сегмента (спутники), пользовательского сегмента (приемники) и сегмента управления. Третий сегмент GPS – прототип наземного центра управления – был размещен в Ванденберге, штат Калифорния в описанный выше период времени. Когда все базовые компоненты системы были введены в строй, Объединенный Центр объявил о переходе к следующему этапу работ – полномасштабным инженерным разработкам GPS. Это случилось в августе 1979 г.

### **Развитие GPS (1980 – 1989)**

Этот период отмечен попытками сохранить устойчивое развитие GPS, сопровождавшееся несколькими существенными спадами.

Первый спад случился в 1979 г., когда по решению Комитета по обороне планируемый бюджет программы на период с 1981 по 1986 гг. был урезан на 500 миллионов долларов (приблизительно 30 процентов). В результате программа развития GPS была реструктурирована и ее рамки заметно сужены. Окончательное созвездие второго поколения спутников, именуемое "Блок 2", было сокращено с 24 до 18 (плюс три спутника, подготовленных в качестве аварийного орбитального запаса). Были ограничены требования к весу, энергетике, ядерной и лазерной устойчивости спутников. Также было решено временно ограничиться двумерным позиционированием на плоскости.

Хотя финансирование GPS было отчасти нестабильным в течение предыдущих этапов программы, до поры до времени она развивалась ровно, благодаря поддержке различных служб, принимавших участие в работах. Поскольку GPS это вспомогательная система, не являющаяся самостоятельным вооружением, и развивалась она "с нуля", не имея собственной долгой истории, прежние представления о стоимости разработок, как признавались сами военные, базировались на традиционных представлениях о стоимости разработки новых самолетов или танков. Открывшаяся на вто-

---

ром этапе бездонная пропасть грядущих материальных затрат шокировала даже американское правительство, обычно никогда не жалевшее денег на нужды военных. Сложившаяся ситуация побудила Объединенный Центр как можно скорее превратить возможности системы в нечто осязаемое, иначе говоря, "продать возможности" системы тем, кто в них реально мог бы нуждаться. Наиболее очевидным результатом на тот момент было увеличение точности бомбометания. Но этого было мало.

Как это ни покажется на первый взгляд странным, но система удобная и нужная всем военным (и гражданским) подразделениям, оказалась без должной поддержки. Законченная система GPS решала проблемы самых разных ведомств, но требовала при этом столь больших капиталовложений, что все заинтересованные ведомства заняли выжидательную позицию, ожидая, пока кто-то другой профинансирует большую часть работ. В результате программа построения GPS оказалась в сложном положении. Например, с 1980 по 1982 гг. результат выполненных работ был нулевым. Работы были продолжены лишь благодаря прямой поддержке Комитета по обороне, заинтересованного в выживании программы.

Следующий спад система GPS перенесла в результате широко известной катастрофы корабля-носителя "Шаттл" в 1986 году. Поскольку планировалось, что именно этот многоразовый корабль будет выводить на орбиту спутники GPS, катастрофа привела к задержке на 24 месяца запуска второго поколения спутников. Еще до появления носителя "Шаттл" планировалось выводить спутники на орбиту при помощи ракет-носителей "Атлас" и "Дельта", но в 1979 г. Объединенный Центр был уведомлен о решении Министерства обороны использовать для нужд ВВС принципиально новый носитель челночного типа. После аварии Объединенный Центр был вынужден вернуться к запускам спутников "Блок 2" при помощи носителя "Дельта".

Первый спутник второго блока был выведен на орбиту с мыса Канаверал в феврале 1989 г. и приступил к работе в апреле. Затем были запущены еще 23 спутника. Так же как и спутники первого блока, они были изготовлены компанией Rockwell International. Спутники второго блока отличались от спутников первого блока формой, весом и включали в себя изменения в конструкции, направленные на увеличение секретности и целостности. Под увеличением секретности понимались: возможность запрета высокоточного сервиса для неавторизованных пользователей, предотвращение навязывания (обманного ввода информации в приемник), сни-

## ***История развития радионавигации***

---

жение чувствительности приемника к помехам. Под целостностью подразумевается способность системы GPS своевременно сигнализировать о невозможности обеспечения навигации.

Спутники второго блока, запущенные после 1989 г. имели увеличенный срок работы без контакта с наземным пунктом управления, вплоть до 180 дней. Группа таких спутников получила название "Блок 2А". Прежние спутники нуждались во взаимодействии с сегментом управления каждые три с половиной дня.

Одновременно с развитием спутникового сегмента, развивались наземный сегмент управления и пользовательский сегмент. Сегмент управления был перенесен на авиабазу Фэлкон, штат Колорадо. Система была полностью протестирована и продемонстрировала успешное взаимодействие между наземными пунктами управления, спутниками и окончательным оборудованием пользователя.

### **Современное военное применение GPS**

В 1980-х годах GPS играла вторичную роль в реальных военных операциях, проводимых Вооруженными силами США. Например, ВМФ США использовали GPS для определения расположения минных полей в Персидском заливе в 1987 – 1988 гг., а ВВС США применяли GPS во время вторжения в Панаму в декабре 1989 года для устранения неточностей в имеющихся картах.

Кризис в Персидском заливе, случившийся в 1990 – 1991 гг., стал для GPS первым полномасштабным боевым испытанием, разрешившим все сомнения в полезности системы NAVSTAR. По словам военных, во время операции "Буря в пустыне" система GPS совершила революцию в технологии проведения боевых действий на земле и в воздухе и стала одним из двух устройств, без которых не стать победителем в современной войне (под вторым устройством подразумевалась аппаратура ночного видения).

Для большинства пользователей GPS из числа задействованных во время операции "Буря в пустыне", система навигации была незаменимым техническим средством ведения боевых действий в пустыне. Спутники GPS позволили силам антииракской коалиции маневрировать, определяться на местности и вести огонь с беспрецедентной точностью 24 часа в сутки и в тяжелейших условиях – частые песчаные бури, отсутствие мощеных дорог, растительного покрова и других заметных ориентиров на местности.

Следует заметить, что не только GPS помогла военным успешно провести операцию "Буря в пустыне", но и сама эта операция стала

---

крупнейшим испытательным полигоном для законченной системы GPS. Специально к началу операции "Буря в пустыне" было запущено несколько спутников второго блока и шестнадцать спутников системы были переориентированы на своих орбитах так, чтобы обеспечить максимальное покрытие зоны боевых действий. Не осталось практически ни одного рода войск и разновидности боевой техники, где бы ни испытали в действии приемники GPS. Их использовали для прицельного бомбометания и корректировки артиллерийского огня, позиционирования мобильных отрядов и управления поисково-спасательными группами. Приемники GPS были установлены практически на все самолеты и вертолеты, более 10 000 портативных терминалов раздали солдатам. Конечно, во время "Бури в пустыне" испытывались и иные виды новой боевой техники, но ни одна боевая система до этого момента не испытывалась столь масштабно.

После войны в Персидском заливе Соединенные Штаты несколько раз использовали GPS в различных военных и миротворческих операциях. Например, в 1993 г. GPS использовалась для авиационной доставки продовольствия и гуманитарных грузов в Сомали. Стандартных высокоточных карт для многих районов этой страны просто не существует, поэтому использовалась привязка к заранее определенным наземным пунктам с точно известными координатами. Высадка американских войск на Гаити в 1994 г. также сопровождалась интенсивным использованием GPS. К сожалению, хоть сама по себе система надежна и точна, это не избавляет от отказов сопутствующей техники и человеческих ошибок. Кстати, известно, что во время операции "Буря в пустыне" только 10% боевой техники использовали GPS в качестве системы точного наведения, тогда как во время боевых действий в Косово GPS использовалась для этой цели в 95% случаев.

Как бы там ни было, но ошибки, допущенные во время проведения предыдущих операций, были учтены военными, и во время проведения антитеррористической операции в Афганистане явных ошибок, связанных с применением GPS отмечено не было. Напротив, ошибки случались во время визуального целенаведения. Сочетание высокоточной спутниковой съемки и ракет со сверхточным наведением позволило без особых проблем разгромить большинство прочных укрытий, сооруженных в горных тоннелях, пещерах и ущельях. Боеголовки ракет включали в себя комплекс из системы интеллектуального оптического наведения и GPS, в режиме реального времени вычисляющую трехмерные координаты ракеты.

## *История развития радионавигации*

---

Когда работа над рукописью этой книги была практически завершена, началась военная операция в Ираке. Что наиболее заметно изменилось в военном применении технологии GPS со времени проведения операции "Буря в пустыне"? Если прежде речь о GPS велась только в контексте использования этой системы американскими войсками, то теперь, еще до начала операции, представители американской разведки публично заявили о том, что "Ирак может планировать нападение на американские города при помощи беспилотных самолетов, оснащенных системой глобального позиционирования" (Fox News). С технической точки зрения подобная акция вполне осуществима, если не Ираком, то любой другой достаточно развитой страной. Разумеется, необходимо делать поправку на пропагандистский характер подобных высказываний и учитывать наличие сил противовоздушной обороны у атакуемой стороны.

Тем не менее, весьма показателен сам факт официального признания угрозы для национальной безопасности США со стороны агрессора, нестандартно использующего технологию, изначально предназначенную для военных нужд самих США. Можно полагать, что истинное беспокойство у аналитиков МО США вызывает возможность "нештатного" использования технологии GPS такими технологически развитыми странами, как Россия или Китай.

Вторым интересным моментом явилась крайне негативная реакция США на якобы имевшие место поставки в Ирак российского спецоборудования для подавления сигналов GPS. Вопрос достоверности этих сведений лежит вне нашей компетенции, но сегодня общеизвестным является тот факт, что во время вторжения в Ирак войска коалиции столкнулись с интенсивным электронным противодействием системам GPS, особенно на первом этапе вторжения. Как отмечает ряд военных аналитиков, этим объясняется необоснованная на первый взгляд длительная задержка с переходом границы, внешне бессмысленные ракетные удары по пустынной местности и многочисленные таинственные рейды десантных групп. Войскам коалиции пришлось едва ли не поштучно разыскивать и уничтожать точки подавления GPS прежде чем начать массовое применение "умного" оружия.

Кстати, высокоточное оружие заметно "поумнело" со времени первой иракской кампании. Так, если раньше от момента определения точных координат вражеской пусковой установки при помощи спутника-шпиона до закладки этих координат в "умную" бомбу проходило около 10 минут, то теперь этот интервал сокращен почти в три раза, а закладка окончательных координат для GPS-наведения



---

может происходить по широкополосному радиоканалу уже после того, как бомба сброшена.

Завершая тему современного военного применения GPS, следует отметить, что она, как и множество современных сложных (и чрезвычайно дорогих) технологий оказалась уязвимой для "несимметричного ответа". Так, например, в России как минимум два предприятия – Новгородское ПО "Квант" и Брянский электромеханический завод выпускают комплексы электронного противодействия, подавляющие в том числе и сигналы всех существующих навигационных систем. Непосредственно перед началом операции в Ираке российские разработчики объявили о создании мобильных устройств, полностью блокирующих работу GPS в радиусе нескольких километров от танка или другой боевой машины. Как следствие, уже сейчас можно встретить предположения, что GPS ожидает участь сети ARPANET/Internet, превратившейся из военной системы в привычную часть гражданского быта.

### **Сегодняшнее состояние NAVSTAR GPS**

Запуск в марте 1994 г. 24-го спутника второго блока завершил формирование созвездия GPS. К этому времени на орбите еще оставался один спутник первого блока, который прослужил на 11 лет дольше расчетного срока. Еще до запуска последнего спутника было официально объявлено, что система поддерживает 100-метровую (стандартную) точность позиционирования для гражданских пользователей всего мира. Также было заявлено, что Министерство обороны США обязуется за 48 ч уведомлять гражданских пользователей о плановом отключении сервиса стандартного позиционирования и уведомлять так скоро, как это возможно, об аварийных ситуациях в системе.

Начиная с 1996 г., на орбиту начали выводить спутники нового типа, "Блок 2R", изготовленные компанией "Martin Marietta", принадлежащей аэрокосмическому отделению концерна "General Electric". Эти спутники имеют расширенные возможности, включая систему автономной навигации AUTONAV. В случае невозможности контакта с наземной станцией управления, автоматически включается система AUTONAV, позволяющая спутнику автономно функционировать без потери точности как минимум 180 дней.

На момент написания этой книги на орбите находилось 29 спутников NAVSTAR GPS, включая резервные. Для сравнения можно сказать, что в этот момент российская система ГЛОНАСС состояла всего из десяти неравномерно распределенных по орбитам спутников.

## *История развития радионавигации*

---

Во время разработки первоначальной концепции GPS считалось, что точности в 100 метров будет достаточно для гражданских применений. При испытаниях в конце 1970-х годов выяснилось, что коды стандартной точности позволяют достичь значительно лучших результатов. Реальная точность позиционирования в то время находилась в пределах 20...30 м. Для обеспечения преимущества военных в использовании GPS, было решено ввести преднамеренное ограничение точности для гражданских пользователей (режим избирательного доступа). Во-первых, вводились преднамеренные ошибки в передаваемые спутниками навигационные данные, во-вторых, намеренно занижалась точность эталонных сигналов времени, доступных гражданским пользователям. Разумеется, военным, в отличие от гражданских пользователей, всегда были доступны точные навигационные данные.

Применение GPS в гражданской практике очень бурно расширилось, и вскоре стандартная 100-метровая точность (SPS, Standard Positioning Service) перестала удовлетворять гражданских пользователей. Такой точности подчас было недостаточно даже для навигации небольшой частной яхты, не говоря уже о таких серьезных приложениях, как гражданская авиация.

Первоначально, в соответствии с Директивой правительства США, предполагалось, что режим избирательного доступа будет отключен в 2006 г. Однако задолго до этого срока мировое сообщество пользователей GPS стало выказывать активное недовольство принудительным ограничением точности. У крупнейших американских производителей навигационных систем возникли трудности с расширением рынков сбыта и они, со своей стороны, также начали давить на американское правительство. Наконец, 1 мая 2000 г. президент США сделал заявление о том, что в полночь с 1 на 2 мая Соединенные Штаты отключают принудительное ограничение точности. Это позволило в десять раз увеличить точность позиционирования для гражданских пользователей. Заявление президента США, выглядящее эффектным жестом доброй воли, совпало с участившимися слухами о том, что "заинтересованные стороны" уже научились обходить ограничение доступа и использовать GPS с боевой точностью.

Президент сделал оговорку, что США оставляют за собой право вновь включить избирательный доступ в случае возникновения угрозы национальной безопасности. Можно предположить, что за время, пока ограничение точности будет отключено, алгоритм ограничения изменится так, чтобы потенциальному противнику пришлось "взламывать" его заново. Впрочем, пока предпосылки для повторного введения ограничения точности не просматриваются. Даже прове-

---

дение боевых действий в Ираке не привело к этому. Гражданские пользователи имели лишь временные неудобства, связанные с техническими мероприятиями при подготовке орбитальной группировки к боевым действиям.

## **Эволюция гражданского применения GPS**

К сожалению, история официального применения GPS в гражданской практике начинается с печального эпизода. 16 сентября 1983 г. советские истребители сбили над территорией СССР самолет, принадлежащий Корейским авиалиниям и выполняющий рейс 007.

До сих пор нет единого объяснения причинам этого инцидента. Советский Союз заявил, что это провокация американских военных, которые использовали вторжение гражданского самолета на советскую территорию для слежения за работой системы противовоздушной обороны. Американская сторона, напротив, утверждала и продолжает утверждать, что самолет сбил с курса из-за неисправности бортового навигационного оборудования. Скорее всего, истина где-то посередине, и самолет действительно сбил с курса, а самолеты-шпионы, регулярно совершавшие тогда полеты вдоль советских границ, сполна использовали предоставившуюся возможность.

Как бы то ни было, но сразу после этого инцидента президент Рейган заявил, что система глобального позиционирования, принадлежащая Соединенным Штатам, будет сделана доступной для международного гражданского использования сразу же, как только станет полностью работоспособной. На десятой Конференции по аэронавигации, состоявшейся 5 сентября 1991 г. было объявлено, что начиная с 1993 г. система глобального позиционирования будет доступна на уровне стандартной точности, как бесплатная, непрерывная и всемирная, как минимум ближайшие 10 лет. Впоследствии этот срок распространили, по словам правительственных чиновников, "на все обозримое будущее". Как уже было сказано ранее, в 2000 г. был отменен режим избирательного доступа, после чего точность позиционирования гражданских объектов выросла в десять раз.

Внутри Соединенных Штатов гражданское использование GPS началось значительно раньше. Первым из рынков, который был поддержан правительством, стала геодезия. Еще в середине 1980-х годов приемники GPS стали применяться для государственной геодезической съемки. Несмотря на то, что спутников было мало и

## *История развития радионавигации*

---

сервис был не всегда доступен, это не мешало проведению геодезических измерений, которые не требовали навигации в режиме реального времени. Задачи, которые требовали недель и месяцев при традиционной геодезии, с применением GPS решались за несколько дней. Взрыв спроса на рынке профессионального геодезического оборудования и связанная с ним возможность заработать огромные деньги, привлекли внимание крупных корпораций к разработке все новых приложений для гражданского применения GPS.

Следующим, вполне логичным шагом, стало применение GPS в авиации. Для этого в 1992 г. был разработан стандарт TSO C129 (Technical Standard Order C129), в котором описывались требования к приемникам. Широко известная ныне компания Trimble Navigation первой прошла процедуру сертификации на соответствие стандарту C129 и в 1995 г. подписала с компанией Honeywell договор о совместных разработках оборудования GPS для коммерческого, космического и военного применения.

Правительственный контроль за экспортом оборудования GPS существенно снижал рынок сбыта. Вплоть до 1991 г. большая часть пользовательского оборудования GPS продавалась по индивидуальным лицензиям, выдаваемым Бюро по экспортным операциям. Начиная с 1 сентября 1991 г. ограничения были существенно пересмотрены и гражданское оборудование GPS, включая навигационные приемники, телекоммуникационное оборудование и приемные модули было допущено к свободному экспорту. Военные приемники, специальные антенны, шифрующие/дешифрующие блоки и некоторые другие устройства по прежнему запрещены для экспорта.

По иронии судьбы, война в Персидском заливе значительно способствовала развитию гражданского рынка оборудования GPS. Военная доктрина США к этому моменту уже была переориентирована на ведение высокотехнологичных боевых действий. В идеале, каждое механизированное боевое средство и каждый солдат должны были бы иметь приемник GPS. Но когда началась операция "Буря в пустыне", оказалось, что у Министерства обороны США чрезвычайно мало приемников GPS военного назначения. Правительство было вынуждено срочно приобрести тысячи гражданских приемников, инвестируя в компании-производители миллионы долларов. Большинство приемников было приобретено у компаний Trimble Navigation (10 000 приемников) и Magellan Systems (3 000). В результате более 90 процентов приемников GPS, использованных в операции, были гражданского назначения. Чтобы обеспечить необходимую

---

точность в военных условиях, правительству пришлось отключить режим избирательного доступа и обычные гражданские пользователи всего мира смогли в это время впервые испытать достоинства точного позиционирования.

Военные и гражданские пользователи, по сути, предъявляют к носимым приемникам GPS одни и те же требования: малый вес, низкая цена, надежность, простота в обращении. Поэтому не удивительно, что навигационное оборудование военного и коммерческого назначения в США производят одни и те же фирмы, и схемотехника приемников не имеет принципиальных отличий. Что касается управления системой и стратегического планирования развития, то в последнее время баланс влияния сместился от Министерства обороны к Министерству транспорта, которое курирует гражданские аспекты применения GPS.

## **1.2. Развитие радионавигации в СССР и России**

Если в США, как признают американские авторы [11], реальным толчком к развитию радионавигации послужил запуск первого советского спутника, то в СССР научное обоснование использования ИСЗ для целей радионавигации родилось еще до его запуска. Ведущая роль в создании основных теоретических положений спутниковой навигации принадлежит научному коллективу Ленинградской военно-воздушной инженерной академии (ЛВВИА) им. А.Ф. Можайского под руководством профессора В.С. Шебшаевича [2].

С точки зрения максимальной познавательности для читателя, представляется наилучшим решением процитировать слова опытных ученых, посвятивших многие годы развитию этой области науки и техники.

Академик М.Ф. Решетнев, имя которого ныне носит Красноярское НПО ПМ, так описывал основные этапы создания отечественной навигационной спутниковой системы [3]:

«Полномасштабные работы по созданию отечественной навигационной спутниковой системы были развернуты в середине 60-х годов, а 27 ноября 1967 г. был выведен на орбиту первый навигационный отечественный спутник ("Космос-192"). Спутник и ракетаноситель были разработаны и изготовлены Красноярским Научно-производственным объединением прикладной механики.

Навигационный спутник обеспечивал непрерывное в течение всего времени активного существования излучение радионавигационного сигнала на частотах 150 и 400 Мгц. Среднеквадратическая

## *История развития радионавигации*

---

погрешность местоопределения по этому спутнику составляла 250 ... 300 м.

В 1979 г. была сдана в эксплуатацию навигационная система первого поколения "Цикада" в составе 4-х навигационных спутников (НС), выведенных на круговые орбиты высотой 1000 км, наклоном  $83^\circ$  и равномерным распределением плоскостей орбит вдоль экватора. Она позволяет потребителю в среднем через каждые полтора-два часа входить в радиокontakt с одним из НС и определять плановые координаты своего места при продолжительности навигационного сеанса до 6 мин.

В ходе испытаний было установлено, что основной вклад в погрешность навигационных определений вносят погрешности передаваемых спутниками собственных эфемерид, которые определяются и закладываются на спутники средствами наземного комплекса управления. Поэтому наряду с совершенствованием бортовых систем спутника и корабельной приемоиндикаторной аппаратуры, разработчиками системы серьезное внимание было уделено вопросам повышения точности определения и прогнозирования параметров орбит навигационных спутников.

Была отработана специальная схема проведения измерений параметров орбит средствами наземно-комплексного управления, разработаны методики прогнозирования, учитывающие все гармоники в разложении геопотенциала.

Большой вклад в повышение точности эфемерид навигационных спутников внесли результаты работ по программе геодезических и геофизических Исследований с помощью специальных геодезических спутников "Космос-842" и "Космос-911", которые были выведены на навигационные орбиты. Это позволило уточнить координаты измерительных средств и вычислить коэффициенты согласующей модели геопотенциала, предназначенной специально для определения и прогнозирования параметров навигационных орбит. В результате точность передаваемых в составе навигационного сигнала собственных эфемерид была повышена практически на порядок и составляет в настоящее время на интервале суточного прогноза величину 70 ... 80 м, а среднеквадратическая погрешность определения морскими судами своего местоположения уменьшилась до 80 ... 100 м.

Для оснащения широкого класса морских потребителей разработаны и серийно изготавливаются комплекты приемоиндикаторной аппаратуры "Шхуна" и "Челн", Последняя имеет возможность работы и по спутникам американской радионавигационной

---

системы "Транзит".

В дальнейшем спутники системы "Цикада" были дооборудованы приемной измерительной аппаратурой обнаружения терпящих бедствие объектов, которые оснащаются специальными радиобуями, излучающими сигналы бедствия на частотах 121 и 406 Мгц. Эти сигналы принимаются спутниками системы "Цикада" и ретранслируются на специальные наземные станции, где производится вычисление точных координат аварийных объектов (судов, самолетов и др.).

Дооснащенные аппаратурой обнаружения терпящих бедствие спутники "Цикада" образуют систему "Коспас". Совместно с американско-франко-канадской системой "Сарсат" они образуют единую службу поиска и спасения, на счету которой уже несколько тысяч спасенных жизней.

Успешная эксплуатация низкоорбитальных спутниковых навигационных систем морскими потребителями привлекла широкое внимание к спутниковой навигации. Возникла необходимость создания универсальной навигационной системы, удовлетворяющей требованиям всех потенциальных потребителей: авиации, морского флота, наземных транспортных средств и космических кораблей.

Выполнить требования всех указанных классов потребителей низкоорбитальные системы в силу принципов, заложенных в основу их построения, не могли. Перспективная спутниковая навигационная система должна обеспечивать потребителю в любой момент времени возможность определять три пространственные координаты, вектор скорости и точное время. Для получения потребителями трех пространственных координат беззапросным методом требуется проведение измерений навигационного параметра не менее, чем до четырех спутников, при этом одновременно с тремя координатами местоположения потребитель определяет и расхождение собственных часов относительно шкалы времени спутниковой системы.

Исходя из принципа навигационных определений, выбрана структура спутниковой системы, которая обеспечивает одновременную в любой момент времени радиовидимость потребителем, находящимся в любой точке Земли, не менее четырех спутников, при минимальном общем их количестве в системе. Это обстоятельство ограничило высоту орбиты навигационных спутников 20 тыс. км (дальнейшее увеличение высоты не ведет к расширению зоны радиобзора, а, следовательно, и к уменьшению необходимого количества спутников в системе). Для гарантированной видимости потребителем не менее четырех спутников, их количество в системе должно составлять 18, однако оно было увеличено до 24-х с целью

## *История развития радионавигации*

---

повышения точности определения собственных координат и скорости потребителя путем предоставления ему возможности выбора из числа видимых спутников четверки, обеспечивающей наивысшую точность.

Одной из центральных проблем создания спутниковой системы, обеспечивающей беззапросные навигационные определения одновременно по нескольким спутникам, является проблема взаимной синхронизации спутниковых шкал времени с точностью до миллиардных долей секунды (наносекунд), поскольку рассинхронизация излучаемых спутниками навигационных сигналов в 10 нс вызывает дополнительную погрешность в определении местоположения потребителя до 10 ... 15 м.

Решение задачи высокоточной синхронизации бортовых шкал времени потребовало установки на спутниках высокостабильных бортовых независимых стандартов частоты с относительной нестабильностью  $1 \cdot 10^{-13}$  и наземного водородного стандарта с относительной нестабильностью  $1 \cdot 10^{-14}$ , а также создания наземных средств сличения шкал с погрешностью 3 ... 5 нс.

С помощью этих средств и специального математического обеспечения производится определение расхождений бортовых шкал времени с наземной шкалой и их прогнозирование для каждого спутника системы. Результаты прогноза в виде поправок к спутниковым часам относительно наземных закладываются на соответствующие спутники и передаются ими в составе цифровой информации навигационного сигнала. Потребителями, таким образом, устанавливается единая шкала времени. Расхождение этой шкалы с наземной шкалой времени системы не превышает 15 ... 20 нс.

Второй проблемой создания высокоорбитальной навигационной системы является высокоточное определение и прогнозирование параметров орбит навигационных спутников. Достижение необходимой точности эфемерид навигационных спутников потребовало проведения большого объема работ по учету факторов второго порядка малости, таких как световое давление, неравномерность вращения Земли и движение ее полюсов, а также исключение действия на спутник в полете реактивных сил, вызванных негерметичностью двигательных установок и газоотделением материалов покрытий.

Для экспериментального определения параметров геопотенциала на орбиты навигационных спутников были запущены два пассивных ИСЗ "Эталон" ("Космос-1989" и "Космос-2024"), предназначенных для измерения параметров их движения высокоточными квантово-оптическими измерительными средствами. Благодаря



---

этим работам достигнутая в настоящее время точность эфемерид навигационных спутников при прогнозе на 30 ч составляет: вдоль орбиты – 20 м; по бинормали к орбите – 10 м; по высоте 5 м (СКО). Летные испытания высокоорбитальной отечественной навигационной системы, получившей название ГЛОНАСС, были начаты в октябре 1982г. запуском спутника "Космос-1413"..."»

Вот что пишет во введении к [2] Ю.А.Соловьев:

«... Научные основы низкоорбитальных СРНС были существенно развиты в процессе выполнения исследований по теме "Спутник" (1958 – 1959 гг.), которые осуществляли ЛВВИА им. А.Ф. Можайского, Институт теоретической астрономии АН СССР, Институт электромеханики АН СССР, два морских НИИ и Горьковский НИРФИ. Работы проводились с участием крупных специалистов по аналитической механике (чл.-корр. АН СССР А.И. Лурье) и расчетам орбит (проф. П.Е. Эльясберг). В коллективах этих организаций по проблеме активно работали Ю.В. Батраков, Е.Д. Голиков, В.П. Заколюдяжный, Э.А. Жижемский, М.М. Кобрин, А.А. Колосов, Л.И. Кузнецов, В.Ф. Проскурин, А.Н. Радченко, Н.К. Сергеев, Б.А. Смольников, Е.Ф. Суворов, В.А. Фуфаев, Г.И. Черепанов, Е.П. Чуров, В.И. Юницкий и др. Основное внимание при этом уделялось вопросам повышения точности навигационных определений, обеспечения глобальности, круглосуточности применения и независимости от погодных условий.

Проведенные работы позволили перейти в 1963 г. к опытно-конструкторским работам над первой отечественной низкоорбитальной системой, получившей в дальнейшем название "Цикада".

В создании этой системы приняли участие: Научно-производственное объединение прикладной механики (НПО ПМ) – головная организация по системе в целом и по разработке навигационных спутников (НС); Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения (РНИИ КП) – головная организация по радиотехническому комплексу системы, разработке бортовой космической и наземной радиотехнической аппаратуры, а также бортовой аппаратуры морских судов; Российский институт радионавигации и времени (РИРВ) – разработчик бортовой космической аппаратуры синхронизации и навигационной аппаратуры ряда типов морских судов, а также другие предприятия космической, радиотехнической и судостроительной отраслей промышленности СССР.

Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС запатентована в Соединенных Штатах Америки..."»

И далее в [2] Ю.А.Соловьев продолжает:

«...В 1995 г. было завершено развертывание СРНС ГЛОНАСС до ее штатного состава (24 НС). В настоящее время предпринимаются большие усилия по поддержанию группировки.

Разработаны самолетная аппаратура АСН-16, СНС-85, АСН-21, наземная аппаратура АСН-15 (РИРВ), морская аппаратура "Шкипер" и "Репер" (РНИИ КП) и др.

Работы по созданию спутниковых радионавигационных систем осуществлялись помимо НПО ПМ (руководители работ М.Ф. Решетнев, А.Г. Козлов, Г.М. Чернявский, В.Ф. Черемисин) коллективами РНИИ КП (руководители работ Л.И. Гусев, М.И. Борисенко, Н.Е. Иванов, В.А. Салищев), РИРВ (руководители работ П.П. Дмитриев, А.Ф. Смирновский, ГО, Г. Гужва, А.Г. Геворкян, Ю.М. Устинов, С.Н. Ключников, И.В. Кудрявцев, Г.С. Цеханонич, Б.В. Шибшаевич, В.Ю. Кутков) при активном участии руководителей и специалистов министерства общего машиностроения (ныне Российское космическое агентство) Ю.П. Коптева, Ю.Г. Милова и Ю.В. Медведкова, научно-исследовательскими учреждениями министерств обороны, гражданской авиации, морского флота, Управления по геодезии и картографии и др.

Основным заказчиком и ответственным за испытания и управление системами являются Военно-космические силы РФ.

Механизм государственного контроля и координации работ по СРНС ГЛОНАСС осуществляется на межведомственной основе Координационным Советом, созданным в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 237 от 7 марта 1995 г. Рабочим органом Координационного совета определен научно-технический центр "Интернавигация".

В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 237 от 7 марта 1995 г. основными направлениями дальнейших работ являются:

модернизация СРНС ГЛОНАСС на основе модернизированного спутника ГЛОНАСС-М с повышенным гарантийным сроком службы (пять лет и более вместо трех и настоящее время) и более высокими техническими характеристиками, что позволит повысить надежность и точность системы в целом;

внедрение технологии спутниковой навигации в отечественную экономику, науку и технику, а также создание нового поколения навигационной аппаратуры потребителей, станций дифференциальных поправок и контроля целостности;

разработка и реализация концепции российской широкозонной

---

дифференциальной подсистемы на базе инфраструктуры Военно-космических сил и ее взаимодействия с ведомственными региональными и локальными дифференциальными подсистемами, находящимися как на территории России, так и за рубежом;

развитие сотрудничества с различными международными и зарубежными организациями и фирмами в области расширения использования возможностей навигационной системы ГЛОНАСС для широкого круга потребителей;

решение вопросов, связанных с использованием совместных навигационных полей систем ГЛОНАСС и GPS в интересах широкого круга потребителей мирового сообщества: поиск единых подходов к предоставлению услуг мировому сообществу со стороны космических навигационных систем;

согласование опорных систем координат и системных шкал времени; выработка мер по недопущению использованию возможностей космических навигационных систем в интересах террористических режимов и группировок.

Работы в указанных направлениях ведутся в соответствии с требованиями, выдвигаемыми различными потребителями (воздушными, морскими и речными судами, наземными и космическими средствами, топогеодезическими, землеустроительными и другими службами)...»