

Ю. С. ДУБИНКО, В. Д. КУСКОВ, Б. Г. МОРДВИНОВ,
Е. Л. НОВИКОВА, В. М. ПАНТЕЛЕЕВ

ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ РАЗВИТИЯ В США И СССР – РОССИИ

В статье рассмотрены основные этапы истории разработки и создания отечественных («Парус», «Цикада» и ГЛОНАСС) и зарубежных (*Transit* и *GPS*) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), а также функциональных дополнений к ним *WAAS*, *EGNOS*, *MSAS* и др. Особое внимание уделено рассмотрению изменений идеологии развития российской системы ГЛОНАСС, происходящих в настоящее время под давлением США, которые лоббируют переход ГЛОНАСС на американские технические стандарты. По мнению авторов настоящей статьи, подобный шаг был бы большой ошибкой, поскольку привел бы к потере Россией возможности в будущем перейти на более прогрессивные методы позиционирования и к тому же лишил бы ГЛОНАСС и связанные с ней организации и фирмы финансовых средств, необходимых для развития.

Ключевые слова: история, разработка, создание, ГНСС, «Парус», «Цикада», *Transit*, ГЛОНАСС, *GPS*, функциональные дополнения.

Потребность в технических средствах навигации изначально родилась на морских просторах. Где находится корабль? какова его скорость движения? когда он достигнет пункта назначения? – мореходам прошлого нужно было как-то находить ответы на эти и другие вопросы. Сначала они ориентировались по тому, что видели перед глазами: по цвету воды, направлению полета птиц и движения облаков, перемещению Солнца, Луны и звезд. Но постепенно появлялись нужные морякам инструменты, пособия по мореплаванию и приборы: вначале астрольбия, песочные часы, портуланы; затем – карты, таблицы склонения светил, магнитный компас; далее – хронометр, эхолот, радиопеленгатор; уже в наше время – радионавигационные системы различного типа и назначения, и, наконец, венец навигационной техники – глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС).

Их появление совершило революцию в штурманском деле. Сбылась вековая мечта штурманов – в любое время дня и ночи в любой точке мирового океана при любой погоде знать точные координаты своего корабля.

Из истории создания отечественной низкоорбитной ГНСС

Отечественная ГНСС первого поколения «Парус» (работы по этой системе получили шифр «Циклон») создавалась усилиями нескольких научных учреждений и производственных предприятий СССР, но особое место среди них принадлежит Научно-исследовательскому гидрографическо-штурманскому институту (НИГШИ) ВМФ, в недрах которого впервые в Советском Союзе родилась идея использования искусственных спутников Земли (ИСЗ) в целях навигации. Первым ее высказал в 1955 г. старший научный сотрудник этого института бывший флотский штурман Вадим Алексеевич Фуфаев¹. Эта идея в СССР была реализована сначала в ГНСС «Парус» и «Цикада», а позже – в системе ГЛОНАСС.

Глобальные навигационные спутниковые системы первого поколения (в СССР – упомянутые «Парус» и «Цикада», в США – *Transit*) были низкоорбитными (высота – 1000 км, период обращения – 105 мин.), околополярными (наклонение их орбит к плоскости экватора составляло, соответственно, 83 и 90°) и обладали сходными техническими и эксплуатационными характеристиками. Разработка советских ГНСС началась с того, что после запуска в СССР первых спутников в НИГШИ была оперативно создана инициативная группа, которая организовала проведение предварительных исследований по трем направлениям:

- дальномерному методу определения координат (В. А. Фуфаев);
- доплеровскому методу определения координат (В. П. Заколядажный);
- по определению поправки системы курсоуказания и по угломерным методам определения координат (Е. Ф. Суворов)².

В начале 1960 г. сотрудниками НИГШИ с участием ведущих сотрудников НИИ-4 Министерства обороны (НИИ-4 МО) был разработан аванпроект отечественной низкоорбитной ГНСС. Но дальше движение застыло.

История создания ГНСС в СССР и США проходила по внешне похожим сценариям, однако в силу политико-экономических различий, ряда организационных, технических и других причин продвижение к цели советской стороны шло значительно медленнее, чем американской. Только после того как в 1963 г. стало известно о введении в эксплуатацию в США системы *Transit*, 15 января 1964 г. было принято правительственное решение № 8 о создании аналогичной отечественной навигационной спутниковой системы «Циклон».

Главным разработчиком системы стало ОКБ-10, главным конструктором – Михаил Федорович Решетнев. Головной организацией по разработке радиооборудования был назначен НИИ приборостроения (НИИП), а главным конструктором – Михаил Иванович Борисенко. Головная организация по разработке систем связи – НИИ-685, главный конструктор системы связи – Николай Николаевич Несвит. Помимо ученых НИГШИ, вышеперечисленных главного разработчика и головных организаций в научных разработках также принимали активное участие ученые НИИ-4 МО (А. И. Соколов, Ю. А. Моз-

¹ Суворов Е. Ф. Летопись зарождения, развития и первых шагов реализации идеи отечественной спутниковой системы (рукопись). Личный архив Б. Г. Мордвинова.

² Там же, С. 50.

жорин, П. Е. Эльясберг, В. Д. Ястребов, И. А. Артельщиков и др.) и Ленинградской военной инженерной краснознаменной академии им. А. Ф. Можайского (в лице В. С. Шебшаевича) ³.

Эскизный проект экспериментальной системы был закончен в июле 1966 г. В соответствии с ним было принято решение установить элементы экспериментальной системы на измерительных пунктах под Ленинградом и Москвой, на океанографическом судне «Николай Зубов» и на трех подводных лодках – Б-36, Б-73 и Б-88.

Летно-конструкторские испытания системы «Циклон» начались в 1967 г. Для их проведения были запущены вначале «Космос-192» (25 ноября 1967 г.) (между прочим, первый отечественный навигационный космический аппарат (НКА), а затем «Космос-220» (7 мая 1968 г.), «Космос-292» (14 августа 1969 г.) и «Космос-332» (11 апреля 1970 г.).

К лету 1970 г. летно-конструкторские испытания успешно завершились, и 29 июля 1970 г. был подписан акт о завершении испытаний системы, согласно которому она показала следующую точность (при суточном прогнозе эфемерид НКА):

- доплеровская система – 1,5 км;
- дальномерная система – 1,8 км;
- поправка системы курсоуказания – 3–4 угловые минуты.

Подписание акта позволило перейти к опытной эксплуатации системы «Циклон», состоявшей на тот момент из четырех НКА. А в сентябре 1976 г. состоялось принятие отечественной ГНСС на вооружение под названием «Парус». К этому моменту основные точностные характеристики системы были таковы:

- средняя квадратическая погрешность (СКП) определения координат в море на ходу – в пределах 250 м;
- СКП определения координат в порту на швартовых – в пределах 60 м;
- СКП определения поправки курсоуказания – в пределах 3,5 угловых минут.

При этом длительность наблюдения составляла от 6 до 15 мин.

Система была защищена авторским свидетельством № 59171, зарегистрированным 19 октября 1971 г. в Государственном реестре изобретений СССР с приоритетом от 5 мая 1970 г. ⁴

По техническим характеристикам навигационная спутниковая система «Парус» значительно отличалась от аналогичной американской системы *Transit*, которая позволяла определять только плановые координаты места. НКА «Парус» в отличие от НКА *Transit* были оснащены ретранслятором для радиотелеграфной связи подводных лодок и кораблей ВМФ с береговыми пунктами управления и между собой. Связь могла осуществляться как при нахождении абонентов в зонах совместной радиовидимости, так и глобально, но с задержкой связи на определенное время (на время переноса сообщений НКА от одного абонента к другому). Для коррекции корабельной системы

³ Федотов А. В., Доведов Е. С. Краткая история создания спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС // Навигация и гидрография. 1998. № 7. С. 57–60.

⁴ Суворов. Летопись зарождения... С. 124.

указания курса предназначался специальный дополнительный радиосигнал. Такое увеличение функциональной нагрузки на спутник делало его не только навигационным, но и связным, а создаваемую на его основе спутниковую систему – навигационно-связной спутниковой системой (первой в мировой практике, можно сказать)⁵.

Создание системы «Парус» произвело настоящую революцию в отечественной навигации. Впервые суда нашей страны смогли определять с высокой точностью свое местоположение независимо от погоды, времени суток и года в любой точке Мирового океана.

Система «Парус» обслуживала только военных потребителей. Для обслуживания гражданских министерств и ведомств на ее упрощенной основе (с НКА была снята военная навигационная и связная аппаратура) была создана система «Цикада», принятая в эксплуатацию в 1979 г. Она имела в составе орбитальной группировки четыре НКА, в то время как в системе «Парус» орбитальная группировка в разное время состояла из 6–7 НКА. Наземный комплекс управления у них был общим. Позже (в 1980-х гг.) на борту НКА «Цикады» была установлена аппаратура системы спасения «Коспас – Сарсат» (в печати эту систему иногда образно называли «Надеждой»). Обе эти системы – «Парус» и «Цикада» – успешно функционируют по сей день.

А система *Transit* была выведена из эксплуатации в 1996 г., после ввода в строй системы *GPS*.

Из истории создания американской низкоорбитной ГНСС

В США идея использовать спутники для нужд навигации возникла сразу после запуска в СССР 4 октября 1957 г. первого в мире ИСЗ. Изучая радиосигнал, испускаемый последним, У. Г. Гуйер и Дж. К. Виффенбах из Лаборатории прикладной физики университета Джонса Хопкинса (*APL*) обратили внимание на сильное доплеровское смещение частоты сигнала, излучаемого пролетающим спутником, и разработали компьютерную программу, позволяющую с помощью этого смещения определить параметры орбиты спутника за один его проход. Сотрудник этой же лаборатории Ф. Т. Мак-Клор понял, что если можно вычислить орбиту спутника с помощью измерений доплеровского смещения частоты излучаемого им сигнала на наземной станции, то возможен и обратный вариант – вычисление по уже известным параметрам орбиты с помощью того же смещения частоты неизвестных координат наземного радиоприемного устройства⁶. Мак-Клор изложил данную концепцию Р. Кершнеру, возглавлявшему тогда отдел по поддержке проекта «Полярис», который тут же организовал небольшую группу квалифицированных ученых и специалистов для разработки ГНСС, получившей название *Transit*, и сам возглавил работу этой группы.

⁵ Тестоедов Н. А. Прошлое, настоящее и будущее космической навигации // Аэрокосмический курьер. 2011. № 2. С. 58–61 (см. также: <http://www.iss-reshetnev.ru/?cid=publications&pid=43>).

⁶ Parkinson, B. W., Stansell, T., Beard, R., Gromov, K. A History of Satellite Navigation // Navigation. 1995. Vol. 42. No. 1. P. 109–164.

Таким образом, система *Transit* родилась при сопряжении насущных потребностей с передовыми технологиями. Потребность заключалась в необходимости создания системы точной навигации для нового класса подводных лодок, специально разработанных для размещения ракет «Полярис».

К лету 1958 г. был изготовлен первый опытный НКА системы *Transit*. После разного рода испытаний и проверок, 17 сентября 1959 г. он, как демонстрационный, был запущен на орбиту. К этому моменту *уже были созданы* опытные образцы навигационной аппаратуры потребителей (НАП), аппаратура наземных станций слежения за НКА и ввода данных, разработано соответствующее математическое обеспечение. Темп работ наших заокеанских коллег вызывает восхищение. К концу 1959 г. были разработаны пять (!) типов различных экспериментальных навигационных ИСЗ, и в период с апреля 1960-го по ноябрь 1961 г. спутники всех пяти типов изготовлены (причем по два экземпляра каждого типа), оттестированы, испытаны и запущены на орбиту.

Первый полностью отработанный НКА был запущен и начал нормально функционировать уже в декабре 1963 г. К этому моменту были отработаны и все другие элементы системы – корабельная НАП, станции слежения и ввода данных, вычислительный центр, центр управления системой, математическое обеспечение. Поразительная скорость создания столь сложной и абсолютно новой системы! С учетом ранее запущенных экспериментальных НКА система *Transit* фактически начала свое функционирование уже в 1963 г.

К середине января 1964 г. на орбитах вокруг Земли уже действовали четыре полностью отработанных (или, как говорят, серийных, или штатных) НКА. В этом же году система *Transit* была официально принята на вооружение и началось ее полномасштабное использование (сначала военными, а с 1967 г. – и всеми другими пользователями). Этот год – 1964-й – и считается в США годом создания ГНСС *Transit*⁷.

Из истории создания отечественной среднеорбитной ГНСС

Первые высказывания о необходимости создания системы, удовлетворяющей потребностям не только морских, но и наземных и авиационных ведомств, прозвучали в выступлениях специалистов НИГШИ, Ленинградского научно-исследовательского радиотехнического института (ЛНИРТИ, ныне РИРВ – Российский институт радионавигации и времени) и Центрального научно-исследовательского института машиностроения (ЦНИИМАШ) на научно-техническом совете ВМФ, проведенном еще в 1966 г. На нем было принято решение о формулировании предложений по созданию новой системы. В этой работе принимали участие: от Военно-морской академии – Ю. С. Дубинко и Е. П. Чуров, от Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны – В. А. Фуфаев, от НИГШИ – группа в составе Е. С. Доведова, Э. А. Жижемского, В. Н. Кефала, Н. Д. Кириченко и В. А. Панкевича. После

⁷ Parkinson, B. W., Powers, S. T. The Origins of GPS and the Pioneers Who Launched the System // GPS World. 2010. Vol. 21. No. 5. P. 30–41.

подробного рассмотрения и обсуждения предложения были утверждены начальником НИГШИ Ю. И. Максюты, очень внимательно и профессионально относившемуся к этим вопросам.

В 1969 г. в рамках научно-исследовательской работы «Прогноз» (научный руководитель Ю. И. Максюты, заместитель научного руководителя С. Я. Генералов) было выполнено аргументированное обоснование необходимости и возможности создания среднеорбитной ГНСС⁸.

Такая система, позже получившая название ГЛОНАСС, создавалась также при участии большого количества организаций, но решающую роль в этой работе играли предприятия, разрабатывавшие ГНСС первого поколения «Парус» и «Цикада», в том числе Красноярское ОКБ прикладной механики, Московский НИИ приборостроения, ЛНИРТИ⁹.

Первый спутник ГЛОНАСС был выведен Советским Союзом на орбиту 12 октября 1982 г. А 24 сентября 1993 г. система была официально принята в эксплуатацию, хотя еще и не в полном составе. Но в 1995 г. ее спутниковая группировка была доведена до штатных 24 аппаратов, доработан наземный комплекс управления системой, и она заработала в штатном режиме.

Точностные характеристики ГЛОНАСС на тот момент были таковы:

- СКП определения координат (в стандартном режиме) – 15–25 м,
- СКП определения составляющих скорости (в стандартном режиме) – 5–6,5 см/с,
- СКП определения времени (в стандартном режиме) – 0,25–0,5 мкс¹⁰.

Впоследствии из-за недостаточного финансирования, малого срока активного существования НКА, отсутствия запусков очередных НКА число работающих спутников постепенно сокращалось и в 2001 г. достигло пяти¹¹. В это трудно поверить, но дело шло к ликвидации системы ГЛОНАСС¹².

Серьезный рывок в своем развитии ГЛОНАСС получила в августе 2001 г., когда Правительством РФ была принята федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система», согласно которой полное покрытие территории России планировалось обеспечить уже в начале 2008 г., а глобального покрытия система должна была достичь к началу 2010 г.

По официальным источникам¹³, на 15 марта 2012 г. спутниковая группировка ГЛОНАСС состояла из 31 НКА, из которых по целевому назначению использовались 24, на этапе ввода в систему находился 1, временно выведены на техобслуживание были 2, 3 числились в орбитальном резерве и 1 находился на этапе летных испытаний.

Навигационная аппаратура потребителей ГЛОНАСС была разработана только для специальных применений и в отличие от таковой *GPS* первое время была практически недоступна для индивидуальных пользователей. Сейчас,

⁸ Федотов, Доведов. Краткая история создания... С. 58.

⁹ Там же. С. 59.

¹⁰ Афанасьев В. В., Маринич А. Н., Приютнюк А. В., Устинов Ю. М. Судовые радионавигационные системы. М., 2010.

¹¹ Там же. С. 69.

¹² Самкова Е. Спутниковые системы ГЛОНАСС и GPS // Встраиваемые системы и средства автоматизации. 2009. № 1. С. 24–27

¹³ См.: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/GLONASS/>.

однако, разработка различных моделей НАП ГЛОНАСС идет полным ходом, в том числе и совмещенных приемников ГЛОНАСС/GPS. Это самое удачное с точки зрения потребителя решение, поскольку такие приемники используют большее количество видимых спутников и их координаты определяются более точно, повышается и надежность координатно-временного обеспечения потребителей.

Глава Федерального космического агентства А. Н. Перминов 1 июня 2010 г. сообщил:

К настоящему времени в России разработаны 33 образца навигационной аппаратуры потребителей для гражданских пользователей системы ГЛОНАСС и 38 образцов – для специальных пользователей ¹⁴.

Вице-премьер правительства РФ С. Б. Иванов в своем выступлении 1 июня 2011 г. на открытии в Москве V Международного форума по спутниковой навигации отметил, что руководство страны «будет и дальше всемерно содействовать развитию национальной глобальной навигационной спутниковой системы», что 2012–2020 гг. должны стать периодом активного внедрения навигационных технологий в различных отраслях. Он также подчеркнул необходимость «коммерциализации системы на основе государственно-частного партнерства со значительным преобладанием доли частного капитала». Пока в России, по его словам, только 10 % государственного и муниципального транспорта оснащено датчиками системы ГЛОНАСС, что очень мало ¹⁵.

Из истории создания американской среднеорбитной ГНСС GPS

По мере практического использования ГНСС первого поколения *Transit* (в середине и конце 60-х гг. прошлого века) постепенно выяснялось, что она помимо достоинств – глобальности, всепогодности, высокой точности – имеет ряд недостатков, главными из которых являются дискретность обсерваций, невозможность определить третью координату – высоту местоположения, а также большая длительность обсерваций. Кроме того, со временем постепенно повышались требования потребителей к точности обсерваций, удовлетворить которые *Transit* уже не мог, так как СКП в 60 м фактически была пределом его точности ¹⁶.

Американским военным стало ясно: нужна ГНСС, которая бы позволяла за секунды определять не две, а три координаты, а также точное время; при этом дискретности обсерваций быть не должно; необходимо также повысить точность определения положения потребителей; кроме того, последние должны иметь возможность определять свою скорость и (в перспективе) ориентацию в пространстве. И американские военные, ученые и инженеры занялись

¹⁴ См.: <http://armstass.su/?page=article&aid=84863&cid=%0A25>.

¹⁵ См.: <http://spacecorp.ru/press/corpnews/item1288.php>.

¹⁶ Stansell, Th. A., Jr. Transit, the Navy Navigation Satellite System // Navigation. 1971. Vol. 18. N 1. P. 93–109.

разработкой и созданием ГНСС второго поколения *GPS (NAVSTAR)*, которая должна была обеспечить выполнение всех этих требований.

GPS (Global Positioning System) в переводе означает «Глобальная система определения координат места». В ряде официальных документов, а чаще в СМИ, *GPS* называют системой *NAVSTAR (Navigation Satellite Providing Time and Range)* – Навигационная спутниковая система для определения времени и расстояния).

Программа *GPS* родилась от слияния программ *Timation* и *Air Force 621B*. В рамках первой программы (1966–1970) была разработана система синхронизации, а в рамках второй (в эти же годы) – концепция сложного сигнала, основанная на технологиях псевдослучайного шума. Как система синхронизации, так и концепция сложного сигнала легли в основу программы *GPS*.

При разработке концепции *GPS* ее создатели придерживались десяти принципов, основными из которых были следующие четыре:

- одновременного пассивного определения дальности до четырех спутников;
- использования для расчета и исключения поправок на ионосферную групповую задержку двух частот передачи сигналов;
- прогнозирования орбит по усовершенствованным программам прогнозирования орбит, разработанным ранее для ГНСС *Transit*;
- размещения главной и резервной станций управления на территории США, а контрольно-измерительных станций – по всему миру¹⁷.

GPS с самого начала создавалась как система двойного назначения. Гражданские потребители должны были использовать так называемый сигнал с кодом свободного доступа.

Реализация программы осуществлялась быстрыми темпами: первый опытный образец спутника был запущен уже в феврале 1978 г. К этому моменту все основные виды аппаратуры потребителя (7 основных видов аппаратуры, интегрированных в 11 видов наземных, водных и воздушных подвижных средств, а также в переносные комплексы) уже прошли предварительные испытания. К сожалению, у нас этот опыт своевременно на вооружение взят не был. К чему это привело – всем известно: дорогостоящая ГЛОНАСС функционирует с 1995 г., а доступной потребителям аппаратуры, использующей эту систему (кроме специальной), – все еще относительно мало.

В начале 1995 г. система *GPS* была полностью развернута.

Орбитальная группировка *GPS* обычно поддерживается на уровне 30 НКА (при 24 достаточных для штатной работы системы), находящихся в шести орбитальных плоскостях, имеющих наклонение 55°. Высота орбит составляет порядка 20 тыс. км.

В системе *GPS* имеется возможность в особых случаях намеренно снижать точность передаваемого сигнала путем изменения синхронизации спутниковых часов или внесением погрешностей в эфемериды спутников.

Основными инновациями *GPS* являются *CDMA*-сигнал (с расширенным спектром или с *PRN*-модуляцией), используемый для пассивного определе-

¹⁷ Parkinson, Stansell, Beard, Gromov. A History of Satellite Navigation...

ния дальности, кодовое разделение каналов и отработанная система синхронизации.

При сочетании *GPS* с каким-либо видом дифференциальной подсистемы (о них несколько слов будет сказано ниже) результатом является очень высокая точность определения местоположения потребителей, в геодезических приложениях она является беспрецедентной – менее одного миллиметра¹⁸.

На сегодня навигация по *GPS* распространяется по всем странам подобно взрыву, а *GPS*-навигаторы заполнили весь мир, в том числе Россию.

Из истории создания функциональных дополнений

Уровень основных характеристик ГНСС можно существенно повысить за счет создания так называемых функциональных дополнений, как бы расширяющих ее возможности. Наиболее рациональным способом подобного расширения считается применение дифференциального режима работы, позволяющего добиться существенного повышения точности, надежности и эффективности координатно-временного обеспечения.

Суть дифференциального режима заключается в том, что при его применении почти полностью исключаются квазипостоянные погрешности измерения радионавигационных параметров, которые, как правило, в несколько раз превышают случайные погрешности измерения. Эти квазипостоянные погрешности определяются на контрольной корректирующей станции и передаются по радио потребителю, который корректирует с их помощью свою информацию. При этом СКП в определении координат и скорости потребителя снижаются в разы¹⁹.

Реализуется дифференциальный метод с помощью дифференциальных подсистем (ДПС) разного рода: локальных (ЛДПС), региональных (РДПС), континентальных (называемых также широкозонными – ШДПС).

ЛДПС чаще всего включают одну контрольно-корректирующую станцию, аппаратуру управления и контроля (в том числе контроля целостности) и средства передачи данных.

К настоящему времени определились три основных класса ЛДПС:

- морские – для обеспечения мореплавания в проливных зонах, узкостях и акваториях портов и гаваней;
- авиационные – для обеспечения захода на посадку и посадки воздушного судна;
- специальные – для геодезических, землемерных и других работ особых видов.

Морские ЛДПС уже установлены в более чем сорока странах. Они размещены практически по всему побережью США, Исландии, в странах Европы.

¹⁸ Parkinson, B. W., Powers, S. T. The Origins of GPS and the Pioneers Who Launched the System // GPS World. 2010. Vol. 21. No. 5. P. 30–41.

¹⁹ Афанасьев и др. Судовые радионавигационные системы... С. 96.

12 радиомаяков расположены вдоль побережья Австралии. Отмечается также их размещение в Китае, Индии, Южной Африке и ряде других мест²⁰.

К настоящему времени разработано несколько типов авиационных ЛДПС. Эти подсистемы отличаются многими достоинствами, главным из которых является то, что при сравнительно небольшом составе оборудования можно существенно улучшить качество обслуживания летательных аппаратов в сложных метеоусловиях.

Региональные ДПС предназначены для навигационного обеспечения отдельных регионов континента, моря, океана и могут иметь в своем составе не одну, а несколько контрольных корректирующих станций и соответствующие средства передачи потребителям дифференциальных поправок и сигналов целостности. Региональные ДПС разделяют на два класса:

- *SBAS (Space Based Augmentation Systems)* – системы функционального дополнения космического базирования. Для передачи дифференциальных поправок *SBAS* используют, как правило, геостационарные космические аппараты;

- *GBAS (Ground Based Augmentation)* – системы функционального дополнения наземного базирования. *GBAS* для передачи дифференциальных поправок используют наземные передающие радиостанции.

Примером уже существующей РДПС является ДПС *Starfix* фирмы *Fugro*. Она имеет дальность свыше 2000 км. В ее составе числится 60 наземных контрольных корректирующих станций, она использует 4 спутника *Inmarsat* и охватывает многие районы всех континентов за исключением части Африки и Азии (Россия), а также акватории прилегающих морей и океанов.

Широкое распространение получили континентальные, или широкозонные, дифференциальные подсистемы *SBAS*²¹, а именно:

- *WAAS (Wide Area Augmentation System* – широкозонная система расширения возможностей) покрывает территорию США;

- *EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service* – Европейская геостационарная расширяющая служба) покрывает территорию Европы;

- *MSAS (Multifunctional Satellite Based Augmentation System)* покрывает территорию Японии;

- *GAGAN (GPS and GEO (Geostationary Earth Orbit) Augmented Navigation)* покрывает территорию Индии;

- СДКМ (система дифференциальной коррекции и мониторинга) покрывает территорию России.

Ведутся работы по созданию корейской широкозонной дифференциальной подсистемы ГНСС *Korean WADGPS*, а также работы по созданию ШДПС Китая и Тайваня²².

²⁰ GLONASS, GPS and GALILEO: Present and Future Aspects // Hydro International. 2003. Vol. 7. No. 3. P. 52–53 (см. также: http://www.hydro-international.com/issues/articles/id88-GLONASS,_GPS_and_GALILEO_Present_and_Future_Aspects.html).

²¹ Соловьев Ю. А., Царев В. М., Коровин А. В., Устюжанин Д. А. Азиатские региональные спутниковые системы и широкозонные дифференциальные подсистемы ГНСС // Новости навигации. 2009. № 2. С. 25–33.

²² Там же. С. 28, 31, 32.

В ШДПС реализован принципиально иной метод формирования коррекций, а именно в виде поправок к эфемеридным данным и параметрам ионосферной модели. Передается такая информация потребителям через геостационарный спутник²³.

Каждая из перечисленных широкозонных подсистем в пределах своей рабочей зоны, обслуживаемой одним геостационарным спутником, содержит от 20 до 30 наземных пунктов мониторинга, расположенных в местах с координатами, известными с высокой точностью. Приемники в этих пунктах синхронно измеряют квазидальности и скорости изменения квазидальности до всех видимых НКА, вычисляют разности между измеренными и вычисленными их значениями и полученные величины передают на центральный пункт обработки. Там для каждого НКА в результате статистической обработки этих данных определяются значения временных и эфемеридных поправок, которые передаются на геостационарный спутник. Последний ретранслирует полученную информацию потребителям.

Результирующая погрешность определения положения потребителя с учетом корректирующих поправок, переданных с геостационарного спутника, как правило, в 10–15 раз меньше по сравнению со стандартным режимом работы НАП²⁴.

Эволюция проблемы координатно-временного обеспечения (КВО) ГЛОНАСС и современные проблемы высокоточного космического КВО

К моменту начала разработки и создания ГЛОНАСС стали очевидными несколько фактов, существенно повлиявшие на построение навигационной системы:

- доплеровский метод, реализованный в ГНСС *Transit*, «Парус», «Цикада», требующий длительных обсерваций, исчерпал себя. Нужен был принципиально другой метод, а именно метод «мгновенного» позиционирования;

- США в ходе построения своей «временной системы позиционирования» опередили Россию примерно на 9 лет, решив главное – создав систему синхронизации и систему глобального слежения за ходом бортовых часов;

- к моменту начала разработки ГЛОНАСС (1975) наша отечественная наука, как военная, так и гражданская, не была готова к созданию подобной системы на основе беззапросных временных измерений.

Для построения ГЛОНАСС требовалось более точное знание взаимных движений земной и астрономической систем координат, геодинамических явлений, связанных с вращением Земли (чего не требовалось для построения ГНСС первого поколения). Поэтому в первичном техническом зада-

²³ См.: <http://www.demetra5.kiev.ua/ru/info/articles/SBAS>.

²⁴ Афанасьев и др. Судовые радионавигационные системы... С. 111.

нии на новую систему требования к геодезическим основам отсутствовали. Они стали предметом изучения и формирования лишь в ходе разработки системы.

Первоначально заказчик – Министерство обороны СССР – к проблеме координатно-временного обеспечения отнеслось как к фундаментальной научной задаче, которую должна решать АН СССР. Но при этом техническое задание академии выдано не было. Чуть позже необходимость и важность этой проблемы была осознана руководством ЦНИИ-50 Министерства обороны, представлена главному Ракетных войск маршалу В. Ф. Толубко и оформлена в виде межведомственной научно-исследовательской работы (НИР) «Гарантия-МО». Ее результаты дополнили общее техническое задание.

Постановке этой НИР предшествовал период (1974–1978) изучения основ фундаментального астрономо-геодезического обеспечения создававшейся ГЛОНАСС²⁵. Анализ выявил неготовность традиционных служб всемирного времени, геодинамики к согласованному функционированию, обеспечивающему заданные точностные характеристики разрабатываемой ГНСС. К примеру, потенциальная точность ГЛОНАСС на 1980 г. при традиционном существующем временном, астрономо-геодезическом и геодинамическом обеспечении не могла превысить 15 м!

Оценка состояния систем и средств фундаментального обеспечения космической навигации в государственном масштабе была дана в постановлении № 217 от 1978 г., подготовленном Комиссией Совета министров по военно-промышленным вопросам на основании выводов НИР «Гарантия-МО»²⁶. В отчете по этой НИР, согласованном с АН СССР, Госстандартом, Министерством радиопромышленности, Военно-топографическим управлением, Министерством общего машиностроения, Главным управлением геодезии и картографии (ГУГК), была сформулирована сущность проблемы КВО, и поставлена задача разработки единой государственной программы КВО страны (единой системы координатно-временного обеспечения – ЕС КВО).

Понимание сущности этой задачи, которое было достигнуто при выполнении НИР «Гарантия-МО» в 1980–1990 гг., было бы невозможно без исследования межсистемных связей наук и научно-наблюдательных программ астрономии, геодезии, геодинамики. Именно в это время была проведена ревизия астрономических средств служб времени и организован ряд междисциплинарных симпозиумов в Ленинграде, Москве и Менделеево по выработке концепции и структуры программы. На определение ключевых направлений развития существенное влияние оказали результаты международной программы *MERRIT*, отдавшей предпочтение в изучении геодинамики новым методам спутниковых лазерных средств и большебазовой радиоинтерферометрии. В эти же годы было принято решение о создании радиоинтерферометра со сверхдлинной базой «Квазар-КВО» (в рамках ЕС КВО).

В 1990 г. концепция стратегического развития ЕС КВО страны была вынесена на обсуждение секции № 14 Научно-технического совета Военно-

²⁵ Кусков В. Д. Справка-доклад о состоянии координатно-временного обеспечения ГНСС ГЛОНАСС. 1978 г. (материал из архива Главкома ракетных войск).

²⁶ Кусков В. Д. Отчет по НИР «Гарантия». 1980 г. (библиотека 4 ЦНИИ МО).

промышленной комиссии при Совете министров СССР²⁷, на которой было принято решение о подготовке проекта государственной программы для представления его Совету министров СССР и президенту. В 1991 г. проект программы был подготовлен и согласован со всеми заинтересованными организациями²⁸. Однако события 1990–1991 гг. не позволили реализовать ее в общегосударственном масштабе, и она распалась на самостоятельные ведомственные подпрограммы Госстандарта, Академии наук, Росгеодезии, Российского космического агентства.

Усеченная программа развития КВО в интересах космической навигации была принята 8 апреля 1992 г. в рамках Федеральной космической программы, реализуемой в ОКР «Метрика-КВО»²⁹. В ее основу были положены документы³⁰, определившие стратегическую линию развития космического КВО, как интеграцию космических технологий в многофункциональную систему.

Основными направлениями исследований ОКР «Метрика-КВО» были:

- разработка эскизного проекта космического телескопа «Струве» как инструмента, предназначенного для создания второй эпохи заатмосферного звездного каталога³¹;

- разработка стратегии высокоточной автономной навигации ГНСС по заатмосферному звездному базису;

- исследование направлений интеграции различных информационных функций в рамках единой космической системы на основе высокоточного космического координатно-временного обеспечения;

- исследование путей развития заатмосферной астрометрии – преодоление рубежа точности, достигнутого в программе *HIPPARCOS* (0",001).

Опора при построении отечественной ГНСС на заатмосферную навигацию является в настоящее время единственным обоснованным решением в условиях, когда почти вся астрономическая база бывшего СССР после распада последнего оказалась за рубежом. Заатмосферное КВО может сохранить стратегическую независимость нашей страны от американской системы *GPS* и ее фундаментального базиса (*IGS, ITRF, WGS-84*).

В настоящее время на основе результатов программы *HIPPARCOS* точность заатмосферного каталога звезд оценивается значениями 0",001–0",002. Глав-

²⁷ Решение секции НТС №14 ГК СМ СССР по ВПВ, 1990 г. (личный архив В. Д. Кускова).

²⁸ Кусков В. Д., Новикова Е. Л., Щербакова Н. П. Государственная комплексная программа создания и развития Единой системы координатно-временного обеспечения народного хозяйства, обороны, научных исследований и международного сотрудничества на базе совместного использования новых методов, средств и технологий. М., 1992.

²⁹ Кусков В. Д. Техническое задание на ОКР «Метрика-КВО» и техническое задание на НИР «КВО-НИР», 1992–1993 гг. (документы для заключения контракта с Ракетно-космическим агентством, архив договорных документов Роскосмоса).

³⁰ Кусков В. Д., Новикова Е. Л. Координатно-временное обеспечение. Сущность, концепция, магистральный путь развития КВО страны. Приложение к НТО № 513, н/с, ЦНИИмаш, 1989 (несекретное приложение к научно-техническому отчету № 513, выполненное В. Д. Кусковым в ФГУП ЦНИИмаш в 1989 г., архив ФГУП ЦНИИмаш); Кусков В. Д. Концепция ЕС КВО. НТО ЦНИИмаш, 1992 (научно-технический отчет, выполненный В. Д. Кусковым в ФГУП ЦНИИмаш в 1992 г., архив ФГУП ЦНИИмаш).

³¹ Космическая астрометрическая система «Струве». Эскизный проект. 1994 г. (Архив ФГУП ЦНИИмаш).

ной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН и Государственным астрономическим институтом им. П. К. Штернберга (ГАИШ) МГУ создана электронная версия расширенного каталога *Tycho*³², объемом более 1 млн звезд с точностью примерно 0",003–0",004. Каталог *Tycho* рассматривается как первая эпоха заатмосферной астрометрии, а проект «Струве» как астрометрический инструмент создания второй эпохи.

Формирование программы заатмосферной астрометрии как нового подхода к построению высокоточной системы небесных координат, превосходящей на три порядка по точности уровень, достигнутый в традиционной наземной астрометрии, послужило стимулом к практической разработке метода космической автономной навигации в «заатмосферной» системе небесных координат. Используя способ наблюдения положений спутник – спутник на фоне звезд и измерения межспутниковых расстояний, разработана модель определения траекторий космических аппаратов³³. Оценка потенциальной точности метода указывает на возможность создания ГНСС третьего поколения, превышающей на полтора-два порядка уровень точности, достигнутый в *GPS* и ГЛОНАСС. Принцип заатмосферной автономной навигации был изложен на III Международной конференции «Планирование глобальной радионавигации»³⁴, опубликован в журнале³⁵ и в докладах на Королевских чтениях.

Стратегическое развитие космической навигации в направлении заатмосферной концепции подтверждается решением Секции 14 ВПК 1990 г.³⁶ Однако в настоящее время развитие ГЛОНАСС сворачивает на американский путь. На первом этапе ее существования в ГЛОНАСС была принята запросно-беззапросная система синхронизации и запросная дальномерная система эфемеридного обеспечения на основе командно-измерительной системы «Тамань», к 2000-м гг. показавшая свою неперспективность в сравнении с *GPS*. К этому времени российская промышленная и военная наука, познакомившись с основами построения *GPS*, решает перестроить ГЛОНАСС на беззапросный метод навигации с использованием международной системы наблюдения *IGS* и системы координат *ITRF* для отработки и контроля эфемеридного обеспечения системы ГЛОНАСС, для чего *IGS* любезно предоставляет через Интернет наблюдения и измерения по всем спутникам *GPS* и ГЛОНАСС. Подобная взаимная информация позволяет вести сопоставительные исследования обеих систем и в идеале достигнуть американской точности.

Следуя, однако, американской концепции, ГЛОНАСС не обладает глобальной системой наблюдения и синхронизации и становится пользователем (абонентом) американской фундаментальной основы *GPS*. При этом начало оте-

³² Кузмин А. В., Куимов К. В. Опорный каталог «Тихо» (компакт-диск). М., 1997.

³³ Кусков В. Д., Новикова Е. Л., Стражевич А. С. Высокоточное космическое координатно-временное обеспечение космической навигации // Космонавтика XXI века (сборник). Т. 3 (в печати).

³⁴ Кусков В. Д., Новикова Е. Л. Высокоточное космическое КВО // Сб. трудов III Международной конференции «Планирование глобальной радионавигации» 9–11 октября 2000 г., г. Москва. М., 2000.

³⁵ Кусков В. Д., Новикова Е. Л. Высокоточное космическое координатно-временное обеспечение // Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики. 2001. № 2.

³⁶ Решение секции НТС № 14 ГК СМ СССР по ВПВ, 1990 г. (личный архив В. Д. Кускова).

чественных работ по развитию стратегического независимого направления «заатмосферной» навигации отодвигается за 2020 г. Правильно ли все это?

Проблемы создания российской среднеорбитной ГНСС ГЛОНАСС

В последнее время США все более активно вмешиваются в идеологию развития ГЛОНАСС, внедряя в умы российских ученых и чиновников, контролирующих финансирование НИОКР по ее развитию, идею целесообразности перехода ГЛОНАСС на структуру сигналов *GPS*. Если переход на американские стандарты при проведении работ по КВО только отодвинет сроки достижения превосходства ГЛОНАСС над *GPS* по точности абсолютного позиционирования и автономности наработки эфемеридной информации на период после 2020 г., то переход на принятую в *GPS* структуру сигналов приведет к необратимым потерям и навсегда лишит РФ стратегического превосходства ГЛОНАСС, особенно в областях, важных для военных потребителей.

В научно-технических статьях и докладах Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института (ГНИНГИ) на различных конференциях ³⁷ неоднократно и убедительно показывалось преимущество частотного разделения сигналов (*FDMA*) ГЛОНАСС перед кодовым разделением сигналов (*CDMA*) в *GPS* и *GPS*-подобных системах других стран и глубокая ошибочность проамериканской концепции развития ГЛОНАСС, утвержденная правительством РФ. Преимущества *FDMA* ГЛОНАСС перед *CDMA GPS* подтверждены в ГНИНГИ (научный руководитель – Ю. С. Дубинко) обработкой реальных стандартной точности сигналов ГЛОНАСС (по договорам подряда с ЗАО «КБ Навис»). Преимущества *FDMA* – более 90 дБ помехоустойчивости, миллиметровая точность дальнометрии, отсутствие ошибок

³⁷ Дубинко Ю. С. Возможность построения НЛО КВО с сантиметровым уровнем точности абсолютного позиционирования // Труды института прикладной астрономии. 2005. Вып. 13. С. 22–26; Данилова Г. К., Дубинко Ю. С., Лапина В. И., Селиверстов А. С. Полное подавление ошибок многолучевости в НАП СНС // Труды Третьей всероссийской конференции (КВНО-2009) в Институте прикладной астрономии / Ред. А. Ю. Пылаев. СПб., 2009. С. 252; Дубинко Ю. С., Селиверстов А. С. Чей сигнал? Об опасности для РФ согласования вопросов модернизации сигналов ГЛОНАСС // Оборонный заказ. 2009. № 23. С. 14–19; Дубинко Ю. С., Селиверстов А. С. Оптимизация системы слежения за задержкой в аппаратуре потребителей спутниковых навигационных систем // Труды XVI международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» / Ред. В. И. Борисов. Воронеж, 2010. С. 1973–1982; Дубинко Ю. С., Селиверстов А. С., Леденев Н. И. Способ повышения помехоустойчивости радиосистем со сложными фазоманипулируемыми сигналами // Труды IX научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов» / Ред. В. И. Тамбовцев. Челябинск, 2010. С. 45; Дубинко Ю. С., Селиверстов А. С. Взгляды ГНИНГИ на развитие СНС ГЛОНАСС // Новости навигации. 2010. № 4. С. 42–47; Дубинко Ю. С., Селиверстов А. С. Нелинейная робастная фильтрация в рекуррентной процедуре по критерию максимума апостериорной плотности вероятностей // Навигация и гидрография. 2010. № 29. С. 26–35; Дубинко Ю. С., Селиверстов А. С. Инновационные разработки ГНИНГИ по улучшению тактико-технических характеристик спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС // Труды VII Российской научно-технической конференции «Навигация, гидрография и океанография» / Ред. С. П. Алексеев. СПб., 2011. С. 69–73; Дубинко Ю. С., Селиверстов А. С. Возможности повышения точностных характеристик при определении места по спутниковым навигационным системам // Там же. С. 295–301.

многолучевости, лучшая чувствительность приемника (более – 190 дБ/Вт) – проявляются еще на стадии начала поиска сигнала.

Для *CDMA* вначале требуется либо двумерный поиск (с перебором частот) и использованием средств защиты от помех (например, адаптивных ФАР с нулями диаграммы направленности на источник помех), либо – не менее миллиона параллельных корреляторов. А для дальнейшего улучшения тактико-технических характеристик в *FDMA* (в отличие от *CDMA*) даже не требуется разработка новых микросхем!

Основные инновации, обеспечивающие превосходство *FDMA* ГЛОНАСС над *CDMA GPS*, заложенные еще при разработке и создании ГЛОНАСС, следующие:

- спектральное подавление шумов и помех;
- теоретически оптимальный дискриминатор задержки;
- аналоговый тракт (*RFFE*), адекватный *FDMA*, с использованием патента «КБ Навис» по бесфильтровому преобразованию частоты;
- меандровая модификация входного сигнала (аналог *BOC*-сигналов, но только в приемнике, без присущих им недостатков, если они переданы с борта космического аппарата);
- абсолютный прецизионный мониторинг группового времени запаздывания на литерных частотах ГЛОНАСС.

В последнее время США ведут активную борьбу с ГЛОНАСС (*FDMA*) – единственным «бельмом» на их глазу, – стремясь ограничить диапазон литерных частот. Еще в начале работ по будущей ГЛОНАСС (по причине секретности их тактико-технических характеристик) СССР своевременно не зарегистрировал свой частотный диапазон в международном комитете по положенным образом. Этим обстоятельством и воспользовались в свое время США, зарегистрировав в области верхних литерных частот ГЛОНАСС свои связные системы («Глобалстар» и «Иридиум»). Россия была вынуждена перераспределять бортовую аппаратуру спутников ГЛОНАСС, уменьшив в два раза число литерных частот. Их пришлось сдвинуть влево, введя даже отрицательные номера литеров. При этом возникла необходимость доработки части аппаратуры потребителей.

Недавно США в *GPS*, ЕС в *Galileo*, Япония в *QZSS* ввели так называемый *binary offset carrier (BOC)* – сигналы с шириной полосы частот, много большей, чем в ГЛОНАСС, и вплотную приблизились теперь к нижней литерной границе частот ГЛОНАСС. При этом США сохраняют свое требование согласования с ними сигналов ГЛОНАСС (через международные организации ООН по безопасности мореплавания и полетов самолетов (ИМО и ИКАО)³⁸), якобы для оценки возможных помех *GPS* со стороны ГЛОНАСС (в том числе согласование и сигналов военного применения (!)). О какой будущей модернизации ГЛОНАСС можно говорить, если улучшение ее характеристик явно требует существенного расширения имеющейся полосы частот, а частоты и сверху, и снизу уже заняты США?

³⁸ ИМО – Международная морская организация (от *IMO – International Maritime Organization*), ИКАО – Международная организация гражданской авиации (от *ICAO – International Civil Aviation Organization*).

Анализируя причины активного вмешательства США в идеологию развития ГЛОНАСС, отметим главную причину. Она – политическая. Это стремление к укреплению системы однополярного мира. По мнению США, нельзя допускать самостоятельности других стран, как в политике, так и в технике и технологии. Тем более нельзя допускать превосходство над США в такой стратегически важной области техники, как спутниковая навигация.

Отметим также три причины экономического характера:

- стремление США окончательно закрепиться на российском рынке навигационной аппаратуры потребителей, включая ее разработку. Для этого необходимо, чтобы НАП *GPS*, дешевая и отлаженная в массовом производстве, могла бы без каких-либо доработок напрямую использовать сигналы ГЛОНАСС;

- начальник штаба ВВС США генерал Н. Шварц недавно заявил³⁹, что ВВС США решили искать альтернативу *GPS*, поскольку вооруженные силы «противника», обладающего достаточным потенциалом, могут нарушить ее функционирование. Это означает, что *GPS* с кодовым разделением, в силу присущих ей недостатков, уже не удовлетворяет современным требованиям американских военных и может стать чисто гражданской системой. С внедрением стандартов сигналов *GPS* в спутниковые системы других стран США могут не тратить своих средств на поддержание орбитальной группировки ГНСС (стратегия «кукушки» – выкладывание своих яиц в чужие гнезда).

- наклонение орбит *GPS* и подобных ей систем других стран составляет 55° , что не обеспечивает нужный геометрический фактор для приполюсных районов. Авиатрасса через Северный полюс – самая короткая из Евразии в Америку. ГЛОНАСС имеет наклонение орбит 65° и обеспечивает точное определение координат летательных аппаратов в высоких широтах. Поэтому интерес США к переходу ГЛОНАСС на *CDMA*-сигналы – особый, тем более что многие страны – спутники США участвуют в дележе Арктического бассейна и им также нужна высокоточная навигация для освоения природных ресурсов Арктики.

Из альтернативных вариантов дальнейшего развития *GPS* в США определены два основных варианта. По сообщению портала *R&DCNews*⁴⁰, успешно завершён этап альтернативной технологии для испытаний ВВС США (новая технология *NGBPS*) с трансиверами наземного базирования. Этот вариант региональной системы для ГЛОНАСС безразличен.

Однако есть сообщения о другом альтернативном варианте ретрансляции сигналов *GPS* – через спутники «Иридиум»⁴¹. Если будут ретранслироваться *ВОС*-сигналы с полосой частот 40–50 МГц этим способом, то США могут потребовать от России либо освободить в ГЛОНАСС часть диапазона верхних литерных частот, либо перейти на *CDMA*-сигналы *GPS*.

³⁹ Бубнов А. ВВС США решили искать альтернативу КРНС NAVSTAR // Зарубежное военное обозрение. 2010. № 3. С. 74.

⁴⁰ Американцы испытали альтернативу *GPS* // http://rnd.cnews.ru/army/news/top/index_science.shtml?2011/09/15/455482.

⁴¹ См.: http://gps-club.ru/gps_news/detail.php?ID=57743.

Ясно, что переход ГЛОНАСС на *CDMA*-сигналы потребует израсходовать все средства федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 гг.» только на переделку бортовой аппаратуры спутников. При этом навигационную аппаратуру потребителей придется не разрабатывать и не производить, а закупать готовой в США, что самым негативным образом скажется на отечественных производителях НАП.

Концепция развития ГЛОНАСС, предусматривающая переход на кодовое разделение, в настоящее время представлена проамерикански настроенными учеными и чиновниками на утверждение правительству РФ. Эта концепция глубоко ошибочна и наносит труднопоправимый вред национальной безопасности РФ. К сожалению, реализация ее уже началась.

Только сохранение частотного разделения с реализацией всех инноваций ГНИНГИ обеспечит существенное превосходство ГЛОНАСС над *GPS* по всем тактико-техническим характеристикам, особенно помехоустойчивости и точности. Забить помехами такой сигнал можно будет только передатчиками помех по 1 МВт (!) для каждой литерной частоты с расстояния менее 2 км.

* * *

За последние 30 лет ученые и инженеры разработали огромное количество вариантов НАП и изыскали множество областей применения ГНСС в науке, производстве, обыденной жизни. После многих лет пребывания в заброшенном состоянии не без проблем, но возрождается глобальная навигационная спутниковая система России ГЛОНАСС. Функционирует и непрерывно совершенствуется *GPS* США. С новыми гражданскими и военными сигналами и новыми орбитальными группировками скоро будут полномасштабно функционировать европейская система *Galileo* и китайская система *COMPASS*, индийская система *IRNSS* и японская система *QZSS*, разрабатываются южнокорейская система *KNSS* и тайваньская система *TRNSS*. Мир стоит на пороге «золотого века *PNT*» (*positioning, navigation, timing* – позиционирования (определения местоположения), навигации, времени (синхронизации)). И в этом веке очень скоро нам предстоит жить.