

Вы находитесь здесь

Запуском двух первых спутников Galileo Европа положила начало собственной системе спутниковой навигации. **Шон Блэр** и **Юрий Ревич** пытаются понять, будет ли она лучше GPS и ГЛОНАСС.

Первые два рабочих спутника европейской навигационной системы Galileo были запущены российской ракетой-носителем «Союз-СТ» с космодрома Европейского космического агентства (ESA) во Французской Гвиане 21 октября 2011 года.

Запуск российского носителя, специально адаптированного под условия Гвианы, производился с новой стартовой площадки на космодро-

ме Куру, построенной российскими специалистами по заказу ESA.

Запуск этих спутников означает начало третьего этапа развертывания проекта Galileo. Начало заключительного этапа ориентировочно намечено на 2014 год.

В рамках предыдущих этапов на орбите побывали два экспериментальных спутника Galileo, запущенных в 2005 и 2008 годах и предназначенных для отработки

элементов системы. Предполагается, что европейская спутниковая навигационная система начнет полноценно работать в 2018–2020 годах. Она сможет предоставлять множество услуг, связанных с определением местоположения. В том числе — исчисление дорожных сборов на базе спутниковых данных, «синтетическое зрение» для спасательных вертолетов, высокоточные маяки для альпинистов ▶

ДААННЫЕ

СПУТНИКИ GALILEO

Важные числа и факты

30 спутников

27 работающих, 3 резервных

Несут пару пассивных водородных мазерных атомных часов и пару рубидиевых атомных часов

Высота орбиты:

23 222 км

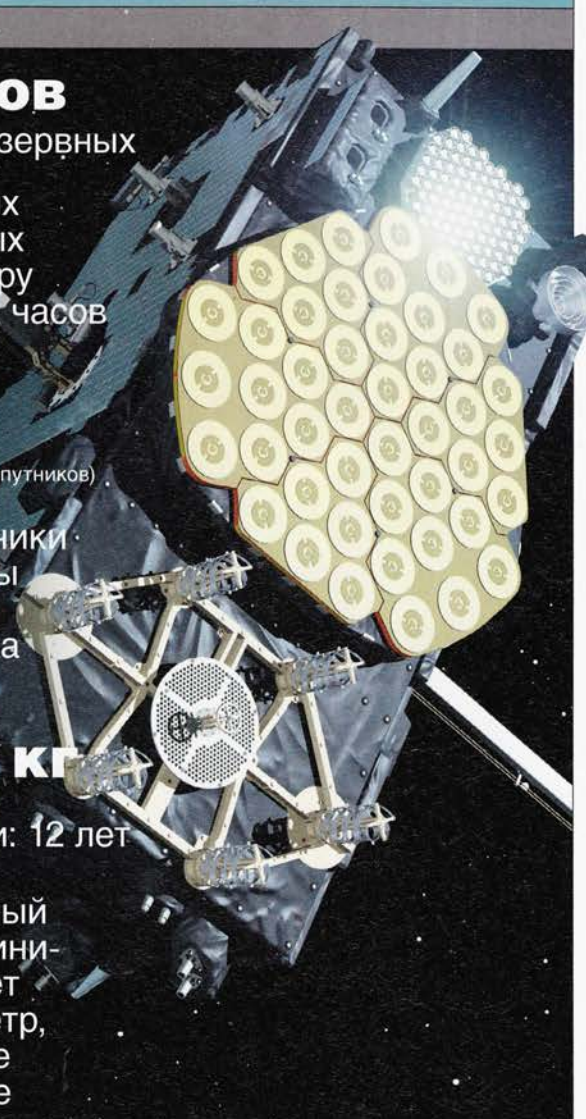
(три орбитальных плоскости по 10 спутников)

Инфракрасные датчики и оптические сенсоры Солнца направляют передатчики спутника на Землю

Масса: 700 кг

Период эксплуатации: 12 лет

Пассивный водородный мазер размером с мини-холодильник работает как главный хронометр, меньшие рубидиевые часы — как резервные



несколько часов, пока их координаты будут определены. Кроме того, она могла работать только в двух измерениях. Двумерные координаты вполне подходили для кораблей, но не для самолетов или ракет.

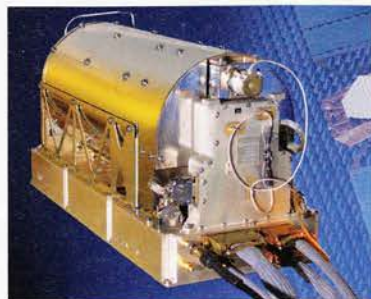
Глобальная навигационная система BBC США, то есть GPS (Global Positioning System), стала наследницей системы Transit. Первый спутник для нее запустили в 1978 году. Transit обходился пятью спутниками, GPS требовала минимум 24 аппаратов на разных орбитах вокруг Земли. Сердцем системы являются высокоточные атомные часы. Приемник сигнала GPS проверяет разницу во времени прихода сигнала от четырех спутников, сверяет эти данные с собственными часами и вычисляет пройденный сигналом путь. По этим данным приемник выполняет трехмерный аналог триангуляции, чтобы определить свое точное местоположение.

Сверка часов

Система Galileo — потомок GPS. Но в ней 30 спутников, которые будут летать несколько выше и по более наклоненным орбитам, чтобы лучше обслуживать территории европейского севера. При этом европейские аппараты на треть меньше американских спутников. Нужно также учитывать, что у GPS есть дополнительные военные задачи, которых у Galileo не будет.

Подлинные различия заключаются в начинке. Спутники Galileo впервые будут оснащены пассивными водородными мазерными атомными часами. Они в десять раз точнее рубидиевых атомных часов GPS, ошибка их не превосходит одну секунду за три миллиона лет.

Точность этих часов чрезвычайно важна. Ошибка в наносекунду (одну миллиардную долю секунды) означает ошибку в 30 см при определении местоположения. Каждый спутник несет два мазера и пару резервных рубидиевых атомных часов. ▶



Каждый спутник Galileo содержит пару пассивных водородных мазерных атомных часов

▶ и горнолыжников. Эта же система будет поддерживать полет беспилотных летательных аппаратов.

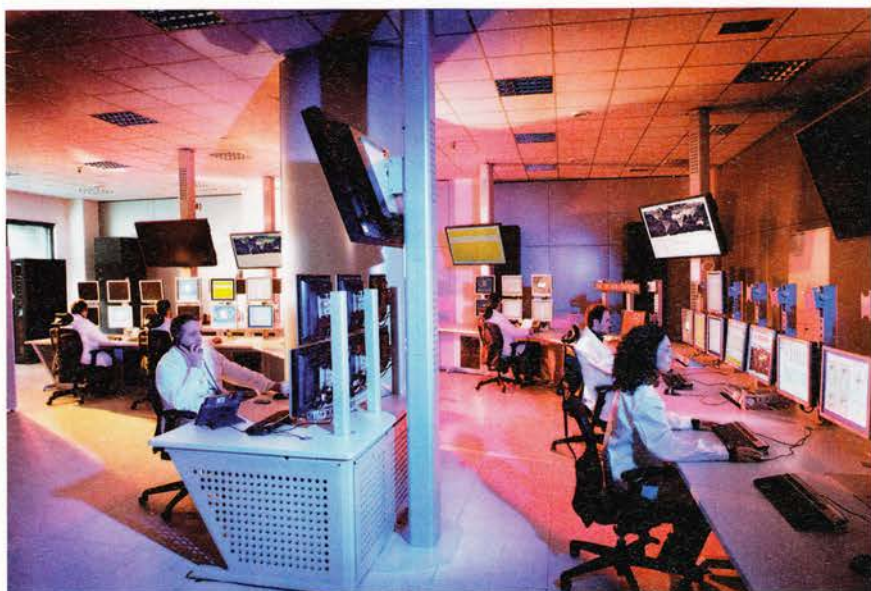
Однако американская навигационная система GPS совсем скоро будет способна предоставлять те же услуги. Зачем же Европе собственная спутниковая навигационная система?

Мечты становятся явью

Истоки спутниковой навигации восходят к 1956 году, когда писатель-фантаст Артур Кларк высказал идею, что спутники могут использоваться для определения местоположения на земле с помощью «приборов размером с часы». События развивались быстрее, чем он ожидал. Когда был запущен первый советский спутник в 1957 году, ученые из Лаборатории

прикладной физики в окрестностях Вашингтона измерили сдвиг частоты его сигнала, который происходит из-за эффекта Доплера, подобно тому как меняется высота тона сирены «скорой помощи», когда она проезжает мимо. По этому сдвигу физики вычислили параметры орбиты спутника. И уже тогда исследователь Фрэнк Макклур (Frank McClure) понял, что если известна орбита спутника, то может быть определено и местоположение приемника, получающего его сигнал.

Как раз в этом нуждались ВМС США. Им требовалась надежная навигационная система для подводных лодок Polaris. Так началась работа над спутниками системы Transit. Неточная по меркам GPS, эта система заставляла своих пользователей ждать



Наземная станция в Фучино (Италия) обеспечивает навигационную точность Galileo, а еще одна станция в Оберпфаффхофене (Германия, на фото ниже) следит за спутниками



ПРОФЕССОР ВИДАЛ АШКЕНАЗИ

Исполнительный директор компании **Nottingham Scientific**, участвующей в разработке Galileo

Зачем нужна Galileo?

Главная причина — это позволит Европе избежать зависимости от американской GPS, российской ГЛОНАСС и китайской BeiDou. Еще на этапе разработки Galileo начала приносить пользу — в США размышляют, как с ее помощью расширить возможности GPS.

Сейчас создается сразу несколько систем навигационных спутников — принесут ли они реальный доход?

Это ситуация двойного выигрыша, особенно для массовых пользователей, живущих в густонаселенных городских территориях. Большее количество систем означает рост точности и надежности, которую обеспечит их совместимость в работе. Существует множество двусторонних соглашений по совместимости, и я надеюсь, что процесс их подготовки продолжится.

Насколько спутники уязвимы для космической погоды?

Солнечные вспышки и другие природные явления, конечно, будут влиять на спутниковую навигацию, но не более, чем какие-

нибудь злоумышленники, подавляющие сигнал. Для того чтобы максимально снизить вероятность будущих сбоев у Galileo, наша компания постоянно следит за GPS, отслеживая работу навигационных приложений, производительность наиболее важных программ, а также попытки создать искусственные радиопомехи.

Кто пострадает, если GPS выключится?

Существует несколько сетей, которые требуют точного измерения времени для своей работы и, следовательно, зависят от GPS. В худшем случае компьютерные сети могут начать падать, распределительные станции электросетей — испытывать волны перегрузок, также появятся сбои в банковских сетях из-за неправильного времени транзакций. Возникнут сбои в транспортных сетях, что может привести к прекращению полетов самолетов. Именно поэтому критически важные системы требуют тщательного планирования.

Меньше всего в этом случае будет проблем с автомобильными навигационными приемниками.

ДАННЫЕ

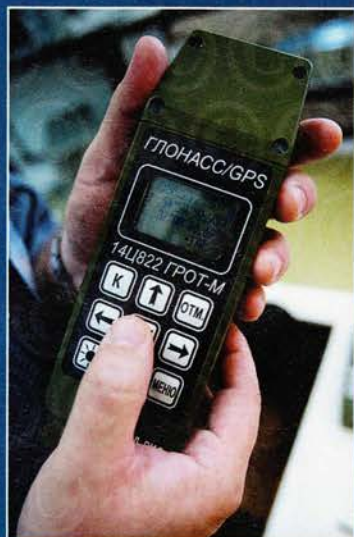
ГЛОНАСС (Россия)

ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) — единственная функционирующая спутниковая система навигации, кроме GPS/NAVSTAR. Проектировать ГЛОНАСС начали в СССР в 1976 году, первый спутник запущен в 1982-м — на восемь лет позже первого спутника GPS. Несмотря на такое отставание и на политические изменения в России, к финишу ГЛОНАСС подошла с минимальным отрывом от GPS — штатная орбитальная группировка в 24 спутника была сформирована в 1995 году, всего через два года после GPS. Однако отсутствие финансирования и низкий срок службы (3 года) спутников первого поколения, проектировавшихся еще в 1980-е годы, привел к тому, что к началу тысячелетия на орбите осталось всего 6 спутников, и система фактически перестала функционировать.

В 2001 году была принята федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система», по которой полное покрытие территории России (минимум 18 спутников) планировалось уже в начале 2008 года, а глобальных масштабов (не менее 24 спутников) система достигла бы к началу 2010 года. Было также решено сделать модернизированные спутники —

«ГЛОНАСС-М» со сроком службы более 7 лет — и потом усовершенствованные «ГЛОНАСС-К» (10 лет). В программу заложена задача адаптировать систему к гражданскому использованию.

ГЛОНАСС, как и GPS, изначально проектировалась для военных. Но планы пришлось корректировать. 26 декабря 2008 года орбитальную группировку действительно довели до 18 спутников, но глобальный охват закончили на год позже обещанного.



Тяжелым ударом стала потеря трех спутников 5 декабря 2010 года, поэтому группировку сформировали только 3 октября 2011 года. На 21 октября 2011 года, день запуска первых спутников Galileo, в составе группировки ГЛОНАСС было 27 спутников. Из них 21 работает, еще два на этапе ввода в эксплуатацию. Три спутника «выведены на техобслуживание», один «в орбитальном резерве».

Средняя точность определения координат в ГЛОНАСС — 4,46–7,38 м при нахождении в зоне видимости одновременно 7–8 спутников (обычно говорят о точности около 5 м). Ожидается, что к 2014 году спутники «ГЛОНАСС-К» повысят точность до 1 м и менее. Для GPS средняя точность составляет 2,00–8,76 м при использовании в среднем 6–11 спутников. Большая точность для профессиональных нужд обычно достигается поправками от вспомогательных наземных служб.

Сейчас приемники ГЛОНАСС, спроектированные по заказам отечественных фирм на Тайване, крупнее, дороже и потребляют больше энергии, чем аналогичные устройства GPS. Несмотря на это, компания Apple сделала российской космической отрасли поистине царский подарок, включив поддержку ГЛОНАСС в новый iPhone 4S, что, несомненно, будет способствовать популяризации ГЛОНАСС в мире, и заставит других производителей последовать этому примеру.

Юрий Ревич — постоянный автор журнала «Вокруг света»

BEIDOU (Китай)

Название китайской навигационной системы Beidou буквально переводится, как «северный ковш», то есть созвездие Большой Медведицы. Она значительно отличается от американской, российской и европейской систем и технически, и организационно. Китайская система основана не только на среднеорбитальных спутниках, вращающихся вокруг Земли, но и на спутниках, находящихся на геостационарной орбите, т.е. всё время висящих над определенной точкой земной поверхности. Это позволяет на данной местности избежать пауз в работе, которые бывают, когда все спутники скрываются за горизонтом. Но это и требует более чувствительных приемников, — геостационарная орбита почти вдвое дальше от Земли (39 тыс. км по сравнению с обычными 19–23 тыс. км). Кроме того, для полного перекрытия всей планеты потребуется больше спутников — 35, против 24 у российской и американской и 27 у европейской.



Организационно Beidou разворачивается в три этапа. На первом этапе (завершен в 2003 году) на орбиту вывели три экспериментальных спутника. В 2012 году закончится второй этап, когда сформируют региональную систему, которая обеспечит покрытие Китая и сопредельных стран. К осени 2011 года функционировало пять спутников, из них четыре — на геостационарной орбите. К 2020 году Китай намерен ввести в строй всю глобальную группировку (пять спутников на геостационарной орбите, еще 30 — на обычной, около 21 тыс. км).

Сигнал Beidou делится на военный и гражданский, точность определения координат для гражданского сигнала — 10 м, точность определения скорости — 0,2 м/с. Beidou уже использовалась в работах по ликвидации последствий землетрясений, произошедших в провинции Сычуань 12 мая 2008 года.

ЛОКАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (Япония и Индия)

Японская навигационная система QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) была задумана как ответ на китайскую Beidou. Еще в начале развертывания китайской системы Япония открыто выразила озабоченность этим, а в 2002 году объявила о работе над собственной системой. Восемь лет работы — и первый спутник был запущен в сентябре 2010 года, причем собственной японской ракетой-носителем H-IIA F18 с собственного японского космодрома Танегасима.

Всего японская система будет включать в себя 3 спутника, расположенных на эллиптических орбитах над Азией. Конфигурации орбит позволят космическим аппаратам находиться более 12 часов в сутки на угловой высоте более 70°, то есть практически в зените. Отсюда название системы Quasi-Zenith («квази-зенитная»). Эта особенность важна для гористой местности или городов с высокими зданиями.

Конечно, столь малое количество спутников не позволяет системе претендовать на глобальность, но существование QZSS позволит значительно повысить точность навигации в регионе, обеспечиваемой GPS и ГЛОНАСС, а также Galileo. Соответствующие соглашения уже подписаны. В июле 2007 года японцы начали переговоры и с Китаем. QZSS, в отличие от других систем, предусматривает комплексные сервисы — кроме навигации, спутниковую телефонию и передачу данных (доступные, разумеется, только на территории региона).

Индийская система IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) также будет действовать лишь в регионе и для собственных нужд Индии. Она будет состоять из 7 спутников, размещенных на геосинхронных орбитах так, чтобы все время находиться в прямой видимости из Индии. Работа начата в 2006 году, в 2008 году запущен первый опытный спутник. Ожидается, что в 2012 году индийцы начнут развертывание системы.



ДАННЫЕ

ПРИЕМНИКИ

Немного информации об их работе

Приемники размером в **несколько сантиметров** работают с сигналом навигационных спутников, который очень слаб.

Необходимо минимум **4 спутника**, чтобы определить долготу, широту, высоту и синхронизировать время.

Каждый спутник передает свою собственную **псевдслучайную кодовую последовательность** для того, чтобы информацию от него мог отфильтровать приемник, использующий ту же самую последовательность.

Приемники используют **эфемериды** — данные об орбитах спутников, — чтобы знать, где они должны быть. Это ускоряет захват сигнала от минут до нескольких секунд.

В основном будут выпускаться **двусистемные приемники** Galileo, способные принимать и сигнал GPS или других систем.

Большие приемники работают на двух частотах, чтобы исключить **ионосферную задержку сигнала**, которая в худшем случае может дать ошибку в несколько метров.

Приемники меньшего размера, предназначенные для автомобилей или мобильных телефонов, вместо этого имеют **модель ионосферы**, которая позволяет убрать примерно половину этих ошибок.



Спутники Galileo прошли проверку перед запуском в космос в Риме



ДОКТОР КРЕЙГ УНДЕРВУД

Заместитель директора **Surrey Space Centre** ответил на вопросы «Науки в фокусе»

Galileo более совершенна, чем GPS. Как это отразится на ее свойствах для пользователей?

Приемник будет получать больше информации со спутника, давая повышенную степень точности навигации — до уровня менее одного метра. Но наши исследования, проведенные в Суррейском университете, показали, что из-за сложности сигнала можно также получить неверный результат.

Почему такое может случаться?

Этот тип ошибок может встречаться только в определенных обстоятельствах и только на короткое время. Например, при наличии отраженного сигнала от зданий и деревьев приемник может поймать его и дать несколько неверные координаты.

Как с этим справиться?

Некоторый из исследований, которые мы провели в Суррее, указывают, что есть возможность исправить ошибку. Мы подготовили первоначальную документацию, по созданию более точного приемника. Эта работа продолжается.

Есть ли какие-то еще проблемы с системой Galileo?

Сигнал со спутников передается по более широкой полосе частот. По-

этому вам понадобится приемник хорошего качества в автомобильной навигационной системе или в мобильном телефоне. Тем, у кого дешевые приемники, возможно, придется их поменять.

Эти приемники будут дороже?

Сначала почти точно — да. Но эта продукция будет производиться массовыми сериями, так что весь вопрос лишь в том, чтобы рынок начал снижать цены в результате конкуренции между производителями.

Но сама система Galileo очень дорого стоит...

Да, но она сразу же принесет выгоду — в частности, обеспечит более высокую точность для гражданских пользователей. Важно также то, что она не находится под контролем одного правительства, которое может выключить ее по своему желанию. Существуют, кроме того, другие выгоды. Этот проект даст Европе опыт работы на околоземных орбитах средней высоты (область выше низких орбит и ниже геостационарной орбиты). В этом диапазоне очень высок уровень радиации. Спутники здесь находятся в самой середине радиационных поясов Ван Аллена (кольцо заряженных частиц вокруг Земли), так что им там будет жарко!



GIOVE-B, второй из спутников, запущенных, чтобы проверить атомные часы Galileo

► Навигационное оборудование для спутников Galileo производят в Великобритании, первые четыре комплекта сделаны в компании Astrium в Портсмуте, а следующие 14 — в компании Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL) в Гилфорде. «Мы производим и поставляем все оборудование — атомные часы поставляются из Италии и Швейцарии», — говорит Фил Дэвис (Phil Davis) из SSTL.

Атомные часы нужны не только в космосе. «Хотя бортовые часы очень точны, но по точности они уступают Службе времени Galileo (Galileo Service Time, GST), опорной системы, которая объединяет данные нескольких атомных часов на земле», — объясняет Роберт Эллиот (Robert Elliott) из Национальной физической лаборатории, британского национального метрологического центра, который разрабатывал программное обеспечение для

проекта. «Если бы часы на спутниках не синхронизировались с GST, точность всей навигационной системы быстро бы упала», — говорит он.

В самом деле, Galileo должна стать единым хронометром планетарного масштаба, и ее наземная сеть обеспечит основу надежности. GST, работающая с точностью до 28 миллиардных долей секунды, функционирует за счет нескольких наземных станций, работающих параллельно. Один центр в итальянском городе Фучино, обслуживает навигационные сервисы Galileo, в то время как другая станция в германском Оберпфафхофене следит за спутниками.

Станция в Фучино связана со всеми станциями слежения, разбросанными по миру, и будет передавать корректирующие сообщения для спутников каждые 100 минут, компенсируя ошибки, а также смещение спутников и помехи. Обычные пользователи смогут бесплатно пользоваться навигационными услугами с точностью до нескольких метров (изменяемость таких факторов, как угол положения спутников, космическая погода, отражение сигнала не дают возможности назвать более точные цифры).

Однако организации, которые заинтересованы в гарантированном уровне обслуживания, в приложениях, где требуется повышенный уровень безопасности, смогут получить эти услуги за плату — это еще одно отличие от GPS. Наивысший уровень точности, с ошибкой меньше метра, оставлен для государственных нужд.

Ключевое слово применительно к спутниковой навигации: кооперация. Galileo будет работать вместе с американскими и русскими эквивалентами. Помимо них, соглашения о сотрудничестве обсуждаются и с китайской глобальной системой BeiDou-Compass, а также с индийской региональной навигационной системой IRNSS и японской QZSS. Но если GPS уже предоставляет высокоточную ►



GPS-навигация с высокой степенью точности до запуска Galileo была доступна лишь американским военным



ПРИЛОЖЕНИЕ

Как можно использовать Galileo?

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Galileo может создавать графические слои на видеодисплеях, указывая направление и играя роль путеводителей, основанных на принципе «тогда и теперь». Это поможет играть в ролевые игры. Видеочки превратят главную улицу города в сказочное королевство.



ДОРОЖНЫЕ СБОРЫ

В Германии и Словакии используют основанную на спутниковой навигации систему дорожных сборов для грузовиков. Британия рассматривает возможность исчисления дорожного налога по принципу «плати сколько едешь». Galileo будет отслеживать движение транспорта и предупреждать о возможных проблемах.

УПРАВЛЕНИЕ СПУТНИКАМИ

Орбитальные аппараты будут использовать Galileo вместе с другими навигационными системами, чтобы контролировать свое положение в пространстве. Это может привести к созданию гигантских антенн из множества спутников, обеспечению стыковок в космосе для ремонта, заправки или возврата на Землю.

ПОИСК И СПАСЕНИЕ

Система Galileo предназначена также для поиска и спасения терпящих бедствие. Она получает сигналы с аварийных радиомаяков, передает их в ближайший спасательный центр и информирует жертв катастрофы, что помощь идет.



РАННЕЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ О ЦУНАМИ

В ближайшие 10 лет на орбите окажется более 100 спутников, сигналы которых будут отражаться от земли и от поверхности океана. Рефлектометрические спутники смогут использовать отражения для фиксирования изменений формы поверхности, обнаруживая таким образом волны цунами в открытом океане.

► навигацию бесплатно, зачем Европа вообще тратит 5,7 млрд евро на Galileo (а Россия запускает ГЛОНАСС)?

Galileo vs GPS

В спутниковой навигации в первую очередь учитываются практические выгоды. Объем авиационных перевозок в Европе вырос за два десятилетия в два раза. Такой же рост ожидается для железных дорог и автомобильного транспорта. Спутниковая система поддержит все это движение «сверху». Но в дело вступают политические зоны. По оценке Еврокомиссии, 6–7% европейской экономики, т. е. около 800 млрд евро по стоимости, уже зависят от GPS. Пользоваться ею для европейцев — все равно что заходить в Интернет через соседский Wi-Fi.

К тому же GPS по-прежнему остается военной системой, и Пентагон оставляет за собой право отключить ее. Она работает без всяких гарантий — критические с точки зрения безопасности сферы, такие как контроль воздушного движения, не могут легально использовать GPS. Еврокомиссия и ESA нашли способ обойти это, создав сеть наземных станций и геостационарных спутников, получивших название Европейская геостационарная навигационная перекрывающая служба (European Geostationary Navigation Overlay Service, EGNOS), которая увеличивает точность сигнала GPS в Европе с нескольких метров примерно до одного. Но она остается паразитической системой: EGNOS не может существовать без GPS.

Будет ли Galileo лучше, чем GPS? Европейская система определенно превзойдет нынешний уровень GPS благодаря более мощному сигналу, а также повышенной точности. Однако к 2014 году начнут работу улучшенные спутники Block III системы GPS. На развитие Galileo уйдет много времени, так что у США будет возможность ввести в действие такие новшества, как многочастотные сигналы для гражданских пользователей, что позволит исключить помехи, связанные с ионосферой. Но Galileo уже получила хорошую оценку. Первое признание со стороны будущего соперника появился в 2000 году, когда президент Билл Клинтон (Bill Clinton) выключил режим загробления сигнала GPS для гражданских пользователей, что

увеличило точность со 100 м до 10 м, и ускорило разработку Block III.

Galileo наступает

Существует место, где Galileo уже действует. Аналоги ее передатчиков размещены на восьми соседних вершинах Альп в Южной Германии, образуя среду для испытания и разработки системы (Galileo Test and Development Environment, GATE). Ее задача — дать возможность проверить на практике приемники системы Galileo. GATE покрывает навигационным сигналом примерно 65 км². Эти проверки продемонстрировали в работе те навигационные сервисы, которые вдохновляют Еврокомиссию и Европейское космическое агентство на поддержку Galileo. Здесь также изучается насколько с введением Galileo улучшаются возможности существующих систем GPS и ГЛОНАСС в таких зонах, как леса, долины или городские «каньоны».

Испытания в GATE и других местах показали, что при совместной работе Galileo и GPS значительно увеличивается доступность навигационного сигнала в зонах застройки. Однако на практике совместная работа нескольких группировок спутников требует сложных вычислений. Каждая группировка работает в рамках своей собственной системы времени, поэтому приемники должны вычислять расхождение между ними. Представьте себе, как быстро будут садиться батарейки мобильных с такой навигацией! Последствием этого может стать ограничение числа сетей, с которыми приемник сможет работать одновременно.

Российская система ГЛОНАСС почти готова, китайская BeiDou-Compass — на пути к этому. Поэтому Galileo требуется как можно скорее выйти на орбиту и начать работу, иначе безразличие потребителей может превратить ее в спутниковый Betamax*. Часы Galileo тикают — во многих смыслах. ■

*Система аналоговой звукозаписи высокого качества, которая так и не была востребована широкими массами потребителей.

Шон Блэр (Sean Blair) — научный журналист, работающий для ESA
Юрий Ревич — российский научный журналист