

УДК 621.396.98:629.783

Б. И. Макаренко¹, А. И. Горб²

¹АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань, Харків

²Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків

Применение технологий глобальных спутниковых навигационных систем на наземном транспорте

Приведено загальні відомості про використання технології глобальних супутникових навігаційних систем (ГСНС) для навігації наземного (автомобільного і залізничного) транспорту на прикладі однієї з діючих ефективних систем, що використовують вказану технологію. Характеризуються принципи дії подібних систем, шляхи їхньої реалізації і досяжні технічні параметри.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ГСНС (GPS) дает уникальную возможность глобального высокоточного координатно-временного обеспечения [1, 3, 4]. Пользователями ГСНС могут быть как подвижные объекты, так и стационарные, нуждающиеся в высокоточном определении координат и поправок к местной шкале времени.

С помощью ГСНС осуществляется высокоточная навигация космических аппаратов в ближнем космосе, самолетов, других воздушных летательных аппаратов, морских и речных кораблей, наземных транспортных средств, в том числе: для диспетчерских и следящих систем, скорой помощи, курьерской службы, систем посадки самолетов и т. д. [5].

Для высокоточных определений на земле, в море, в воздухе ГСНС находят следующие применения: геодезия, геоинформационные технологии (ГИС), топография, геофизика и геология, гидрография и фотограмметрия, нефтяные изыскания.

Условная классификация GPS-приемников по применению приведена в табл. 1 [2].

Одним из наиболее динамично развивающихся секторов мирового рынка аппаратуры потребителя ГСНС является применение GPS для управления транспортом [2, 7].

2. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГСНС НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ И АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Современная аппаратура потребителей ГСНС обеспечивает автономную высокоточную навигацию железнодорожного и автомобильного транспорта, включая отдельные поезда и автомобили.

В настоящее время широкое развитие и распространение получают диспетчерские системы управления и контроля железнодорожных и автомобильных транспортных средств — Automatic Vehicle Location

Таблица 1. Классификация аппаратуры потребителей ГСНС (GPS-приемников) по применению

Назначение	Цена, USD	Краткая характеристика
Позиционирование (местоопределение)	500—1000	Только стационарный режим; портативный; малоканальный, точность позиционирования ≈ 100 м; система автоматизированной записи данных отсутствует
Навигация	1000—20000	Дифференциальный режим; точность — несколько метров; специальные навигационные объекты
Геоинформационные технологии (ГИС)	3000—30000	Дифференциальный режим; точность — субметровый диапазон; автоматизированная запись данных; интерфейс с матобеспечением для ГИС
Геодезия/Геодинамика	10000—50000	Дифференциальный режим; измеряется фаза несущей; точность — см; автоматизированное накопление данных
Тайминг	До 60000	Применяется исключительно в целях контроля времени, точность 1 мкс.
Военное назначение	До 60000	Точность в стационарном положении 16 м (в режиме S/A ограничения); сверхвысокая точность в дифференциальном режиме; имеется запрет для гражданских пользователей

(AVL) [1, 2, 6—8]. Предназначены они для обеспечения оперативного контроля и управления транспортом, а также для решения вопросов безопасности при перевозке особо опасных грузов (вооружение, боеприпасы, радиоактивные и промышленные отходы), ценностей, пассажиров. Эти системы могут одинаково надежно функционировать на железнодорожном транспорте на открытых участках путей метрополитенов, в городском электротранспорте. Наряду с решением задач безопасности внедрение AVL-систем повышает эффективность использования железнодорожного и автомобильного транспорта: снижает потери, связанные с простоями техники, позволяет более организованно проводить плановые ремонты и техническое обслуживание транспортных средств в зависимости от их реального пробега, улучшает дисциплинированность, ответственность машинистов, водителей, обеспечивает объективную оценку трудовых затрат персонала. AVL-системы появились благодаря бурному развитию вычислительной техники, микроэлектроники, и прежде всего глобальной спутниковой навигации (GPS).

Основу диспетчерских информационных систем составляют следующие принципы:

1. Каждое транспортное средство оборудуется многоканальным приемником навигационных сигналов, излучаемых спутниками систем NAVSTAR или ГЛОНАСС непрерывно, в любую погоду. В любой точке страны, в частности Украины, приемник может регистрировать от 6 до 10 спутников системы NAVSTAR и ГЛОНАСС. После соответствующей обработки аппаратурой потребителя сигналы от нескольких спутников преобразуются в значение долготы, широты, высоты, скорости и направления движения.

2. Полученная информация передается по радиоканалу на диспетчерский центр и отображается соответствующим значком на электронной карте города, региона или страны. Данные о местоположении транспортного средства регистрируются в компьютере также в текстовом виде. Понятием радиоканал объединены УКВ-связь, сотовая связь, глобальная система спутниковой связи и другие.

3. Благодаря быстрому регулярному автоматическому опросу транспорта и высокой скорости передачи информации диспетчеры могут получать данные о состоянии тысяч единиц транспорта. Уже сейчас имеются технические решения для одновременного слежения и управления десятками тысяч объектов.

4. AVL-технология переводит на диспетчерском пункте информацию о местоположении транспортных средств в «картину» на электронной карте.

Поэтому стоит актуальный вопрос об адекватности электронных карт. В компьютере формируются также динамически изменяющиеся текстовые сообщения с указанием характерных особенностей местности, расстояния до ближайшей точки маршрута. Диспетчерской службе передается объективная информация о текущем состоянии транспортного средства (неисправности систем, наличии энергоснабжения, топлива, аварийных ситуациях и так далее).

5. Телесигнализация с транспортного средства идет в радиоэфир без вмешательства машиниста или водителя. Это позволяет им сосредоточиться на выполнении своих прямых обязанностей, а диспетчеру — принимать решения на основе объективной информации, что важно в критических ситуациях. Нажатием кнопки на экране-индикаторе машинист или водитель наряду с информацией о местоположении транспортного средства может отправить стандартные или экстренные сообщения типа «на маршруте, жду указаний», «авария», «нападение», «остановлен из-за снегопада» и так далее. Таким образом, диспетчер вместе с этими сообщениями получит координаты транспортного средства с точностью 2—5 м, если используется дифференциальный режим спутниковых наблюдений. Серийно выпускают системы, позволяющие водителю направлять на любой факс или e-mail практически в любую точку на Земле текст с компьютера, установленного в кабине, или принимать документы на принтер или факс прямо в кабине. Следовательно, сокращается время реакции диспетчера, который по одному взгляду на экран рабочей станции может определить, где находится каждое транспортное средство и нужна ли ему помощь. В AVL-системах существенно сокращается голосовой радиообмен. Любые действия машиниста или водителя могут быть заранее запрограммированы в бортовом комплексе, а передача идет по цифровому каналу, который достаточно просто кодируется.

6. Системы диспетчерского управления и контроля, или AVL-системы, могут различаться по методам определения координат транспортных средств, по способам обмена информацией между диспетчерским центром (ДЦ) и транспортным средством (ТС), логикой построения самого ДЦ и другим параметрам. Однако удобно классифицировать диспетчерские системы по зоне предполагаемой работы. По такому признаку диспетчерские системы можно условно разделить на системы глобального покрытия — «дальние системы» и системы локального покрытия — «ближние системы».

Дальние системы используются для контроля международных и междугородных перевозок, когда

расстояние между ДЦ и ТС составляет десятки тысяч километров. Для таких систем наилучшим решением в качестве средств связи являются спутниковые каналы. Конечно, можно использовать и сотовую телефонию. Такое решение не может быть признано удовлетворительным ввиду того, что зоны работы сотовых телефонов покрывают только крупные города и небольшие территории около них. Спутниковые системы связи на Украине представлены двумя принципиально различными системами — на базе геостационарных спутников («Inmarsat» и «Eutelsat») и низкоорбитальных спутников («Iridium», «Globalstar», «Orbocomm»). Низкоорбитальные системы весьма перспективны. Однако на полно-масштабный эксплуатационный уровень они выйдут через несколько лет. Поэтому диспетчерских систем, построенных на базе такой связи, в ближайшее время ожидать не следует. Наиболее широко на рынке Украины могут быть представлены диспетчерские системы, построенные с использованием связи стандарта «Inmarsat-C». Этот стандарт предусматривает передачу цифровых сообщений определенной длительности. Передача информации между ДЦ и транспортным средством обеспечивается на всей территории земного шара, за исключением приполярных областей. Время доставки сообщения до адресата не превышает 5—7 мин. Диспетчерская система, построенная на связи «Eutelsat — EutelTracs» обладает примерно такими же функциями, но область связи ограничена Европейской частью.

Комплект для объекта контроля состоит из малогабаритной наземной спутниковой станции, спутниковой и навигационной антенн, бортового компьютера пользователя и набора различных датчиков. Бортовой компьютер обеспечивает управление передачей информации о местоположении либо через заданный промежуток времени, либо по запросу с ДЦ. Кроме этого, на ДЦ может передаваться информация о состоянии всех подключенных датчиков. Водитель и диспетчер могут обмениваться между собой текстовыми сообщениями произвольной формы, что практически полностью заменяет голосовую связь, которая является достаточно дорогой услугой на больших расстояниях. Точность определения местоположения — около 100 м. Информация на ДЦ отображается на электронной карте той местности, где проходит маршрут транспортных средств. Кроме этого, вся поступающая и исходящая информация архивируется, и в любой момент может быть представлена как в графическом, так и в табличном виде при анализе. Существенным достоинством является то, что бортовой компьютер и программное обеспечение ДЦ для

«Inmarsat-C» русифицировано (в отличие от «EutelTracs»).

Ближние системы предназначены для контроля и управления парком транспортных средств на удалении от ДЦ не более 200 км. На таких расстояниях применение спутниковой связи уже нерационально. Поэтому в диспетчерских системах такого типа применяются другие виды радиосвязи: выделенный УКВ-канал, транкинговые сети, сотовая телефония. В последнее время идет бурное развитие этих видов связи. Основными потребителями подобных систем могут быть городские оперативные службы (милицейские патрули, службы скорой помощи), службы доставки, организации, осуществляющие вывоз бытовых отходов, службы безопасности для VIP-клиентов и др. В «ближних системах» важным фактором является оперативность доставки информации, а также поддержка голосовой связи (в последнее время вместо голосовой связи широко применяются формализованные текстовые сообщения). Скорость обмена информацией между ДЦ и объектами контроля может достигать 10 объектов в секунду. При этом обеспечивается приоритетная передача специальной информации (тревожных сообщений), и состояние дискретных и аналоговых датчиков. Бортовой комплект транспортного средства ближней системы состоит из бортового контроллера со встроенной навигационной аппаратурой пользователя (иногда она может быть невстроенной с навигационной антенной), бортовой радиостанции (или сотового телефона), связной антенны и комплекта датчиков. Функции управления бортовым комплектом возлагаются на контроллер, который обрабатывает информацию, поступающую от всех источников, а затем передает сформированный пакет на ДЦ. Помимо указанных для дальней системы способов обмена между транспортными средствами и ДЦ, здесь могут применяться специальные методы, которые и позволяют реализовать скорости опроса до 10 транспортных средств в секунду).

Точность определения местоположения составляет около 100 м, но в подобных системах возможен дифференциальный режим, который повышает точность относительного определения местоположения до нескольких метров. При этом используется ближайшая контрольная базовая навигационная станция, относительно которой и производятся уточнения положений транспортных средств. На базовой станции вычисляются соответствующие поправки, которые могут либо передаваться на борт для генерации уточненных координат и передачи их на ДЦ (прямой дифференциальный метод), либо передаются на ДЦ, где они используются для коррекции получаемых с бортов менее точных координат (ин-

версный дифференциальный метод). На ДЦ принятая информация также помещается в базу данных и отображается на электронной карте города или той местности, где проходят маршруты. Архивирование поступающей информации позволяет в дальнейшем подвергнуть ее анализу оператору ДЦ. Доступно решение еще одной задачи. В случае получения информации о нападении на транспортное средство оператор может дистанционно выключить или включить один или несколько исполнительных механизмов (например, электроснабжение). Такая возможность имеется и в дальнейшей системе, но там она теряет всякий смысл — отправить оперативную группу поддержки за тысячи километров невозможно. Поставляемое программное обеспечение ДЦ для ближних систем обычно полностью русифицировано.

Для построения типичной диспетчерской системы можно использовать комплексное решение практически любых задач слежения и диспетчеризации, воспользовавшись, например, предложением компании «Trimble Navigation» [7]. Система состоит из подсистемы бортовой аппаратуры транспортного средства, подсистемы диспетчерского центра и канала связи между ними (рис. 1).

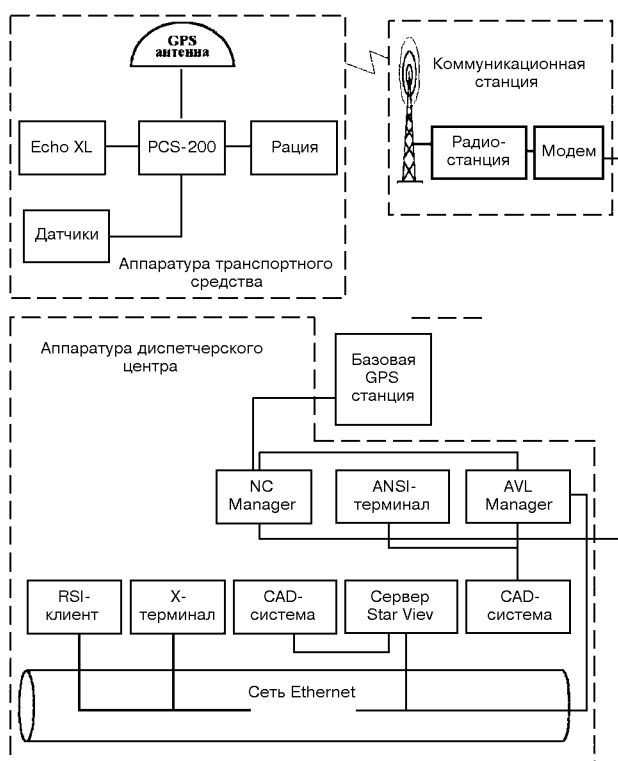


Рис. 1. Структурная схема системы слежения за транспортом

Ключевым элементом в AVL-системе является радиоконтроллер PSC-200, который содержит процессор ввода-вывода, спецпроцессор, радиомодем, контроллер связи и GPS-приемник. Аппаратура пользователя — шестиканальный приемник GPS-сигналов с внешней антенной использует простой последовательный ASCII-протокол и позволяет обеспечить непрерывность работы следящей системы в городских условиях. Такие данные о транспортном средстве, как широта, долгота, высота, скорость, условный номер средства и системное время могут выдаваться приемником по крайней мере один раз в секунду. Благодаря точному отсчету времени, доступному всем транспортным средствам, могут быть осуществлены различные стратегии приема сообщений: либо на основании запроса, либо по установленному графику. Вычисление точного местоположения транспортного средства — одна из задач, решаемых AVL-системой. Информация о координатах и состоянии транспортного средства должна быстро передаваться в диспетчерский центр. Эффективность передачи определяется двумя элементами: микропроцессорным модемом, специально созданным для работы с мобильной радиостанцией, и спецконтроллером сети передачи данных. Одно из главных преимуществ использования микропроцессорного бортового контроллера — возможность осуществления более сложного протокола сеансов связи. В системе реализован «слотовый» протокол отсчетов, который в четыре раза увеличивает количество ТС, передающих сообщения ежесекундно по одному радиоканалу. В течение каждого цикла каждому ТС направляется запрос, в котором предлагается либо ответить в определенный интервал времени — «слот», либо промолчать. AVL-система позволяет пользователям получать сообщения от трех-пяти транспортных средств в секунду. Таким образом, могут быть достигнуты скорости опроса от 180 до 300 ТС в минуту по одному выделенному радиоканалу.

В радиоконтроллер PSC-200 включен интегрированный мобильный радиомодем — специализированное устройство, предназначенное для обеспечения надежной передачи данных через радиостанцию. Известно, что основной функцией радиомодема является преобразование информационных данных в сигналы, удобные для передачи по радиоканалу. Для передачи через радиостанцию используются специальные процедуры сжатия данных и обнаружения ошибок. Такой подход снижает влияние эффектов, связанных с затуханием радиосигналов, а также не допускает прохождения искаженной информации на диспетчерский центр.

На радиоконтроллер PSC-200 возложены все не-

обходимые функции управления мобильной радиостанцией: настройка радиоканала, обеспечение модуляции и демодуляции и прочее, благодаря чему она может работать полностью в автономном режиме, не требуя никакого вмешательства оператора или машиниста, что, в свою очередь, позволяет разместить оборудование транспортного средства в виде недоступного «черного ящика». Следует упомянуть, что радиоконтроллер PSC-200 выполняет также ряд весьма ответственных функций для работы всей системы AVL. Он управляет двумя устройствами RS232, одно из которых требуется для подключения к бортовому экрану-индикатору состояния «Echo XL» или к радиостанции «Motorola». В контроллере используется GPS-время для координации «слотовой» системы связи, а также для точной фиксации моментов времени изменения состояния транспортного средства. Другие функции радиоконтроллера PSC-200 по обработке входных и выходных сигналов связаны с дискретными сигналами, которые подаются на разъем контроллера. Эти сигналы могут использоваться для передачи контрольных параметров транспортного средства: оценка исправности системы энергоснабжения, электропитание приборов освещения, сирены и т. п.

Бортовой микропроцессор запрограммирован на выполнение нескольких ключевых функций поддержки. Прежде всего микропроцессор выключает радиостанцию через 6 мин после выключения системы питания. Радио включается вновь при включении энергоснабжения системы. Эта функция предотвращает чрезмерный разряд батарей. Информация о состоянии радиостанции также передается контроллеру диспетчерского центра для отображения на терминале «AVL Manager» диспетчерского центра. Далее, микропроцессор накапливает данные от подсистемы скорости вычисления и передачи информации о пройденном пути. Контроллер автоматически вносит в передаваемое сообщение данные о пройденном расстоянии при каждом изменении состояния (например при перемещении средства от одного места дислокации к другому). Кроме того, процессор используется совместно с терминалом «Echo XL» для передачи стандартных сообщений, выбираемых и добавляемых экипажем.

Бортовой терминал состояния «Echo XL» предназначен для быстрой и простой связи водителей транспортного средства и персонала диспетчерского центра без использования голосовой связи. Диспетчеру может быть сообщено до 8 типов состояний. Каждое из них может иметь до 15 сообщений. Тип состояния и сообщения программируются в соответствии с конкретными должностными инструкциями служб, предписывающими определенные доклады и

варианты действий в той или иной ситуации. Терминал имеет большой жидкокристаллический экран. На нем отображается название каждого ключа состояния и используются четкие символы, которые легко читаются практически при любых условиях освещения. Надписи на русском языке крупным шрифтом и отдельно расположенные клавиши уменьшают возможность ошибочных операций. «Терминал Echo XL» размещен в прочном водонепроницаемом пластиковом корпусе, способном сохранять работоспособность терминала при аварийных ситуациях.

В системе AVL могут применяться различные типы и модели радиостанций, включая «Midland Radio», «Motorola», «Standart» и др. Система работоспособна в любом диапазоне частот, на который у заказчика имеется лицензия, от низких частот до 900 МГц. Радиосеть может использовать одну или несколько точек ретрансляции, что не сказывается на функционировании системы.

Оборудование диспетчерского центра. AVL-система включает оборудование и программное обеспечение, необходимое для ее автономного функционирования, включая диспетчерский центр.

«NC Manager» — специализированное программное обеспечение управления информационной линией радиосвязи. Ориентированный на персональный компьютер программный пакет организует опрос, получение сообщений, контроль линии связи, а также работу с группой удаленных базовых станций или с большим числом передатчиков. Это устраняет необходимость в управлении оборудованием путем последовательной передачи запросов от каждой радиостанции. Программное обеспечение позволяет также отфильтровать многократные повторения одного и того же сообщения от транспортного средства, принимаемого разными радиостанциями.

Существует несколько методов, используемых при управлении информационными потоками в подвижной радиосвязи. Например, метод опроса, использующий комбинацию автоответа и опроса по очереди с целью обеспечить гибкость и оптимизировать работу в разрешенной полосе частот. В этом методе базовая станция передает по радио сообщение-запрос, содержащий поле «разрядной карты». Положение разрядов этой карты сообщает каждому подвижному модему, как и когда передавать сообщение о состоянии и местоположении.

Пакет программ управления системой слежения и оперативного контроля. Программа «AVL Manager» осуществляет управление всей системой, служит интерфейсом данных для транспортных средств, дает информацию о местоположении, пе-

редает системе отображение карты слежения и обеспечивает функционирование до восьми диспетчерских рабочих мест.

Через терминал «Superuser» «AVL Manager» позволяет полностью конфигурировать каждый сегмент системы. Набор из 60 команд позволяет диспетчеру системы конфигурировать все порты данных, создавать и удалять терминалы, модифицировать информацию в базе данных, изменять конфигурацию, изменять параметры сети данных, а также создавать и редактировать форматы экрана. Все команды представляют собой четырехбуквенные мнемोगраммы с последующими изменяемыми полями.

Некоторые из команд выводят на экран дисплея информацию о системе, полезную для управления каналом связи и конфигурацией системы. Применяя эти команды, пользователь может создавать на дисплее AVL-состояния, выводя 25 параметров, относящихся к конкретной транспортной единице: номер транспортного средства, класс транспортного средства, состояние транспортного средства, схема опроса; скорость транспортного средства, возраст сообщения местоположения, расстояние от ближайшего известного пункта, слот (временной интервал для опроса), сообщение, состояние блока энергообеспечения, состояние «открытая дверь», общий индекс сообщения, ближайший известный пункт, изменяемый идентификатор, направление движения, возраст положения порта данных, широта и долгота.

Таким образом обеспечивается настройка, позволяющая заказчику и пользователю приспособить систему под конкретные потребности оперативной службы и режима работы.

Программное обеспечение включает базу данных известных пунктов, позволяющую пользователю вводить в таблицу описания известных географических мест, таких как пересечения с дорогами, мосты, стрелки, ориентиры и др. Широта и долгота каждого такого места могут быть введены с помощью измерения по топологической карте или просто путем выезда на ТС, оборудованном системой AVL и привязки к каждому пункту с описанием этого места. Программное обеспечение автоматически сохраняет последовательность сообщений о местоположении транспортного средства и вычисляет, какой ориентир является самым близким, и расстояние до него. Есть команды для немедленного получения информации о конкретном транспортном средстве, не прибегая к его поиску по перечню.

Программа отображения карт. Программное обеспечение «Star View» обеспечивает отображение положения транспортного средства и его состояния

на электронную карту. В AVL используется версия «Star View RSI» (Remote System Interface), обеспечивающая как непосредственное управление конфигурацией окон карты манипуляциями с помощью «мыши» и клавиатуры, так и применение командного интерфейса через Ethernet. Конфигурация окон карты может управляться и командами от терминалов «AVL Manager».

На экране можно показать одновременно несколько областей карты. Каждая карта индивидуально конфигурируется в пределах отдельного окна, чтобы отобразить различные границы, масштаб, точку обзора, выбранные сообщения о состоянии транспортного средства. Так как каждое окно способно к отображению любой части карты, содержащейся в базе данных, точка обзора карты может быть выбрана так, чтобы представить карту полностью, ее ограниченную область или конкретный участок местности. Для наблюдения за работой транспорта может быть открыто специальное окно, с помощью которого можно контролировать и отслеживать отдельное транспортное средство или целую группу. Оператор может выбрать интересующую его область, изменить масштаб, в частности путем «наезда» точки наблюдения на карту и центрировать изображение относительно выбранной точки.

Терминалы «AVL Manager» позволяют управлять дисплеями, на каждом из которых можно расположить до 4 окон с картами. Если карта создана для слежения за транспортным средством или их группой, то окно будет автоматически заменять масштаб и перемещать изображение, чтобы сохранять в течение всего времени интересующие транспортные средства в пределах окна. С помощью стандартных утилит могут быть изменены размеры каждого окна с картой или его положение на экране. Другие возможности манипуляций с картой включают утилиту «найти транспортное средство», используемую для быстрого нахождения местоположения и отображения конкретной транспортной единицы и утилиту, позволяющую вывести на экран опорный пункт, чтобы помочь диспетчерам быстро сориентироваться при принятии решений.

Для обозначения различных типов транспортных средств можно использовать 8 различных условных знаков, формы и размеры которых выбираются при конфигурировании. Система может отображать идентификатор любой из транспортных единиц, а также показывать их состояние, изменяя цвет изображения.

В дополнение к визуальному отображению состояния транспортного средства во временном рабочем окне в пределах изображения карты может распо-

лагаться текстовая информация о каждом из объектов, включая идентификатор транспортной единицы, направление движения, скорость, время и т. д.

Дифференциальный режим работы [5, 8]. Глобальная спутниковая навигационная система GPS позволяет проводить определения координат с точностью до нескольких метров. При использовании метода дифференциальной коррекции GPS (DGPS) точность измерений GPS-приемниками достигает 3—5 м. Общие сведения о ГСНС даны, например, в работе [7].

На практике применяют два типа DGPS: с передачей дифференциальных поправок и инвертированная. В системе с передачей дифпоправок базовый GPS-приемник вырабатывает дифференциальные поправки, которые передаются по радиоканалу на всю железную дорогу (весь транспортный парк). Мобильные GPS-приемники используют поправки для повышения точности определения своего местоположения, после чего уточненные координаты сообщаются на базовую станцию. В инвертированной системе GPS-поправки сохраняются на базовой станции и используются при обработке сообщений о местоположении по мере их поступления от ТС.

Базовая станция CBS в реальном масштабе времени вырабатывает поправки, которые существенно повышают точность определения местоположения ТС, оборудованных GPS-датчиками. GPS-станция содержит GPS-приемник с 12 параллельными каналами слежения за спутниковыми сигналами, выносную внешнюю GPS-антенну, кабели, источники электропитания и программное обеспечение для ПК. Дифпоправки поступают на «NC Manager» и передаются по радиоканалу на мобильные GPS-приемники.

Инвертированная дифференциальная система GPS (IDGPS) использует дифференциальную базовую станцию 4000RS, которая соединена с «NC Manager», использующим данные для внесения поправок в сообщения о местоположении по мере их поступления от подвижных объектов. Для систем, где скорость опроса является главным показателем, при числе ТС менее 30 устройство IDGPS работает быстрее, чем устройство DGPS с передачей дифференциальных поправок. Для систем, обслуживающих более 30 транспортных единиц, DGPS является более эффективной.

Аппаратура потребителя в общем случае включает: антенну, устройство приема, преобразования и обработки сигналов ИСЗ, навигационный процессор, устройство отображения навигационной информации.

Некоторые фирмы-производители GPS-приемников, помимо готовых конструктивно законченных

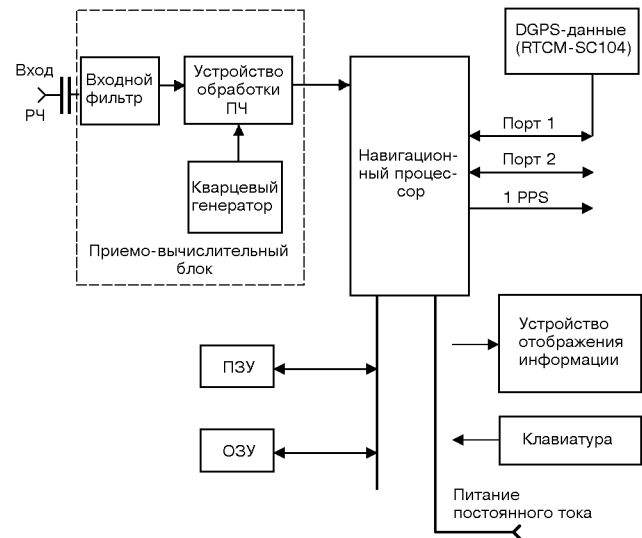


Рис. 2. Функциональная схема GPS-приемника

приборов выпускают так называемую OEM-продукцию. Эта продукция представляет собой печатную плату с навесными элементами без корпуса. Такие устройства удобно использовать для решения нестандартных задач, а также если есть необходимость в упрощении или усовершенствовании функций, которыми обладают готовые конструктивно законченные приемники. Распространенная блок-схема такого устройства приведена на рис. 2.

Плата включает в себя два основных блока (микросхемы): приемо-вычислительный блок и навигационный процессор. Приемо-вычислительный блок усиливает и демодулирует принятый сигнал для выделения передаваемой в нем навигационной информации. Навигационный процессор решает навигационную задачу и выдает все необходимые данные в порт 1 или 2 в заданном формате. Как правило, есть возможность ввода дифференциальных поправок через порт 1 или 2, и вывода сигнала 1 PPS (синхроимпульса с частотой 1 Гц).

При подсоединении платы с антенной и источником питания к компьютеру можно получать на дисплее навигационные данные и координаты в формате NMEA или в формате фирмы-производителя. Если подключить к плате клавиатуру, устройство отображения информации, а также дополнительную память, процессор, то можно получить готовый GPS-приемник, т. е. законченное изделие. В последнее время намечается тенденция к продаже отдельных навесных элементов. Наиболее распространенные OEM продукты различных фирм-производителей приведены в табл. 2.

Таблица 2. OEM-продукция различных фирм-производителей

Производитель	Модель	Возможна работа по сигналам систем	Число каналов	Размеры, мм	Масса, г	Точность		Потребляемая мощность, Вт	Цена, USD в Украине
						Позиция, м	Время, нс		
Ashtech, Magellan США	G8	GPS	8	38.5×59×8	19.6	3	1.000	< 0.75	180
Ashtech, Magellan США	G12-L	GPS	12	57.5×12.5×107.5	3.64	0.01	175	1.4	2 700
Ashtech, Magellan США	GG 24	GPS/ GLONASS	24	97.5×17.5×165	14	0.005	300	1.8	9 000
СМС, GPS-OEM Group Канада	Alstar 5 Hz PVT	GPS	12	66.25×13.75×100	3.08	0.01	50	1.2	930
Koden Electronica Co, Ltd Япония	GSU-25	GPS	12	35×12.5×62.5	20	10	500	1.2	128
m-blox AG Швеция	GPSMS1	GPS	12	29.3×7.7×29.3	15	2	100	0.14	126
MITAC Inc Тайвань	MGE-110	GPS	12	54×16×71	24	< 2	1.000	?	165
Philips Semiconductors США	UAA 1570 RF Front EndSAA 1575	GPS	—	—	—	3—5	300	0.5	50
Rojone Pty Ltd Австралия	GPS Genius	GPS	12	70×70×15	110	< 2	1.000	1	350
Trimble Navigation Limited США	Lassen-SK8	GPS	8	82.6×31.2×10.2	19.6	1—5	300	0.75	200

Таблица 3. OEM-продукция фирмы «Trimble»

Параметр	SVEeSix-CM3	ACE GPS Module	Lassen-SK8	Thunderbolt GPS Discipline Clock
Частота	L1, код C/A (SPS)	L1, код C/A (SPS)	L1, код C/A (SPS)	L1, код C/A (SPS)
Число каналов	6	8	8	8
Точность, м	25 КВО без S/A	25 КВО без S/A	25 КВО без S/A	—
Точность DGPS, м	от 2 до 5 (2 сигма)	2 КВО без S/A	2 КВО без S/A	—
Точность сигнала 1PPS, нс	1000	95	500	50
Рабочая температура, °C	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85
Влажность, %	5—95	5—95	5—95	5—95
Высота, м	-400...+18000	-400...+18000	-400...+18000	-400...+18000
Питание, В	+5 (-3...+5 %)	+5 (-5...+5 %)	+5 (-5...+5 %)	+12, -12, +5
Потребляемая мощность, Вт	1.15	Уточняется	0.75	10
Протоколы	TSIP, TAIP, NMEA	TSIP, TAIP, NMEA	TSIP, TAIP, NMEA	TSIP
Размеры, мм	82.6×46.5×14.7	82.6×46.5×14.7	82.6×31.2×10.2	127×102×51
Масса, г	36.4	28.3	19.6	567

Наиболее широкий спектр OEM продуктов предлагает фирма «Trimble», в частности: SVEeSix — CM3; «ACE GPS Module»; «Lassen-SK8»; «Thunderbolt GPS Disciplined Clock» (табл. 3).

Модуль SVEeSix-CM3 обеспечивает выполнение функций контроля за работой антенны, которая также обеспечивает защиту антенного кабеля от замыкания на землю или на 12 В. Благодаря этой функции модуль сигнализирует пользователя о том, что антенна замкнута или отключена. Наличие двух последовательных портов дает возможность непосредственного ввода сигналов дифференциальной коррекции в формате RTCM SC-104. Встроенные часы позволяют уменьшить время захвата рабочего созвездия при первом включении прибора (холодный старт), поэтому можно начи-

нать работу с платой без подключения ее к компьютеру для установки текущего времени. Модуль имеет шестиканальный приемный тракт, позволяющий с помощью метода перераспределения сопровождать восемь спутников, что улучшает точность позиционирования. Имеется функция сопровождения шести «высоких» или четырех «лучших» из восьми спутников. Есть возможность использования сигнала 1 PPS, синхронизированного по UTC с погрешностью менее 1 мкс. Гибкость и легкость интеграции модуля обеспечивается двумя последовательными портами. Первый порт может использоваться для выдачи сообщений в формате двоичного протокола TSIP, обеспечивающего максимальный контроль за работой модуля, или формате TAIP, наиболее подходящего для задач слежения за

объектами. Второй последовательный порт выводит NMEA-сообщения. Скорость выдачи TSI-сообщения — раз в две секунды, а TAIP и NMEA — с частотой 1 Гц.

Инженерный продукт «ACE GPS Module» в отличие от SVeeSix — CM3 имеет восьмиканальный приемный тракт и обладает меньшим энергопотреблением при тех же габаритных размерах, что обеспечивает большую надежность и экономичность. В отличие от устройства «ACE GPS Module» плата «Lassen-SK8» имеет меньшие габариты и массу благодаря технологии «Sierra GPS».

Модуль «Thunderbolt GPS Discipline Clock» предназначен для систем синхронизации. Он включает специально изготовленный термостатированный кварцевый генератор и его управляющую схему на одной плате. В плате используется специально разработанный алгоритм самокоррекции для уменьшения влияния режима селективного доступа. «Thunderbolt GPS Discipline Clock» имеет три выходных сигнала: сигнал в формате интерфейсного протокола TSIP, сигнал с частотой равной 10 МГц и сигнал 1PPS (точность сигнала 1 PPS, синхронизированного по UTC, составляет 50 нс).

ОЕМ продукция фирмы «Ashtech/Magellan». Особый интерес представляет ОЕМ-продукция фирмы «Ashtech/Magellan» (табл. 4). Последними разработками этой фирмы являются платы G8, G12, которые работают по сигналам по сигналам двух систем NAVSTAR и GLONASS.

Плата G8 включает в себя восьмиканальный приемный тракт, который принимает спутниковые сигналы на частоте L1 (1575.42 МГц), имеет возможность приема RTCM-поправок в режиме реального времени и выдачи всей информации через второй параллельный порт только в формате NMEA. Для платы G8 характерны малые габариты, масса, а также незначительное энергопотребление.

Плата G12 — это 12-канальный модуль, который определяет координаты не только по коду, а и по несущей сигнала. Поэтому точность позиционирования в режиме реального времени повышается до 90 см (95 %) в плане, и 1.6 м (95 %) по высоте. Также повышается точность сигнала 1 PPS, и в дифференциальном режиме составляет 30 нс. Особенности данной платы являются: выдача позиции, а также «сырых данных» (код и фаза несущей) с частотой 20 Гц; формирование высокоточных сигналов на частотах от 1 Гц до 8.25 МГц; возможность изменения моделей геоида. Плата G12 имеет два порта RS-232: один для приема дифференциальных поправок в формате RTCM, другой для выдачи данных в формате NMEA. Потребляемая мощность составляет 1.4 Вт при напряжении источника питания 5 В ($\pm 5\%$).

Более перспективной и интересной является плата GG 24, содержащая 24-канальный приемный тракт и позволяющая принимать сигналы от двух навигационных систем одновременно (12 каналов — NAVSTAR и 12 каналов — GLONASS). Это устройство надежно определяет координаты в крупных городах с высотными зданиями, в карьерах, ущельях, горной местности, т. е. в местах с большим затенением сигналов от ИСЗ. В связи с тем, что Украина не имеет селективного доступа при работе по сигналам системы NAVSTAR, точность определения координат и времени в автономном режиме соответственно равны 16 м (95 %) и 70 нс (1 PPS). А при вводе дифференциальных поправок точность увеличивается до значений 75 см (95 %) и 45 нс (1 PPS). Плата GG 24 поставляется с программным обеспечением «Ashtech Evaluate», которое работает в среде Windows, и выдает информацию о спутниках, позиции и скорости пользователя. Плата GG 24 питается постоянным напряжением 5 В, при этом потребляется мощность 1.8 Вт.

Таблица 4. Сравнительный анализ ОЕМ-продукции различных фирм-производителей

Параметр	«Lassen-SK8»	G8	«Jupiter»
Частота	L1, код C/A (SPS)	L1, код C/A (SPS)	L1, код C/A (SPS)
Число каналов	8	8	12
Точность, м	25 КВО без S/A	40 КВО	25 КВО без S/A
Точность DGPS, м	2 КВО без S/A	3 КВО	от 2 до 5 (2 сигма)
Точность сигнала 1 PPS, нс	500	1000	1000
Рабочая температура, °C	-40...+85	-30...+80	-40...+85
Влажность, %	5—95	95	95
Высота, м	-400...+18000	+18288	-330...+18000
Питание, В	+5 (-5...+5 %)	5	+5 (-5...+5 %)
Потребляемая мощность, Вт	0.75	0.75	1.025
Протоколы	TSIP, TAIP, NMEA	NMEA	Binari, NMEA
Размеры, мм	82.6×31.2×10.2	39×60×8	71×41×11
Масса, г	19.6	19.8	23

Имея небольшие габариты 10×16.7 см и массу, плата GG 24 — это весьма удобный продукт для инженерных применений.

Если провести сопоставимый анализ трех плат «Lassen-SK8» фирмы «Trimble»; G8 фирмы «Ashtech»; «Jupiter» фирмы «Rockwell» (табл. 4), можно отметить, что наибольшим числом каналов обладает плата «Jupiter», поэтому она более надежна при решении навигационной задачи.

К тому же плата «Jupiter» имеет возможность отслеживать фазу несущей принимаемого сигнала, и ее можно применять в геодезических приложениях. Но при этих достоинствах габариты ее больше и она менее экономична с точки зрения потребляемой мощности. Как и плата «Lassen-SK8», плата «Jupiter» помимо выходного формата NMEA может выдавать данные и в двоичном формате фирмы «Rockwell». По характеристикам поиска и слежения за спутниками при холодном, теплом и горячем старте можно отметить, что они у всех трех плат практически одинаковы. Точностные характеристики и характеристики устойчивости к внешним воздействиям у всех трех плат практически одинаковы. Плата «Jupiter», в отличие от плат «Lassen-SK8» и G8, может использоваться с двумя видами антенн — активными и пассивными, а G8 и «Lassen-SK8» поставляют только с активными антеннами.

Платы фирмы «Trimble» «Lassen-SK8», SVeeSix-СМ3, «ACE GPS Module» предпочтительно использовать для построения диспетчерских систем (как мобильные приемники), так как они имеют подходящий для этих целей выходной формат TAIP. Плата «Thunderbolt GPS Disciplined Clock» удобна и надежна в задачах синхронизации, так как она разработана специально для решения такого рода задач.

Еще одно из достоинств плат фирмы «Trimble» — это формат TSIP. Используя его, можно получить всю информацию, которую передают ИСЗ. Поэтому на базе формата TSIP можно строить базовые дифференциальные станции, в отличие от плат G8, GG 24, «Jupiter». Уникальную в своем роде плату GG 24, работающей по сигналам двух навигационных систем, предпочтительно использовать в городских условиях и в условиях с большим затенением GPS-сигнала, а также как навигационный прибор. При этом обеспечиваются высокие точности (16 м) без использования дифференциального режима. Все платы имеют выходной формат NMEA и могут принимать и использовать RTCM поправки в режи-

ме реального времени, поэтому все они могут быть использованы при построении мобильных навигационных приборов.

Поскольку формат NMEA стандартизирован и используется навигационными приборами других классов, есть возможность стыковки GPS-плат с другими навигационными приборами и выдачи совмещенной информации на один универсальный дисплей.

Украина и Россия также разрабатывают аппаратуру потребителей и OEM-продукцию, поэтому можно надеяться, что в ближайшее время она будет конкурировать с продукцией стран дальнего зарубежья.

1. Аргунов А. Д. и др. Формирование и применение интегрального радионавигационного поля // «Навигация-98»: Сб. тр. второй междунар. конф. — М., 1997.—Т. 2.—С. 336—353.
2. Бахвалов Б. Н., Верещак А. П., Макаренко Б. И. и др. Современные технологии на железнодорожном транспорте / Под ред. Б. И. Макаренко, Л. А. Исаева. — Харьков: ХВУ, 2000.—С. 220.
3. Бирюков А. Система контроля и управления транспортом // Сети.—1996.—№ 7.—С. 126.
4. Величко О. Н., Макаренко Б. И., Каминский В. Ю. та інші. Державна служба єдиного часу і еталонних частот — необхідний елемент розвитку наземної космічної інфраструктури України // Космічна наука і технологія.—1997.—3, № 1-2.—С. 7—16.
5. Верещак А. П., Пискорж В. В., Жалило А. А. и др. Концепция создания системы навигационного обеспечения Украины // Космічна наука і технологія.—1998.—4, № 5/6.—С. 46—56.
6. Демченко О. Ф., Макаренко Б. И., Черепнев А. А. Использование высоких технологий на транспорте // Рынок услуг комплексных транспортных систем и прикладные проблемы регионов: Тр. междунар. практической конф., Киев, 12—13 октября 1999 г. — Киев, 1999.—С. 27—28.
7. Хомяков Э. Н., Макаренко Б. И., Трикоз Д. В., Кашенко В. С. Возможности перспективной глобальной навигационно-связной спутниковой системы // Радиотехника.—1996.—№ 8.—С. 60—64.
8. Receiver Survey // GPS World.—1998, January.—P. 46—60.

IMPLEMENTATION OF GPS TECHNOLOGIES ON GROUND TRANSPORTATIONS

B. I. Makarenko, A. I. Gorb

We present an information to use the technologies of global satellite navigation systems (GSNS) for ground transportations (automobiles, railways). It is considered one of the effective systems operating at present using named technology. The principles of such system operation, their implementation and attainable technical parameters are described.