

Повышение точности определения местоположения железнодорожного подвижного состава за счёт комбинирования различных методов определения координаты

А. Д. Андронников¹, Д. Н. Роевков²

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

¹lynx_a@mail.ru, ²roevkov_dmitry@mail.ru

Аннотация. Статья содержит описание существующих на сегодняшний день систем определения местоположения железнодорожного подвижного состава. Приведён анализ достоинств и недостатков этих систем. Произведена предварительная оценка возможностей оптимального комбинирования систем с целью повышения точности и скорости позиционирования.

Ключевые слова: система навигации, определение местоположения, подвижной состав, RFID-технология

I. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день высокоточное отслеживание местоположения железнодорожного подвижного состава является одной из основных задач транспортной безопасности. Происходит постоянное совершенствование навигационных систем и внедрение их на станциях и перегонах. Однако у каждой системы имеются свои достоинства и недостатки, выявляющие себя в процессе эксплуатации. Крайне важно выявлять слабые места каждой из них и проектировать единую систему отслеживания таким образом, чтобы в каждой точке маршрута следования обеспечивалась возможность предоставления информации о местоположении, состоянии, скорости и направлении движения подвижного состава. Для этого требуется замещать или дублировать имеющиеся системы навигации друг другом в зависимости от внешних условий, в которых может оказаться состав.

II. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Для определения местоположения используются основные четыре технических метода:

- прямое определение местоположения;
- косвенное определение местоположения;
- спутниковые системы;
- наземные передатчики.

1) *Прямое определение* местоположения является самым простым методом, так как местоположение определяется в момент прохождения ПС через данное сечение, образованное, например, радиомаяком. В данном случае часто говорят о датчике положения, сигнал которого может передаваться не только с помощью радиоволн, но также с помощью световых или инфракрасных лучей. Существенным условием такого метода является наличие в транспортном средстве

бортового устройства, способного вести связь с радиомаяком.

При отсутствии бортового устройства используются видеокамеры, которые позволяют считывать номерные знаки и по ним определять проезд ПС через данную сеть.

С помощью контрольных пунктов (КП), точное местоположение которых известно в системе, на маршруте следования подвижного состава создается сеть контрольных зон. Местоположение транспортного средства определяется по мере прохождения им КП. Индивидуальный код КП передается в бортовую аппаратуру, которая через подсистему передачи данных передает эту информацию, а также свой идентификационный код в подсистему управления и обработки данных. [1]

Прямое определение местоположения может реализовываться с использованием технологии RFID – способа автоматической идентификации объектов, который посредством радиосигналов позволяет считывать или записывать данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках.

При прохождении ПС рядом с RFID-меткой происходит короткий сеанс связи, выявляющий текущее положение поезда на линии, его скорость и направление движения. [2]

2) *Косвенный метод* является одним из простейших, и он основан на принципе, по которому можно подсчитать положение подвижного состава, движущегося в двухразмерном пространстве, если известно его исходное положение. Этот метод заключается в суммировании приращений траектории и углов направления относительно исходной точки, т. е. определяется положение относительно опорной точки.

Опорной точкой может служить любая из станций, находящихся на маршруте следования ПС. Исходя из известных направлений и изгибов железнодорожного полотна, можно рассчитать координаты ПС в любой момент времени. [1]

Также возможна радиопеленгация источника излучения (которым может являться ПС) из двух или более точек, расположенных на известной базовой линии, с последующим вычислением его местоположения методом триангуляции. Для получения удовлетворительной точности требуется, чтобы определяемые направления достаточно отличались друг от друга. Этого добиваются выбором точек, с которых осуществляется радиопеленгация.

Косвенный метод определения местоположения может включать в себя использование одометров. Одометр – прибор для измерения количества оборотов колеса транспортного средства, который преобразует пройденный путь в показания на индикаторе. При помощи него может быть измерен пройденный транспортным средством путь, и, как следствие, возможен расчёт текущего местоположения ПС.

3) *Спутниковая система* – комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты), а также параметров движения (скорости и направления движения) для наземных, водных и воздушных объектов. Основными элементами спутниковой системы являются:

- орбитальная группировка, состоящая из нескольких (от 2 до 30) спутников, излучающих специальные радиосигналы;
- наземная система управления и контроля, включающая блоки измерения текущего положения спутников и передачи на них полученной информации для корректировки информации об орбитах;
- приёмное клиентское оборудование, используемое для определения координат;
- информационная радиосистема для передачи пользователям поправок, позволяющих значительно повысить точность определения координат.

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Таблица положений всех спутников называется альманахом, которым должен располагать любой спутниковый приёмник до начала измерений. Каждый спутник передает в своём сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений можно вычислить положение объекта в пространстве. Метод измерения расстояния от спутника до антенны приёмника основан на определённости скорости распространения радиоволн. Для осуществления возможности измерения времени распространения радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени, в составе своего сигнала используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приёмника его часы синхронизируются с системным временем и при дальнейшем приёме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приёма сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приёмник вычисляет координаты антенны. [3]

4) *Наземные системы* определения местоположения позволяют находить координаты абонента с точностью до нескольких десятков метров и являются альтернативой системам глобального спутникового позиционирования, но лишь на территории обслуживания сотовых сетей.

Сотовая подвижная радиосвязь базируются на разделении зоны обслуживания на шестиугольные ячейки (соты). Такая структура сети позволяет минимизировать проблему нехватки радиочастотных каналов за счет многократного использования выделенных частот на основе пространственного разнесения.

В каждой соте располагается базовая станция, которая представляет собой сооружение, оборудованное приёмопередающей аппаратурой и антенными системами, расположенными на мачте. Каждая мобильная станция так же представляет собой сложный комплекс устройств, используемых подвижным абонентом. Каждая базовая станция может обслуживать только те мобильные станции, которые в данный момент находятся в подконтрольной соте. Размеры соты зависят от выбранного стандарта и поверхностной плотности абонентов. [4]

III. АНАЛИЗ ДОСТОИНСТВ И НЕДОСТАТКОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

1) *Системы прямого определения местоположения* характеризуются фиксацией ПС только в местах их непосредственной установки. Такими системами являются сеть контрольных пунктов (методы прямого и инверсного приближения) и технология RFID-меток. Они обладают определёнными особенностями, которые могут одновременно выступать и плюсами, и минусами.

Основным недостатком является высокая стоимость создаваемой инфраструктуры. Для организации надёжной системы отслеживания ПС требуется установить огромное количество радиомаяков (RFID-меток), создать сеть контрольных пунктов, принимающих и обрабатывающих информацию от каждого маяка. В случае, если используются оптические методы считывания (видеокамеры), требуется сложная аппаратура обработки и соответствующее ПО на КП, что также требует вложения больших средств при построении систем, охватывающих большие территории.

Положительными аспектами являются:

- развитие инфраструктуры на обустраиваемых участках;
- использование и внедрение RFID-технологии как перспективной с точки зрения развития интеллектуальной системы контроля и управления (IoT – Интернета вещей);
- возможность обеспечить отслеживание местоположения ПС в труднодоступных зонах (тоннели, гористая местность), в которых невозможна или затруднена спутниковая и сотовая связь;
- возможно снижение расходов на оборудование при использовании инверсных методов приближения (в таком случае требуется лишь один радиомаяк на каждый ПС, связывающийся с ридером на каждом КП).

2) *Косвенное определение местоположения* ПС характеризуется расчётными методами и не требует привнесения в инфраструктуру значимых изменений. Таким образом, не требуется закупки большого количества оборудования, и возможно ограничиться установкой на каждый ПС одного радиомаяка, сигнал от

которого будет фиксироваться двумя (или более) пеленгаторами. В качестве пеленгаторов можно использовать уже имеющиеся вдоль маршрута следования антенны. Зная только исходные координаты антенн и пеленги, можно рассчитать координаты ПС.

Главный недостаток этого метода – невысокая точность определения местоположения. Причиной этого является суммирование погрешностей при каждом измерении и при расчётах.

Если использовать метод суммирования приращений траектории и углов направления относительно опорной точки, то весь процесс определения местоположения ПС сводится только к расчёту координат, на которых он должен находиться в определённый момент времени. Однако при этом невозможно оценить реальную картину движения – ПС может задерживаться или, наоборот, идти с опережением графика; возможны и непредвиденные обстоятельства (аварии), при которых рассчитанные координаты вообще не будут соответствовать настоящему местонахождению состава.

Если говорить об одометрах, то наиболее точными и надёжными системами считаются электронные, но даже в них допускается погрешность измерения в 5%. Причины искажения показаний одометра могут быть разными. Примером может служить пробуксовка колёсной пары или люфт. Кроме того, все датчики обладают некоторой систематической ошибкой, появляющейся из-за небольшой разницы в смещениях колёс на изгибах пути и многих подобных сопутствующих факторов.

3) *Спутниковые системы* являются самой обширной системой навигации, имеющейся на сегодняшний день. Конструирование спутников и их доставка на орбиту – сложный и дорогостоящий процесс, однако в наше время уже имеются полностью функционирующие системы, такие как GPS и ГЛОНАСС. Их использование также связано с рядом сложностей, среди которых можно назвать:

- неоднородность атмосферы, из-за которой скорость и направление распространения радиоволн может меняться в определенных пределах;
- отражение сигналов от наземных объектов, что особенно заметно в городе;
- невозможность размещения на спутниках передатчиков большой мощности, из-за чего приём их сигналов возможен только в прямой видимости на открытом воздухе.

Одним из **главных достоинств** спутниковых систем является отслеживание неограниченного числа обслуживаемых подвижных объектов, на которых может быть установлена приёмоизмерительная аппаратура разных классов точности и оперативности. Они независимы от времени суток, сезонов года и погодных условий, а также обладают высокой помехоустойчивостью. Дальность действия спутниковых систем навигации не ограничена в приземном слое пространства. [3]

Системы спутниковой навигации используют высоко расположенные спутники, которые размещаются таким образом, чтобы из любой точки n на Земле можно было провести линию, по крайней мере, к четырем спутникам. За счёт этого обеспечивается высокая точность определения координат подвижных объектов и

реализуется возможность определения их скорости и направления движения в реальном времени. Становится возможной привязка подвижных объектов к карте и вычисление пройденного ими пути. На основе этой информации приёмник спутниковых сигналов может с неплохой точностью рассчитывать свои координаты при отсутствии сигналов от спутников (например, в туннелях, на подземных стоянках и в плотной городской застройке).

4) Как говорилось ранее, *сотовые системы определения местоположения* являются альтернативой спутниковым системам, но могут работать лишь на определённой территории (территории обслуживания сотовых сетей).

Существует **ряд недостатков** при использовании таких систем на железнодорожном транспорте. Они связаны с переменной скоростью движения поездов, неидеальностью ландшафта, наличием преград в виде опор контактной сети, тоннелей и мостов. Радиосигнал, поступающий на приёмную антенну подвижной станции, является совокупностью многих сигналов, обладающих разными амплитудами и фазами, что является результатом отражения от разных близких преград, часто встречающихся в условиях железнодорожного транспорта. Возникающий эффект наложения может вызывать негативные последствия от взаимного гашения до резонанса. При значительных скоростях движения возможна кратковременная потеря связи. [5]

Также не стоит забывать, что для обеспечения допустимого уровня безопасности на транспорте и бесперебойности связи, в системах сотовой связи необходимо резервирование, и, в зависимости от стандартов, площади перекрытия соты соседними сотами могут несколько отличаться.

Кроме того, строительство базовых станций вдоль рассматриваемого участка железнодорожного полотна может быть весьма затруднительным. Например, в случае, если трасса проходит по гористой местности, в туннелях или в зонах крайнего севера, подобные конструкции неоправданно затратны и имеют малую эффективность (отрицательные влияния на уровень полезного сигнала в точке приёма могут вносить погодные условия и резко изменяющийся ландшафт).

Однако, если рассматривать хорошо исследованную местность или, тем более, городские условия, в которых может проходить ПС, можно сказать, что у сотовых систем есть бесспорное преимущество – почти на всём протяжении таких участков сотовая связь функционирует без сбоев и задержек. Таким образом, инфраструктура сотовых сетей уже налажена, и ПС возможно отслеживать с достаточно высокой точностью – от метров до нескольких десятков метров.

IV. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМБИНИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЗА СЧЁТ ЭТОГО

На основе имеющихся данных о способах определения местоположения ПС можно сделать вывод, что идеальной системы на сегодняшний день не существует. Однако можно добиться высоких результатов в точности и скорости определения местоположения, если разумно комбинировать и дополнять вышеописанные способы в зависимости от меняющихся территориальных условий. В таблице сведены данные о применимости той или иной системы в

зависимости от ситуаций и условий, в которых может оказываться подвижной состав на маршруте следования. В таблице разными цветами отмечены степени применимости разных систем в различных условиях.

ТАБЛИЦА 1

Ситуации/ условия	Система определения местоположения ПС					
	Прямые методы		Косвенные методы		Спутниковые системы	Сотовые системы
	RFID-метки	Видеокамеры	Радиопеленгация	Одометры		
Высокие широты	++	+-	+-	+	+	+-
Горная местность	++	+-	+-	+	+-	-
Городские районы	-	+	-	+	+	+
Тоннели	+	+	-	+	-	-
Равнинная местность	+-	++	++	+	+	+-

Анализируя таблицу, можно сказать, что самой универсальной системой является применение одометров. Они не требуют для своей работы инфраструктуры и привязаны исключительно к ПС. Единственным недочётом, присущим одометрам, является некоторой систематической ошибкой колёсных датчиков, появляющейся из-за небольшой разницы в смещениях колёс на изгибах пути, небольших люфтов осей и подобных сопутствующих факторов.

Этот недостаток можно устранить при помощи системы RFID-меток. RFID-метки позволяют привязать перемещающийся подвижной состав к координатам пути, что можно использовать для автоматической калибровки меры колёсных датчиков на специальном калибровочном участке. Такой участок имеет определённую длину и ограничивается радиочастотными метками, хранящими точную информацию о местах их установки. При пересечении составом первой из меток датчик обнуляет свои показания и отсчитывает пройденное расстояние до второй метки, после чего результат сравнивается с её координатой. В случае несовпадения происходит калибровка датчика.

RFID-метки также могут давать хороший результат в сочетании со спутниковыми и сотовыми системами. Например, в условиях, когда состав следует по тоннелю, спутниковая и сотовая связь крайне затруднена. Если тоннель имеет небольшую протяжённость (до 300 м), то возможно обойтись без RFID-меток. Однако если длина тоннеля выше 300 м, и тем более, если он проложен под водой (например, как Амурский тоннель Транссибирской магистрали), существует угроза полной потери связи с ПС, и RFID-навигация незаменима. В совокупности можно также применять систему видеокамер, позволяющих наблюдать фактическую картину.

В горной местности связь с ПС подвержена риску, так как базовые станции сотовых сетей невыгодно строить в таких сложных условиях, а уже существующие БС могут не обеспечивать удовлетворительного покрытия всего железнодорожного полотна. В этом случае целесообразно использование спутниковых систем с дублированием их показаний системой RFID-меток, которые помогут отслеживать составы при потере спутникового сигнала. Такая же ситуация наблюдается и в районах крайнего севера, где погодные условия затрудняют использование видеокамер и сотовых систем связи.

На равнинной местности оптимальным решением является комбинирование всех перечисленных видов определения местоположения. Например, в ситуации, когда состав выходит за пределы покрытия базовых станций, за его отслеживание отвечает спутниковая система навигации; при этом видеокамеры на перегоне фиксируют перемещение ПС и передают их на ближайшие контрольные пункты. RFID-метки могут быть размещены в качестве дублирующей системы на сложных участках пути (рядом с экранирующими объектами или при наличии препятствий для прохождения сигналов).

В районах городской застройки, как правило, проблем с приёмом сигнала не возникает, поэтому необходимости в использовании системы радиометок нет. Оптимальным вариантом в этом случае является совместное использование сотовых и спутниковых систем (инфраструктура уже имеется), а также видеокамер наблюдения, которые на сегодняшний день также установлены во многих населённых пунктах.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование совокупности рассмотренных систем определения местоположения подвижного состава и их разумное комбинирование в зависимости от условий, в которых может оказаться ПС, приводит к оптимизации перевозочного процесса. Это выражается в повышении безопасности движения и развитии инфраструктуры вокруг участков следования поездов.

Точная информация о местоположении ПС, его скорости и направлении движения может позволить увеличить пропускную способность перегонов. Это объясняется тем, что при наличии этих данных в режиме реального времени намного легче координировать движение составов на перегонах и железнодорожных узлах, организовывать маневровую работу на станциях, принимать и отправлять поезда. Как следствие, увеличится пассажиропоток и грузооборот, что приведёт к росту прибыли железнодорожной отрасли.

Также становится возможным быстрее реагировать на чрезвычайные ситуации и предотвращать опасные события, в том числе связанные с человеческим фактором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Способы определения местоположения транспортных средств [электронный ресурс]//HELPIKS.ORG – режим доступа: <https://helpiks.org/5-14167.html> (01.03.2022).
- [2] Костроминов А.М. О точности RFID-привязки поездов метрополитена к координатам пути [Текст] / А.М. Костроминов, О.Н. Тюлядин // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы Сборник трудов LXXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург: ПГУПС, 2018. С. 98–100.
- [3] Смоглюк С.Ю. Расчёт и отображение координат спутников ГЛОНАСС/GPS на 2D карте в реальном времени по TLE файлу. Бакалаврская работа. 2016. URL: http://elibr.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/29085/smoglyuk_bak_rabota.pdf?sequence=2 (дата обращения: 02.03.2022)
- [4] Горелов Г.В., Богачев А.П., Бахтиярова Е.А. Типы и стандарты систем связи с подвижными объектами, применяемыми на железнодорожном транспорте: Учебное пособие. М.: МИИТ, 2014.
- [5] Горелов Г.В., Роевков Д.Н., Юркин Ю.В. Системы связи с подвижными объектами. Учебное пособие. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. 335 с. URL: http://library.mii.ru/2014books/knigi/14/Gorelov_vse.pdf (дата обращения: 02.03.2022).