

# СИСТЕМА ВЫСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Саранцева Мария Сергеевна  
 учащаяся группы УД-301  
 Брестского колледжа-филиала учреждения об-  
 разования «Белорусский государственный  
 университет транспорта»  
 руководитель Таратенкова Ирина Николаевна

Развитие беспилотных технологий на железной дороге началось доста-точно давно, уже в 1957 году, когда был создан первый экспериментальный комплекс автоведения для пригородных поездов. Для понимания разницы между уровнями автоматизации для железнодорожного транспорта введена града-ция, определенная в стандарте МЭК-62290-1. В отличие от автомобильного транспорта железнодорожный имеет 4 степени автоматизации, показанные на рисунке 1.

Степень автоматизации	Тип управления поездом	Управление поездом при движении	Остановка поезда	Закрытие дверей	Управление при внешних ситуациях
 1	Ведение машинистом	Машинист	Машинист	Машинист	Машинист
 2	Ведение машинистом с функцией автоведения	Автоматическое	Автоматическая	Машинист	Машинист
 3	Автоведение без машиниста	Автоматическое	Автоматическая	Проводник	Проводник
 4	Полностью беспилотное	Автоматическое	Автоматическая	Автоматическое	Автоматическое

Рисунок 1. Степени автоматизации в соответствии с МЭК-62290

Практически все поезда, эксплуатирующие на сети ОАО «РЖД» оснаще-ны устройством безопасности, соответствующему уровню автоматизации 1. Поезда с уровнем автоматизации 2 уже более 20 лет успешно эксплуатируются

на сети российских железных дорог, оснащено несколько тысяч локомотивов. Данный уровень реализуется за счет алгоритмов управления тягой и торможения энергооптимального ведения поезда по заданному маршруту с учетом расписания и показаний систем автоматической локомотивной сигнализации, принимаемых по индуктивному каналу с рельсовых цепей. Применение 2 уровня понижает утомляемость машиниста и дает выигрыш по энергопотреблению и точности исполнения графика движения.

Уровень 3 предполагает возможное отсутствие машиниста в кабине, что требует внедрения системы технического зрения.

Уровень 4 предполагает полное отсутствие машиниста на борту, что требует существенного изменения конструкции локомотива (электropоезда). Например, на борту установлены автоматические выключатели, которые будет невозможно взвести снова при их срабатывании без присутствия человека на борту.

В настоящий момент проекты по достижению уровней 3 и 4 реализуют ведущие компании мира, такие как Siemens, Alstom, Thales, SNCF, SBB и другие.[3]

К системе позиционирования беспилотного подвижного железнодорожного транспорта (ПЖТ) предъявляются достаточно высокие требования. Это, в первую очередь, точность и локальная доступность решения навигационной задачи, т.е. определение кинематического вектора состояния (ВС), включающего информацию о местоположении, ориентации ПЖТ и их производных в выбранной системе координат. Требования по точности обусловлены необходимостью остановки на платформах, а также определения препятствий при условии полного покрытия пути снегом. Так, приближенные аналитические оценки требований показывают, что погрешности позиционирования (среднеквадратического отклонения - СКО) не должны превышать 0,15 м, скорости - 0,03 м/с, а ориентации - 0,1 град. При этом достоверное определение вектора (доступность) должно осуществляться во всех точка возможного пути следования и не зависеть от окружающих условий.

При разработке системы позиционирования, удовлетворяющей указанным требованиям, необходимо учитывать ряд ограничений, связанных с датчиковым (сенсорным) навигационным оборудованием (ДНО), их современными техническими характеристиками, возможностью размещения, стоимостью, особенностями функционирования. При этом в большей части состав ДНО, применяемый для решения задачи определения точного вектора состояния ПЖТ, является традиционным - это навигационная аппаратура потребителей (НАП) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), датчик пути и скорости (ДНС), инерциальные навигационные системы (ИНС), генератор САУТ и генераторы рельсовых цепей. Необходимо отметить появление относительно новых источников информации о ВС – визуальных, лидарных, радиолокационных одометров, принцип функционирования которых основан на алгоритмах SLAM (simultaneous localization and mapping), а также высокоточных карт (геопространственных данных о путевом развитии и путевой инфраструктуре).

[1]

Создание беспилотного локомотива – комплексный сложный процесс, невозможный без кооперации с другими компаниями. Поэтому на станции Лужской совместно с АО «НИИАС» участвуют такие компании как:

- ❖ АО «ВНИКТИ» в части разработки бортовой системы управления;
- ❖ Siemens – в части автоматизации работы сортировочной горки (система MSR-32) и автоматизации выполнения операции надвига вагонов;
- ❖ АО «Радиоавионика» в части систем микропроцессорной централизации, управляющей стрелками, светофорами;
- ❖ ПКБ ЦТ – создание симулятора;
- ❖ ОАО «РЖД» в роли координатора проекта.

На первом этапе стояла задача достижения уровня 2 автоматизации движения, когда машинист при штатных условиях организации маневровой работы не использует органы управления локомотивом.

При эксплуатации обычных маневровых локомотивов управление движением осуществляется посредством передачи голосовых команд от диспетчера к

машинисту с заданием соответствующих маршрутов (переводом стрелок, включением сигналов светофоров).

При переходе к уровню 2 автоматизации все голосовое общение было заменено на систему команд, передающихся по цифровому защищенному радиоканалу. Технически управление маневровыми локомотивами на станции Лужской было построено на базе:

- единой цифровой модели станции;
- протокола управления движением маневровых локомотивов (для отправки команд и контроля выполнения);
- взаимодействия с системой электрической централизацией для получения информации о заданных маршрутах, положении стрелок и сигналов;
- системы позиционирования маневровых локомотивов;
- надежной цифровой радиосвязи.

Основным элементом беспилотных подвижных средств является система технического зрения, основанная на визуальных, лидарных и радиолокационных данных. Поэтому при наличии вычислительного ресурса возможна реализация БиМ-алгоритмов для определения параметров движения - изменения положения и ориентации. Соответственно, одометрия, основанная на обработке последовательности данных таких сенсоров, схожа с инерциальными системами по составу выходных данных и накапливающейся погрешности, связанной с принципом функционирования. [2]

Основными достоинствами одометрии рассматриваемых типов является высокая точность измерений параметров ориентации и положения (малая величина случайной погрешности), что делает ее весьма привлекательной для использования как альтернативу БИНС. Однако имеются и существенные недостатки, которые во многом связаны с работой в открытом пространстве. Это значительная подверженность влиянию внешних факторов на работоспособность алгоритмов для визуальной одометрии видимого диапазона, например, темное время суток, метеорологические условия, ухудшающие возможность наблюдения окружающей обстановки, частичный или полный изобращения, наличие

перемещающихся параллельно составов. Для лидарной одометрии – малое число точек (низкая пространственная плотность точек) в кадре (скане), что требует увеличения времени накопления (длительности скана) и соответствующей компенсации собственного движения. Для радарной одометрии – большое число случайных переотражений от подстилающей поверхности и окружающих предметов. Кроме того, для визуальной одометрии – это сложность вычисления реальных пространственных перемещений по моноизображениям, что обуславливает необходимость обработки стереоизображений. [1]



Рисунок 2. Пример обнаружения колеи

Дополнительно на станции Лужской проводились исследования по использованию технологий SLAM (лидарных и визуальных) для получения дополнительных данных о местоположении. В итоге определение железнодорожной колеи для маневровых локомотивов на станции Лужской осуществляется путем комплексирования результатов по распознаванию колеи и данных цифровой модели пути на основе позиционирования.

Обнаружение препятствий также осуществляется несколькими способами на основе:

- лидарных данных;
- данных стереозрения;
- работы нейронных сетей.

Одним из основного источника данных являются лидары, выдающие облако точек от лазерного сканирования. В алгоритмах, находящихся в эксплуатации, преимущественно используются классические алгоритмы кластеризации данных. В рамках исследований проверяется эффективность применения нейронных сетей для задачи кластеризации лидарных точек, а также для совместной обработки лидарных данных и данных с видеокамер. На рисунке 8 показан пример лидарных данных (облако точек с разной рефлексивностью) с отображением манекена человека на фоне вагона на станции Лужской.[3]

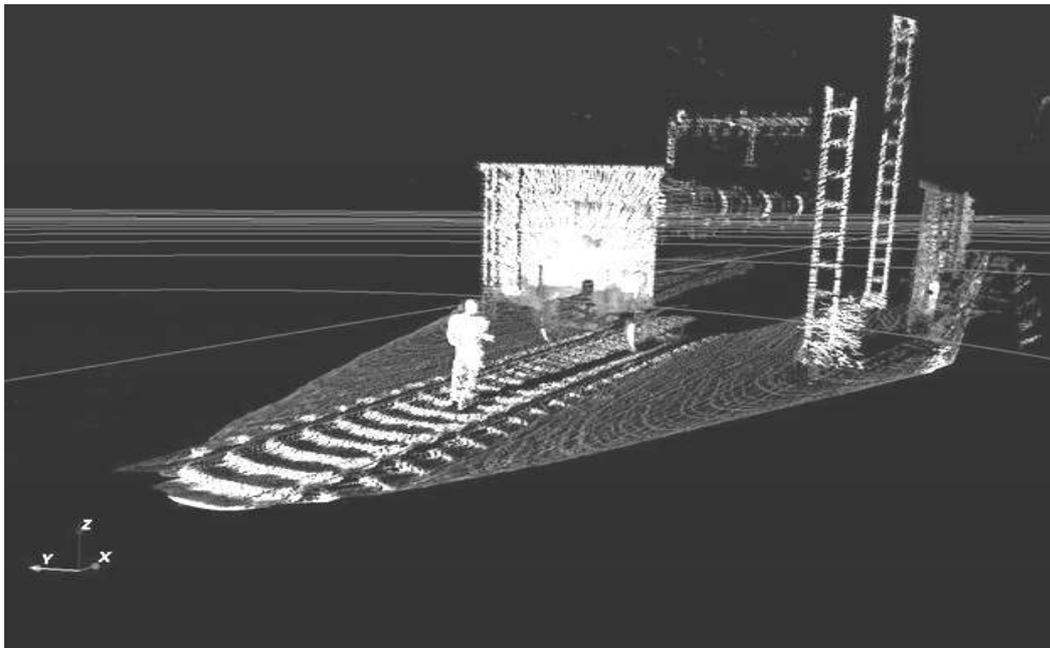


Рисунок 3. Пример данных с лидара на станции Лужской

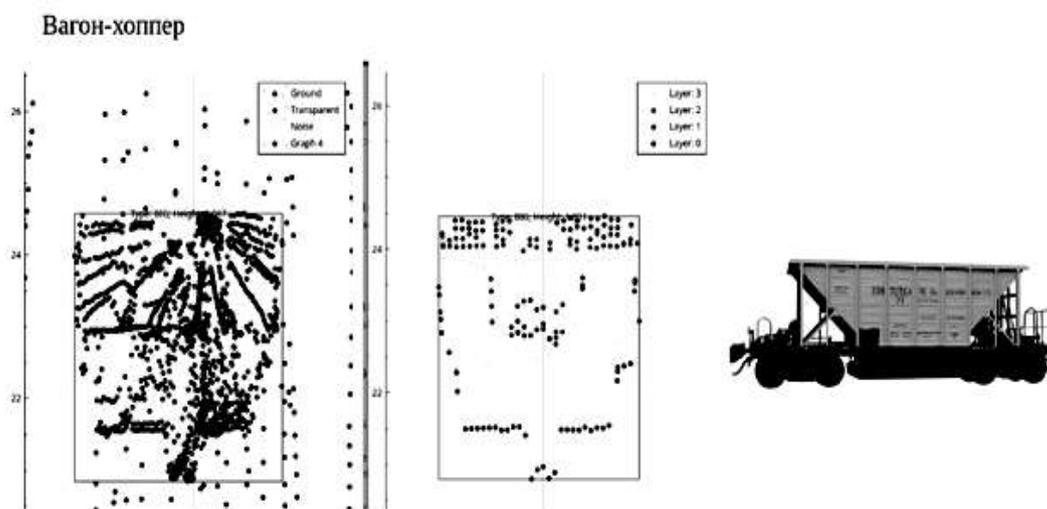


Рисунок 4. Пример интерпретации лидарных данных в виде кластера от вагона-хоппера

## Колесные датчики пути и скорости

Источником данных пути и скорости (колесной одометрии) может выступать как непосредствен датчик угла поворота, так и реализуемые на его основе скоростемеры. Достоинством этих устройств является автономность и помехоустойчивость. Скоростемер выдает данные о линейной скорости, ускорении и пройденном пути. Из-за достаточно быстрого нарастания погрешности счисления пути его применение, как самостоятельного источника данных о векторе состояния для использования в системе высокоточного позиционирования беспилотного ПЖТ, невозможно. Кроме того, непосредственное использование данных от датчика угла поворота связано с необходимостью дополнительного контроля влияния на измерения юза и буксования, точного знания диаметра бандажа, а также учета прохождения в кривых. [1]

Неотъемлемым элементом современной системы высокоточного позиционирования является электронная карта (ЭК) путевого развития и объектов инфраструктуры. Это своего рода ЦМП требуются иметь значительно меньше данных, чем в более общем понимании этого термина.

Применение ЦМП в составе системы высокоточного позиционирования имеет несколько аспектов.

Во-первых, ЦМП является источником априорной информации о точном путевом развитии, которое описывается конечное множество траекторий движения ПЖТ и соответственно должна использоваться для получения результирующих оценок координат и ориентации ПЖТ по результатам наблюдения навигационных данных ДНО. Это обеспечивает повышение точности результатов оценивания и устойчивость по отношению к погрешностям и пропускам входных данных. Непосредственно использование априорной информации возможно на различных уровнях: комплексирования данных о направлении движения и ориентации оси пути в фильтре интегрированной системы; ограничения оценки координат ПЖТ в соответствии с координатами пути оси.

Во-вторых, ЦМП позволяет формировать информацию о номере пути, линейных координатах, прохождением по стрелкам, расстояний до светофоров, стрелок и платформ и др.

В-третьих, является источником координатной информации реперных объектов для решения задачи позиционирования рассмотренным ранее методом.

Основным требованием к составлению ЦМП является достаточно высокая точность определения координат точек пути и объектов инфраструктуры, которая должна быть значительно выше, чем требуемая точность системы позиционирования.[1]

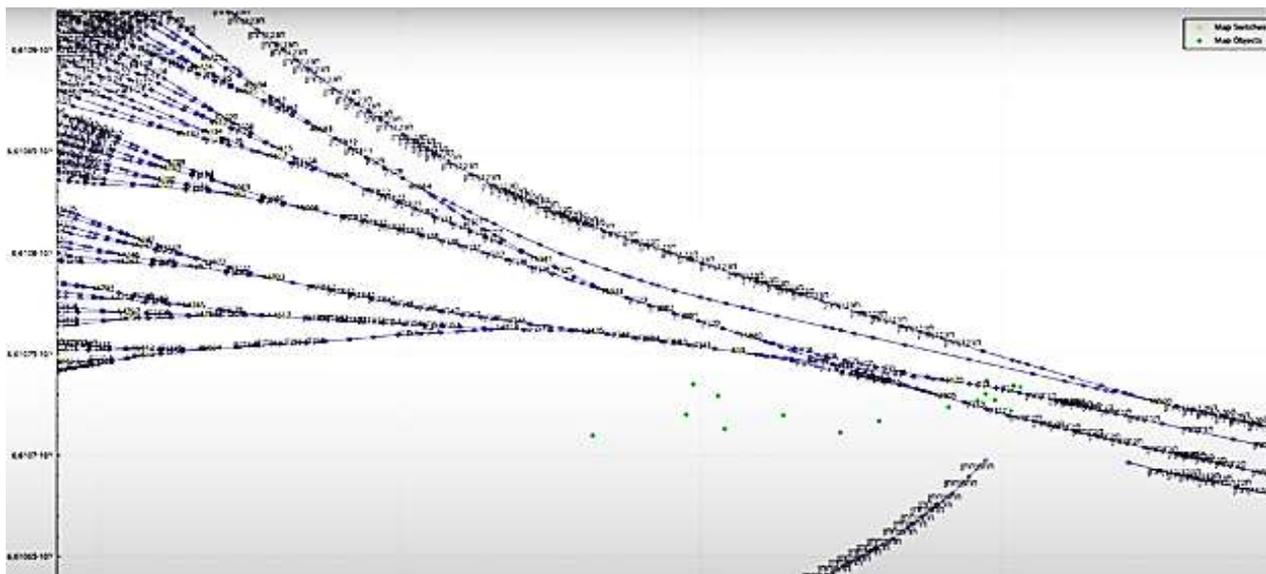


Рисунок 5 Цифровая модель путевого развития станции Лужской

Важнейшим вопросом при внедрении беспилотных локомотивов является вопрос функциональной безопасности, определяемой стандартами МЭК 61508 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью» (EN50126, EN50128, EN50129), ГОСТ 33435-2015 «Устройства управления, контроля и безопасности железнодорожного подвижного состава».

В соответствии с требованиями к бортовым устройствам безопасности необходимо обеспечить уровень полноты безопасности 4 (SIL4). Для соответствия уровню SIL-4 все существующие локомотивные устройства безопасности построены по мажоритарной логике, где вычисления параллельно выполняются в двух каналах (или более) со сравнением результатов для принятия решения. Вычислительный блок обработки данных с сенсоров на беспилотных маневровых локомотивах также построен по двухканальной схеме со сравнением ито-



созданной системы управления как на российских железных дорогах, так и для иностранных компаний.

В настоящий момент ОАО «РЖД» также ведет проект по разработке беспилотных электропоездов «Ласточка». На рисунке 16 показана демонстрация прототипа системы автоматического управления электропоезда ЭС2Г «Ласточка» в августе 2019 года в рамках Международного железнодорожного салона пространства 1520 «PRO//Движение.Экспо».



Рисунок 7. Демонстрация работы беспилотного электропоезда на МЦК

Создание беспилотного электропоезда является гораздо более сложной задачей из-за больших скоростей движения, значительного тормозного пути, обеспечения безопасной посадки/высадки пассажиров на остановочных пунктах. В настоящий момент активно ведутся испытания на МЦК. [2]

#### Список использованной литературы:

1. Об утверждении и введении в действие Технологической инструкции по проведению инженерно-геодезических работ по созданию цифровых моделей пути и путевого развития железнодорожных станций: распоряжение ОАО «РЖД». [1]

2. <https://m.habr.com/ru/post/502202/> [2]

3. <https://integral-russia.ru/2020/05/18/bespilotnye-tehnologii-dlya-zheleznodorozhnogo-transporta-chast-1/> [3]