

## БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ, ОПЫТ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

### *Аннотация*

*Беспилотные системы управления транспортом (БСУТ) представляют собой инновационные технологии, которые находят все более широкое применение в различных видах транспорта. В данной статье рассматриваются перспективы внедрения БСУТ в железнодорожный транспорт, в том числе безусловно повышение безопасности, эффективности и экономичности перевозок. Проанализированы примеры успешного внедрения систем AutoHaul™ в Австралии, Urbalis 400 CBTC в Сиднейском метрополитене, а также разнообразных автоматизированных систем управления в Лимском и Копенгагенском метрополитенах. Внедрение этих систем позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты, повысить комфорт и безопасность пассажиров, а также улучшить координацию движения поездов.*

**Ключевые слова:** беспилотные системы управления, железнодорожный транспорт, автоматизация, безопасность, эффективность, AutoHaul™, Urbalis 400 CBTC, Лимский метрополитен, Копенгагенский метрополитен.

### *Abstract*

*Autonomous Transportation Control Systems (ATCS) represent innovative technologies that are increasingly being applied in various types of transport. This article explores the prospects for implementing ATCS in railway transport, including improvements in safety, efficiency, and cost-effectiveness. Examples of*

*successful implementation are analyzed, such as the AutoHaul™ system in Australia, Urbalis 400 CBTC in the Sydney Metro, and automated control systems in the Lima and Copenhagen Metros. The introduction of these systems significantly reduces operational costs, enhances passenger comfort and safety, and improves train movement coordination.*

**Keywords:** *autonomous control systems, railway transport, automation, safety, efficiency, AutoHaul™, Urbalis 400 CBTC, Lima Metro, Copenhagen Metro.*

Беспилотные системы управления транспортом (БСУТ) по своей сути представляют собой инновационные технологии, которые находят все более широкое применение в различных видах транспорта, отметим же, что их наиболее перспективных направлений внедрения БСУТ является железнодорожный транспорт, который традиционно играет ключевую роль в обеспечении грузо- и пассажирских перевозок на больших расстояниях. Автоматизация и роботизация процессов управления железнодорожным транспортом способствуют повышению безопасности, эффективности и экономичности железнодорожных перевозок.

По своей сути введение беспилотных систем в железнодорожный транспорт обусловлено несколькими ключевыми факторами. Для начала отметим что это конечно же необходимость повышения уровня безопасности движения. Автоматические системы управления снижают влияние человеческого фактора, уменьшают вероятность ошибок и аварийных ситуаций.

Основные исчисления производимые при работе систем автоведения поездов следующие:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(t) dt + K_d * \left( \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Где,

1.  $u(t)$  — управляющий сигнал,

2.  $e(t)$  — ошибка (разница между заданным значением и текущим состоянием),
3.  $K_p$  — коэффициент пропорциональной составляющей,
4.  $K_i$  — коэффициент интегральной составляющей,
5.  $K_d$  — коэффициент дифференциальной составляющей.

$$\min \sum (c_i * x_i) \text{ (для } i \text{ от } 1 \text{ до } n)$$

$$\text{при условиях: } \sum (a_{ij} * x_j) \leq b_i \text{ (для } j \text{ от } 1 \text{ до } m), x_j \geq 0$$

где,

1.  $x_i$  — переменные, представляющие маршрут или время на участке,
2.  $c_i$  — коэффициенты затрат (например, время или энергия),
3.  $a_{ij}$  — коэффициенты ограничений (например, ограничения на время),
4.  $b_i$  — правые части ограничений.

$$R = (V^2) / (g * (e + (V^2 / (g * r))))$$

Где,

1.  $R$  — радиус кривизны,
2.  $V$  — скорость поезда,
3.  $g$  — ускорение свободного падения,
4.  $e$  — возвышение наружного рельса,
5.  $r$  — радиус кривизны пути без возвышения.

Автоматизация процессов позволяет по сути своей увеличить пропускную способность железнодорожной инфраструктуры за счет оптимизации расписаний и улучшения координации движения поездов. Внедрение беспилотных технологий способствует снижению эксплуатационных затрат, поскольку уменьшает потребность в обслуживающем персонале и позволяет более эффективно использовать ресурсы.

AutoHaul™ — это инновационная система беспилотного управления грузовыми поездами, разработанная для компании Rio Tinto и работающая в регионе Пилбара, Австралия и конечно же данная система управляет самыми тяжелыми в мире поездами, перевозящими железную руду между шахтами и

портами. Длина каждого поезда на самом деле может достигать 2 км [1]. Система использует комплекс технологий, среди которых конечно же искусственный интеллект, камеры и алгоритмы машинного обучения, данные технологии позволяют поездам "видеть" объекты на пути, распознавать и реагировать на препятствия, такие как дикие животные или транспортные средства на переездах, а также в некотором смысле корректировать скорость в зависимости от рельефа местности. Управление осуществляется дистанционно из операционного центра в Перте.

Операторы все же могут вмешиваться в случае необходимости, однако в большинстве случаев система работает автономно, принимая решения в реальном времени на основе данных, поступающих от множества датчиков и камер, установленных на поездах [2]. Система оснащена многоуровневыми средствами безопасности, и тут конечно надо упомянуть автоматическую остановку в случае обнаружения препятствий и постоянный мониторинг технического состояния поездов, что безусловно довольно таки значительно снижает вероятность аварий и повышает общую надежность перевозок. Сиднейский метрополитен — это один из самых современных и высокоавтоматизированных метрополитенов в мире. Здесь используются поезда Metropolis компании Alstom, оснащенные системой Urbalis 400 CBTC (Communication-Based Train Control), которая как раз таки обеспечивает полную автоматизацию движения поездов [3].

CBTC позволяет поездам как бы общаться с центральной системой управления в реальном времени, что позволяет точно координировать движение, минимизировать интервалы между поездами и оптимизировать использование энергии. Внедрение Urbalis 400 CBTC позволило снизить потребление энергии на 45% и увеличить пассажироместимость на 30%. Система обеспечивает более плавное и точное торможение и ускорение, что как раз таки также улучшает комфорт пассажиров и снижает износ оборудования. Поезда оснащены системами видеонаблюдения, кондиционирования и современными информационными дисплеями для

пассажиров [4]. Система автоматически контролирует двери и гарантирует безопасность пассажиров на платформах и в вагонах. Внедрение систем AutoHaul™ и Urbalis 400 CBTC демонстрирует значительный прогресс в области автоматизации железнодорожного транспорта, данные системы не только повышают эффективность и безопасность перевозок, но и снижают эксплуатационные затраты, предоставляя при этом высокий уровень комфорта для пассажиров и надежность для операторов железнодорожных сетей [5].

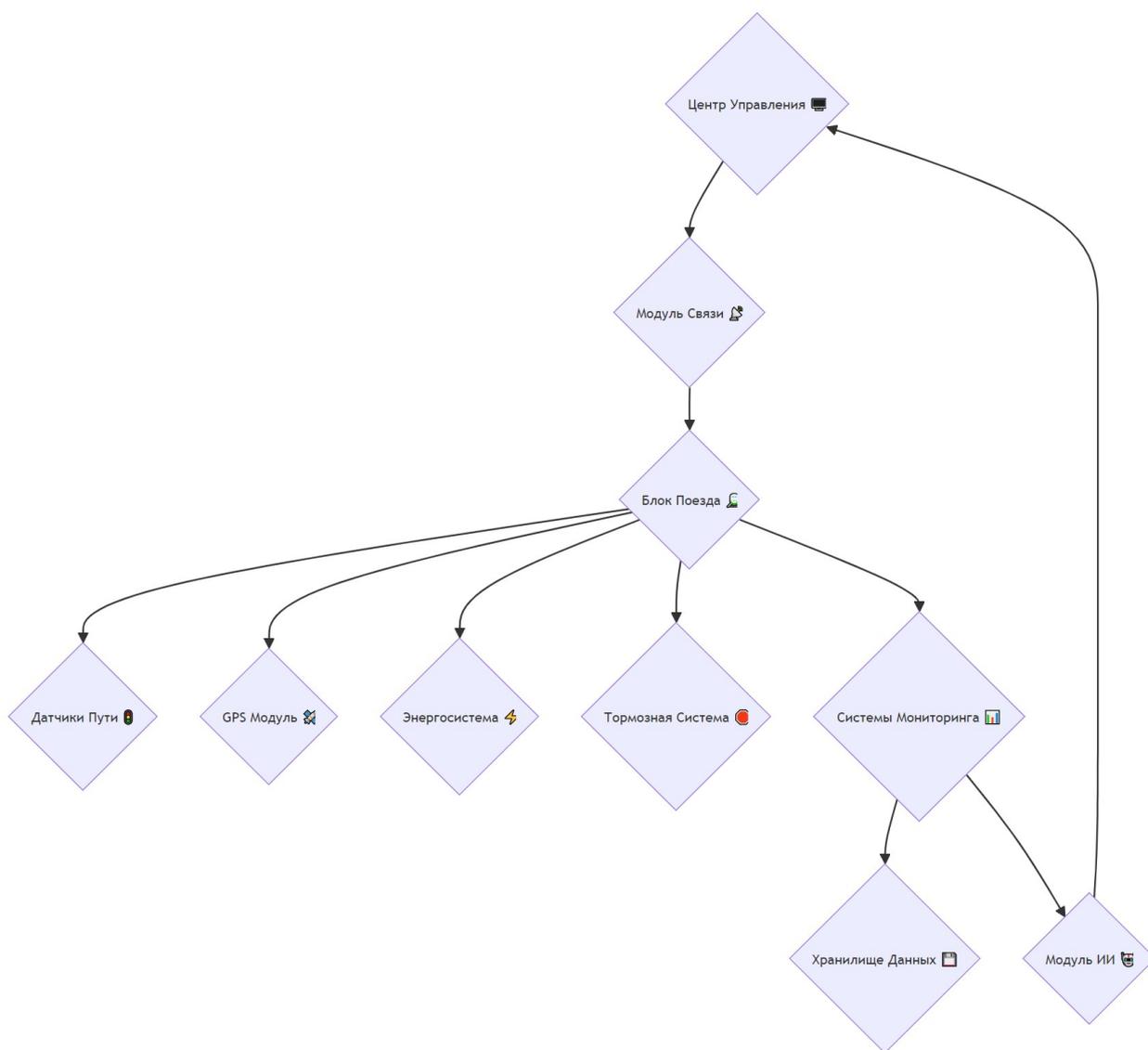


Рисунок 1. Принцип работы систем автоведения

Лимский метрополитен в Перу является одним из самых современных и технологически продвинутых в Латинской Америке. Построенный

компанией Hitachi Rail, он безусловно подразумевает беспилотные поезда, рассчитанные на 166 сидячих и 1105 стоячих пассажиров, отметим же что данные поезда обеспечивают высокий уровень комфорта и безопасности для пассажиров благодаря оснащению системами видеонаблюдения, кондиционирования и современными информационными системами, которые предоставляют информацию о маршруте и состоянии поезда в реальном времени. Поезда работают на линии протяженностью 35 км, на каждом километре по станции, то есть в общей сложности 35 станций. Для движения используется контактная сеть с напряжением 1500 В, что по сути обеспечивает стабильное электроснабжение и высокую скорость передвижения. Внутри поезда предусмотрены широкие проходы и открытые переходы между вагонами, что способствует равномерному распределению пассажиров и повышает комфорт при передвижении по составу. К слову что не менее важно - эргономично расположенные сиденья и большие окна создают светлую и приятную атмосферу для пассажиров (Hitachi Rail - Home).

Копенгагенский метрополитен в Дании также является примером успешного внедрения беспилотных технологий в городской транспорт. С 2002 года здесь функционируют беспилотные поезда, изготовленные компанией Hitachi Rail. На линиях M1 и M2 эксплуатируются 34 поезда, каждый из которых может перевозить 48 сидячих и 232 стоячих пассажира. Поезда оснащены современными системами безопасности и контроля движения, что позволяет обеспечить высокий уровень надежности и безопасности.

Система управления поездами в Копенгагенском метрополитене подразумевает в том числе автоматическое управление движением, которое позволяет поездам точно следовать расписанию, минимизировать интервалы между поездами и обеспечивать плавное торможение и ускорение. Внутреннее пространство поездов спроектировано таким образом, чтобы максимизировать пассажировместимость и комфорт. Автоматизированные

двери и системы безопасности на платформах гарантируют безопасность пассажиров при посадке и высадке (Hitachi Rail - Home). Внедрение передовых систем существующих в Лиме и Копенгагене, демонстрирует значительный прогресс в области автоматизации городского транспорта, данные системы не только повышают эффективность и безопасность перевозок, но и обеспечивают высокий уровень комфорта для пассажиров, что делает их довольно таки важным элементом современной транспортной инфраструктуры.

Беспилотные системы управления транспортом (БСУТ) по сути также кроют в себе инновационные технологии, которые как раз таки находят все более широкое применение в различных видах транспорта, при том современным из перспективных направлений внедрения БСУТ является железнодорожный транспорт, который традиционно играет ключевую роль в обеспечении грузо- и пассажирских перевозок на больших расстояниях. Автоматизация и роботизация процессов управления железнодорожным транспортом способствуют повышению безопасности, эффективности и экономичности железнодорожных перевозок.

### Список литературы

1. Богданова, Е. И. "Разработка и исследование семантической модели данных для автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом". Диссертация кандидата технических наук, 2022. URL: [dissercat.com](https://dissercat.com)
2. Иванова, А. В. "Эволюция системы управления железнодорожным транспортом России в 1992-2004 гг.". Диссертация кандидата экономических наук, 2022. URL: [dissercat.com](https://dissercat.com)
3. Сидоров, И. П. "Программно-алгоритмическое обеспечение оценки качества информационного обмена в автоматизированных системах управления железнодорожным транспортом". Диссертация кандидата технических наук, 2022. URL: [dissercat.com](https://dissercat.com)

4. Смирнов, М. А. "Развитие системы прогнозирования спроса на грузовые перевозки железнодорожным транспортом". Диссертация кандидата экономических наук, 2022. URL: [dissercat.com](https://dissercat.com)
5. Федоров, А. С. "Технологии беспилотного управления для железнодорожного транспорта". Диссертация кандидата технических наук, 2022. URL: [ppt-online.org](https://ppt-online.org)