

# Advanced Train Control System. История, архитектура, функционал и мониторинг с использованием программно-определяемого радио

Д. Р. Богданов, Д. Н. Роенков

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*

danilja2@mail.ru, roenkov\_dmitry@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается усовершенствованная система управления поездом ATCS, ее история, характеристики, функции, архитектура и описания составных частей системы. Также приводится пример использования программно-определяемого радио (SDR) для установления соединения с данной системой и последующей обработки сигнала, оцениваются возможности мониторинга состояния элементов железнодорожной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** ATCS, железнодорожная радиосвязь, SDR, передача данных, мониторинг состояния железнодорожной инфраструктуры

## I. ВВЕДЕНИЕ

Самым ярким примером применения SDR за рубежом является усовершенствованная система управления поездом (от англ. Advanced Train Control System (ATCS)). Это североамериканский железнодорожный комплекс, предназначенный для обеспечения безопасности движения поездов на железной дороге путем мониторинга местоположения локомотивов и поездов, предоставления технического анализа состояния систем, автоматизации выдачи ордеров на путь (от англ. track warrant), обнаружения слепых зон на участках железной дороги.

Основная цель разработки ATCS заключается в создании экономичной, безопасной, модульной системы управления поездом с открытой архитектурой. Основное назначение системы – обеспечить совместимость систем на железных дорогах, что позволяет для каждой железной дороги выборочно и поэтапно реализовывать необходимые ей возможности и функции, используя компоненты от разных поставщиков. Полноценное внедрение ATCS на всей сети железных дорог не всегда целесообразно и осуществимо. Это позволяет локомотивам одной железной дороги связываться по радиосвязи с диспетчерскими центрами других дорог во время движения по их пути.

## II. ИСТОРИЯ ATCS

В первой Международной конференции, посвященной Advanced Train Control System, которая состоялась в 1991 году в Денвере [1], приняли участие компании из разных стран мира. Они продемонстрировали свои технологии, продукты и наработки. Burlington Northern (BN) совместно с Rockwell выпустили первую версию ATCS, известную

как ARES (Advanced Railroad Electronic System), в которой разработали систему спутниковой навигации для определения местоположения поездов на путях. Они протестировали ARES на железных дорогах BN в Северной Миннесоте с целью интеграции информационной системы поездов с центральными командами и функциями управления.

В период с 1987 по 1993 год Канадские национальные железные дороги (CN) и Канадская Тихоокеанская железная дорога (CP) добились значительных улучшений в разработке и тестировании систем ATCS. Ключевым компонентом для повышения безопасности и производительности движения поездов является технология SDR, обеспечивающая лучшую связь, более точную информацию о движении поезда, его местоположении, интерфейсах на путях и состоянии локомотива.

Одним из основных нововведений в управлении поездами является передача пакетных данных, которая помогает машинисту поезда и персоналу центра управления передавать информацию напрямую, по радио и бортовому компьютеру.

Компания Bombardier в Европе [2], Железнодорожная ассоциация Канады (RAC) и Американская ассоциация железных дорог (AAR) начали изучать жизнеспособность системы управления на основе радио, которая позволила бы избежать человеческих ошибок при управлении поездами. Эта разработка была профинансирована в равной степени заинтересованной группой исследователей и несколькими другими железнодорожными компаниями, поставщиками и консультантами из Европы, Канады и США. Основной целью проекта была разработка модульной компьютерной системы управления поездами, которая обеспечит безопасную и более квалифицированную эксплуатацию железных дорог. ATCS – это современная технология, которая обеспечивает безопасное движение поездов, разделение поездов, проверку поездов, безопасность и надежность всех разрешений на движение, выданных железнодорожному и обслуживающему персоналу, а также отслеживает состояние всего оборудования.

Основными целями системы ATCS являются обеспечение:

- Возможности внедрения системы с механизмами от разных поставщиков, что уменьшит

проблемы, связанные с соединением и сопряжением компонентов от разных производителей.

- Возможность для каждой железной дороги выбирать те возможности и характеристики, которые ей необходимы.
- Совместимость систем на всей железнодорожной сети обеспечивает безотказную работу и взаимодействие между отдельными участками железных дорог.

### III. Возможности ATCS

- управление занятостью путей посредством централизованной логики устройств СЦБ;
- выдача разрешений на движение поездам по линии передачи данных и голосовой связи;
- отслеживание местоположения поездов и занятости путей по линии передачи данных, а также посредством голосовых отчетов;
- контроль скорости поездов;
- мониторинг потребления топлива у тепловозов и газотурбовозов;
- мониторинг и управление придорожными системами (стрелки, светофоры и т. д.);
- мониторинг параметров поезда и их изменение в реальном времени.

### IV. АРХИТЕКТУРА ATCS

Архитектура ATCS состоит из пяти основных систем:

- 1) Центральная диспетчерская система (ЦДС): ЦДС управляет движением поездов по всей железнодорожной сети и обеспечивает безопасную работу без задержек поездов, а также обеспечивает автоматическое отслеживание и мониторинг, контроль состояния локомотива и напольной системы.
- 2) Бортовая локомотивная система с двумя основными подсистемами:
  - бортовой компьютер (БК), обеспечивающий автоматическое отслеживание местоположения и автоматическую передачу информации о движении поезда через систему передачи данных;
  - бортовой дисплейный терминал (ОВТ), отображающий всю необходимую информацию, например, — фактическую скорость поезда, ограничения скорости, местоположение поезда, геометрию пути, характеристики местной системы СЦБ и состояние стрелок. Отображение информации может быть представлено в текстовой или графической форме в зависимости от типа терминала.
- 3) Бортовая система рабочего транспортного средства. Бортовой терминал обеспечивает связь между обслуживающим персоналом пути, центральным диспетчером и машинистом через систему передачи данных.

- 4) Полевая система: Блоки путевого интерфейса (WIU) являются важным оборудованием в полевой системе, которое, например, обеспечивает мониторинг и управление полевыми устройствами: детекторами горячих подшипников и детекторами дефектов колесных пар.
- 5) Система передачи данных: DCS объединяет различные системы обработки информации и значительно сокращает время, затрачиваемое на голосовую связь.

Четыре из пяти систем — это системы обработки информации, находящиеся в центральной диспетчерской (ЦДЭ), на бортовых локомотивах (Бортовой компьютер), на бортовых рабочих машинах и в полевых условиях. (Блок интерфейса Wayside). Эти системы собирают, обрабатывают и распределяют данные с минимальным участием диспетчеров и машинистов. Пятая система и краеугольный камень ATCS — это современная система передачи данных, которая связывает воедино различные системы обработки информации и значительно снижает потребность в голосовой связи.

Система передачи данных основана на 5 уровнях распределения информации:

- Континентальный уровень: обеспечивает функции, обязательные для межжелезнодорожных перевозок. Например, передача накладной.
- Уровень железной дороги: обеспечивает функции, которые являются обязательными для движения поездов, а также для второстепенного управления движением поездов.
- Региональный уровень: обеспечивает операции в регионах отправки, от одного диспетчерского центра к другому.
- Уровень диспетчеризации: представляет собой центральную функцию управления поездами. Он может передавать жизненно важную информацию.
- Придорожный/мобильный уровень: обеспечивает как жизненно важную, так и второстепенную обработку данных локомотивов, путевых единиц и придорожных устройств; и коммуникационная информация между поездами, придорожными и путевыми объектами.

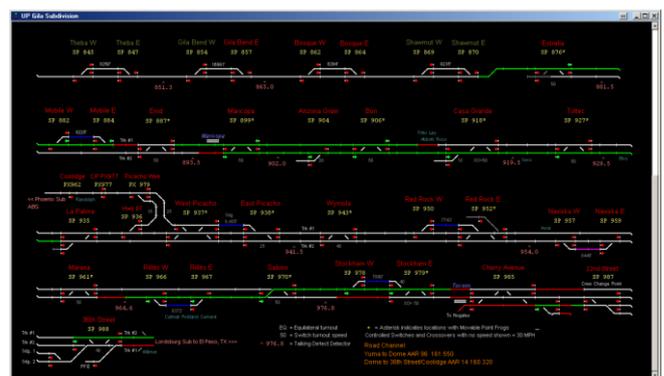


Рис. 1. Внешний вид программы для работы с ATCS (ATCS Monitor)

ATCS была разработана с возможностью модульного расширения [3], что обеспечивает различные уровни эксплуатационной сложности. Были определены три основных уровня работы, хотя в реальных условиях возможно множество гибридных конфигураций.

Базовые пакеты связи (BCP) соединяют наземный сегмент с радиочастотным сегментом системы связи. Пакеты мобильной связи (MCP) соединяют клиентов с радиочастотным сегментом системы связи или (опционально) напрямую с наземной системой. В число клиентов MCP входят придорожные интерфейсные устройства, бортовые компьютеры и терминалы путевых работников.

Основные характеристики сети:

- Структура: 7-слойный ISO, синхронный HDLC-LAPB
- Максимальная скорость: 4800 бит/с.
- Частотный диапазон: УВЧ, дуплекс 900 МГц
- Полоса пропускания: 12,5 кГц
- Модуляция: FSK Baseband/Direct FM

## V. ДЕКОДИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ATCS С ПОМОЩЬЮ GNU RADIO

Используя ПО GNU Radio, можно осуществить прием и последующую обработку сигнала системы ATCS (рис. 2).

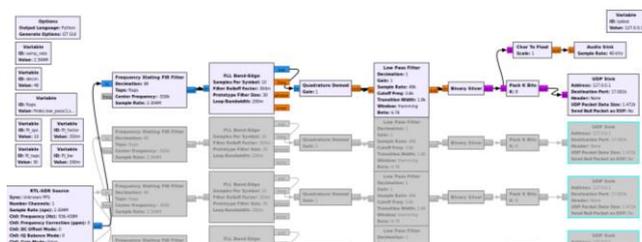


Рис. 2. Пример приемника ATCS с использованием GNU Radio

В крайнем левом углу есть блок RTL-SDR Source, предназначенный для настройки SDR-ключа и являющийся источником оцифрованного радиочастотного сигнала. Канал Ch0 настроен на 936,438 МГц (округленную для отображения с 936,4375 в большую сторону). Это центральная частота 6 каналов BCP ATCS. Если необходимо вместо этого получать частоты MCP, потребуется изменить ее на 897.4375 МГц.

Существует 6 рядов блоков, каждый из которых предназначен для приемника ATCS на каналах с 1 по 6. Частота для каждого канала задается центральной частотой каждого из частотных КИХ-фильтров (как смещение от tune\_freq). Важно, что верхний ряд блоков окрашен светлее (ВКЛЮЧЕН), а 5 нижних – темнее (ОТКЛЮЧЕН). Таким образом, по умолчанию включен только канал ATCS 1.

Примечания к блоку приемника UDP: при этом устанавливается пункт назначения для оцифрованного потока данных с разбивкой по битам. По умолчанию все они настроены на отправку на 127.0.0.1 (тот же компьютер) и порты с 17001 по 17006, соответствующие каждому каналу ATCS. Можно отправить их на другой компьютер, изменив переменную ipdest.

Примечания по отладке звука: в правом верхнем углу есть 2 блока, предназначенные для преобразования символов в плавающие и приема звука, оба по умолчанию отключены. Если включить оба из них, можно прослушивать полученный сигнал на своем аудиовыходе. Следует обратить внимание на то, что сигнал на аудиовход поступает с выхода двоичного слайсера для канала 1, как показано линией, соединяющей их. Если нужно прослушать другой канал, необходимо удалить действующую строку, а затем провести новую линию к каналу, который нужно отслеживать. После этого следует щелкнуть один раз на фиолетовом поле вывода двоичного слайсера, а затем на фиолетовом поле ввода для преобразования символов в плавающие значения для приемника звука.

Отдельного упоминания стоит блок приемника GUI FFT. Этот блок в центре верхнего ряда отображает график БПФ принятого сигнала и может быть полезен для устранения неполадок приемника. Его можно включить и подключить к любому из выходов канала для исследования.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система управления поездом ATCS является ярким примером использования технологии SDR за рубежом. Ее основная цель заключается в создании безопасной, экономичной и модульной системы управления с открытой архитектурой для железнодорожного комплекса в Северной Америке. ATCS обеспечивает мониторинг местоположения поездов, автоматизацию управления и обнаружение слепых зон на железной дороге. Она позволяет железным дорогам выбирать и поэтапно внедрять необходимые функции, используя компоненты от разных поставщиков. Система передачи данных ATCS значительно улучшает связь, обеспечивая точную информацию о движении поезда и его местоположении. Архитектура ATCS включает центральную диспетчерскую систему, бортовые локомотивные системы, напольную систему и систему передачи данных. Эта современная технология позволяет обеспечивать безопасное движение поездов, контролировать скорость, отслеживать состояние поезда в реальном времени и повышать производительность железнодорожного транспорта.

Использование ATCS позволяет выполнять мониторинг следующих элементов:

- Локомотивы: можно отслеживать местоположение и передавать данные о состоянии локомотивов.
- Напольные устройства: такие как стрелки, светофоры и другие системы СЦБ могут быть подключены к ATCS для обеспечения безопасности движения поездов.
- Путевая инфраструктура: можно контролировать состояние рельсов, переездов, туннелей и мостов с помощью радиосвязи.
- Системы безопасности: радиосвязь позволяет обнаруживать слепые зоны на участках железной дороги и предотвращать возможные аварии.

- Бортовые компьютеры и терминалы: с помощью радиосвязи можно обмениваться данными между поездами, наземными устройствами и диспетчерскими центрами для оптимизации движения поездов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Эдвард Фурман. "Сетевое управление для системы связи ATCS", 1991.
- [2] Advanced Train Control System Technology [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ukdiss.com/examples/railway-automatic-train.php> (дата обращения 17.03.2024)
- [3] Advanced Train Control Systems / Edited By: B. Ning, Beijing Jiaotong University, ChinaWIT Press. 2010.