

# Автоматическое управление движением поезда для пригородных и магистральных линий

В многочисленных публикациях приведены описания систем автоматического управления движением поезда (Automatic Train Operation — АТО) для метрополитенов как в целом, так и применительно к конкретным линиям метро и к современным технологиям. Однако в специальной литературе редко сообщалось о возможностях применения системы АТО на магистральных железнодорожных линиях. Предлагаемая статья ставит целью восполнить этот пробел.

## Терминология

Различные системы АТО внедрены главным образом в метрополитенах, но могут найти широкое применение на пригородных и магистральных линиях железных дорог.

Если автоматизированная система обеспечения безопасности поезда (Automatic Train Protection — АТР) предназначена для безопасной остановки состава при возникновении такой необходимости, то система АТО служит для управления движением поезда. Обоснованием внедрения системы АТО могут быть стремление к повышению пропускной способности, сокращению штата персонала, росту энергоэффективности. Без достижения одной или нескольких из этих целей применение АТО нецелесообразно.

Фактически термин АТО используют применительно к техническим средствам различной степени автоматизации — от автоматизации основных функций управления поездом до ведения поездов без

машинистов на борту. Это в равной степени применимо как к метрополитенам, так и к магистральным железным дорогам.

На базовом уровне АТО обеспечивает автоматическое управление движением поезда между станциями с остановкой на перегоне, если этого требует система сигнализации. Когда этот процесс осуществляется под надзором машиниста, его часто называют полуавтоматическим ведением поезда (Semi-Automatic Train Operation — STO), хотя иногда сохраняется название АТО. При работе в режиме STO обеспечивается автоматическое управление тяговым двигателем и тормозами, благодаря чему достигается более равномерный ход поезда с оптимизацией пропускной способности и энергопотребления. Обычно машинист остается в кабине, управляет открытием и закрытием дверей и начинает движение при отправлении поезда со станции. Для оптимизации движения поезда с целью достижения заданных коммерческих параметров линии кривую скорости

можно менять посредством централизованной системы управления движением поездов.

Более сложные системы, построенные на основе базового уровня функциональности АТО, могут дополнительно управлять открытием и закрытием дверей, делая возможным ведение поезда без машиниста в кабине управления. Этот режим работы часто называется управлением движением поезда без участия машиниста (Driverless Train Operation — DTO). В этом режиме машинист или другой член поезда остается на борту для обслуживания пассажиров и ведения состава в случае отказа системы АТО. Поскольку машинист уже не имеет возможности видеть путь перед поездом, работа в этом режиме предъявляет особые требования к системе сигнализации.

Следующим уровнем автоматизации является безлюдное управление движением поезда (Unattended Train Operation — UTO), которое может использоваться в широком диапазоне технологических операций: от перемещения порожних составов (маневровые передвижения по обороту состава на конечных станциях, подача/уборка состава на запасные пути или в депо) до автоведения поездов в пассажирском сообщении при полном отсутствии локомотивной бригады на борту. Этот режим требует наличия возможности дистанционного управления поездом при возникновении любого отказа или, как минимум, доставки персонала к составу в кратчайшее время. В режиме UTO необходимы особые меры безопасности для исключения возникновения препятствий на пути следования или использование средств обнаружения препятствий.

В отличие от метрополитена при применении системы АТО на магистральных линиях принцип «все или ничего» не действует. Возможны разные промежуточные варианты, не предусматривающие необходимости обязательной остановки

на станциях в точно фиксированном месте. Зачастую система обеспечивает своеобразный «круиз-контроль», позволяющий машинисту выбрать постоянную скорость.; «Интеллектуальный круиз-контроль» для ведения поезда согласно кривой скорости с учетом ограничений скорости, уклонов, расписания и энергосбережения используется, например, на высокоскоростных линиях в Испании. Такие системы являются вспомогательными средствами машиниста (как в режиме СТО с некоторыми дополнениями), но необязательно служат для автоматической остановки поезда на станциях.

Хотя системы сигнализации и управления поездом составляют основу систем автоведения, главные различия между традиционными поездами, управляемыми машинистами вручную, и поездами, оснащенными средствами АТО любого уровня (полуавтоматическими, без участия машиниста, безлюдными), заключаются в уровне совершенства систем обеспечения безопасности и связи.

Еще одно важное различие состоит в используемых алгоритмах обеспечения конкретных функций.

Необходимо отметить, что работа систем в штатном режиме при исправно функционирующем оборудовании не вызывает особых сложностей. Основные различия между разными режимами АТО становятся более понятными именно при рассмотрении отказов, т. е. постепенном сокращении функциональных возможностей системы.

### Основные положения по безопасности

АТО строится на основе системы обеспечения безопасности поезда АТР, функционирующей в соответствии с требованиями по безопасности уровня SIL 4 согласно европейским нормам CENELEC. Фактически АТР представляет собой безопасную

систему, обеспечивающую при любых обстоятельствах и в любое время невозможность превышения скорости, допустимой по условиям интервального регулирования, показанием сигналов или по ограничениям скорости (зависящим как от состояния инфраструктуры, так и от характеристик подвижного состава), и предотвращение столкновений (например, на переездах), а также иную защиту.

В связи с тем что система АТР соответствует уровню SIL 4, безопасность основной системы АТО не считается критичным показателем. Теоретически она может соответствовать уровню SIL 0, но только в сочетании с АТР. В большинстве случаев она используется в дополнение к АТР в качестве интегральной системы. Также ее можно строить в качестве параллельной системы с использованием нескольких общих интерфейсов или входов-выходов с АТР. В любом случае всегда имеется несколько интерфейсов между АТР и АТО. К примеру, европейская система управления движением поездов ETCS, используемая на многих магистральных линиях в Европе и вне ее, соответствует уровню SIL 4 и может служить в качестве платформы АТР для функционирования АТО. Однако ETCS предназначена для работы в условиях ведения поезда машинистом. Поэтому при разработке проектов работы АТО совместно с ETCS необходимо тщательно формулировать и учитывать системные требования, системную архитектуру и системные интерфейсы.

Однако при реализации некоторых функций АТО для особых применений может потребоваться значительно более высокий уровень безопасности.

Первым примером могут служить пригородные линии, на которых организация движения сходна с метрополитеном. Здесь жизненно важно, чтобы в режиме АТО обеспечивалось автоматическое

управление дверями, требующее высокого уровня безопасности. Этот уровень должен достигаться, даже если все двери находятся под управлением системы, но обязательно открываются на всех станциях, как это имеет место в Париже, где (за исключением линии 14, работающей в режиме УТО без машинистов) каждая дверь открывается, только если пассажир, находящийся в вагоне или на платформе, нажимает на ручку или кнопку. Не допускается возможность открытия дверей на станции со стороны, противоположной платформе. Поэтому необходимо наличие системы, независимой от АТО и препятствующей открыванию дверей с неправильной стороны или в несоответствующем месте. Такие системы уже внедряются для предотвращения ошибок машиниста, и их следует использовать также при введении АТО.

Еще одним примером может служить организация движения грузовых поездов на линиях, предназначенных только для грузового движения. Эксплуатация линий, не имеющих пассажирского движения, означает отсутствие необходимости следовать нормам, правилам и стандартам, действующим при пассажирских перевозках. Это возможно на линиях, расположенных вдали от населенных зон и, как правило, предназначенных для движения тяжеловесных поездов, перевозящих навалочные грузы, например уголь и железную руду. При движении таких поездов могут возникать специфические ситуации, создающие угрозу безопасности. Например, в горных районах даже незначительное превышение допустимой скорости может привести к тяжелым последствиям и стать причиной схода подвижного состава с рельсов. На участках, где рельеф местности обуславливает чередование подъемов и спусков, при движении тяжеловесных поездов по системе многих единиц

с локомотивами в голове, середине и хвосте состава необходимо предпринимать особые меры безопасности, исключающие возможность набора скорости одним или несколькими локомотивами в ситуации, когда необходимо торможение. Даже в тех случаях, когда аспекты безопасности при регулировании скорости находятся под контролем АТР, ложные сигналы управления тяговыми двигателями и/или тормозами с выходов системы АТО могут привести к обрывам сцепных устройств или даже к крушениям с тяжелыми и дорогостоящими последствиями.

Безусловно, функцию обеспечения безопасности при движении грузовых поездов под уклон следует рассматривать как критически важную во избежание перегрева тормозов.

### Области применения АТО

К основным бизнес-сегментам, в которых целесообразно применение АТО, относятся линии пригородные, грузовые, высокоскоростные, а также обычные магистральные линии, по которым осуществляются смешанные перевозки.

Для иллюстрации различий между этими сегментами и сравнения их с метрополитеном, где система автоведения поезда стала стандартным инструментом, в таблице приведены их основные характеристики. Здесь определена основная бизнес-цель внедрения АТО в каждом сегменте. Как правило, переход на АТО способствует повышению пропускной способности пригородных линий, как это имеет место в метрополитене. В грузовом движении основные выгоды заключаются в повышении гибкости управления поездом, оптимизации режимов движения, сокращении энергопотребления на тягу и операционных издержек. Для операторов междугородных и высокоскоростных поездов стимулом

перехода на АТО может быть исключение неравномерности хода, т. е. достижение плавного ускорения и торможения, обеспечивающего более высокий комфорт перевозки пассажиров и способствующего энергосбережению. Для обычных магистральных линий или сетей полная автоматизация может быть одним из инструментов минимизации конфликтов на мультимодальных и крупных узловых станциях и повышения их пропускной способности.

В таблице приведены значения максимальной скорости, минимального интервала попутного следования, времени стоянки, расстояния между станциями, вместимости пассажирских или массы грузовых поездов, а также некоторые другие сравнительные характеристики (включая необходимость обеспечения точности соблюдения графика, требования к совместимости с подвижным составом других типов или с действующими устаревшими системами сигнализации, к вредным выбросам, требования по безопасности и др.).

На основании приведенных сведений можно сформулировать некоторые предварительные вопросы для разработки технико-экономического обоснования внедрения АТО на магистральных линиях. Предлагаемый перечень не является исчерпывающим и может включать более общие вопросы:

- достигаются ли экономическая эффективность или конкурентные преимущества при внедрении АТО на конкретной линии или направлении?
- действительно ли оператору магистральной линии или сети необходима система АТО? Если да, то какова основная цель внедрения АТО?
- планирует ли владелец инфраструктуры совершенствовать в будущем систему сигнализации, и будет ли система АТО с ней сопрягаться?

• в полной ли мере понимается проблема совместимости подвижного состава разных типов?

• существует ли в нормальных условиях эксплуатации необходимость ведения всех поездов без исключения в режиме АТО, или допускается также курсирование поездов, не оснащенных этой системой? Важно учитывать влияние этого аспекта на общую архитектуру системы и на безопасность движения как в нормальных условиях, так и при возникновении отказов;

• является ли совмещение ответственных функций и функций, не влияющих на безопасность, абсолютно недопустимым, или возможно некоторое совмещение, например для каналов передачи данных?

В зависимости от ответов на эти и другие вопросы проектировщики смогут разработать оптимальные технические условия и лучшие возможные решения для достижения поставленных при внедрении АТО целей с учетом перспективных потребностей.

### Примеры реализаций АТО для магистральных линий

Преимущества АТО зависят от сферы ее применения. В числе таких преимуществ — более плавный ход поезда и возможность обеспечения круглосуточного движения без выходных дней. АТО может быть внедрена в несколько этапов. На первом этапе машинисты, если они остаются на локомотиве, получают информацию о рекомендуемой скорости. На следующем этапе система в автоматическом режиме реализует эту рекомендованную скорость, становясь более эффективным инструментом ведения поезда, чем машинист. Заключительным этапом может стать переход к решениям DTO/UTO, позволяющим более гибко реагировать на краткосрочные потребности в увеличении размеров движения и создающим возможности сокращения численности персонала.

Сравнительные характеристики линий метрополитена и магистральных железных дорог

Параметр	Метрополитен	Пригородное сообщение	Грузовое сообщение	Междугородное и высокоскоростное пассажирское сообщение	Смешанное движение на обычных магистральных линиях
Главная цель внедрения АТО	Обеспечение безопасности движения, повышение пропускной способности линии	Повышение пропускной способности линии	Переход на ведение поезда без машиниста и оптимизация управления движением	Исключение неравномерности движения, энергосбережение	Минимизация влияния неизбежных конфликтов, повышение пропускной способности линии
Максимальная скорость, км/ч	60 – 100	100 – 120	80 – 140	250 – 360	80 – 250
Минимальный интервал попутного следования, мин	1 – 5	2 – 5	5 – 10	3 – 5	2 – 5
Время стоянки на станциях	20 – 40 с	40 – 80 с	15 мин и более	1 – 2 мин	1 – 15 мин
Энергосбережение и эффективность	+++	+++	+	+	++
Точность соблюдения графика	(1)	+++	+	+	+++
Совместимость с другими типами подвижного состава (или их совместимость между собой)	(2)	Чаще всего необходима	Не всегда (полигон обращения ограничен)		
Совместимость с другими средствами железнодорожной автоматики и телемеханики (устаревшими системами, ERTMS/ETCS и др.)	Чаще всего необходима		Не всегда (полигон обращения ограничен)		Все более востребована
Среднее расстояние между станциями, км	0,5 – 1,5	3 – 5	30 – 300	30 – 300	3 – 50
Другие цели внедрения АТО	Оптимизация межпоездных интервалов и времени ожидания на станциях		Отказ от локомотивных бригад	Повышение плавности хода поездов	Повышение плавности хода поездов, энергосбережение
Вместимость пассажирских поездов или масса грузовых	1000 – 3000 чел.	1000 – 3000 чел.	2000 – 3000 т или более	300 – 1000 чел. или более	300 – 1000 чел. и более; до 1500 т (и более)
Сокращение выбросов вредных веществ	Да (по сравнению с организацией движения без АТО)		Да (по сравнению с грузовыми автомобилями, а также тепловозной тягой)	Да (по сравнению с автобусным сообщением)	Да (по сравнению с автобусным сообщением)
Элементы безопасности	Открывание дверей	Открывание дверей	Управление тормозами длинносоставных поездов в гористой местности	—	—

Примечания. (1) Точность не является необходимой при коротких интервалах попутного следования. В этих случаях важно как можно точнее соблюдать одинаковый межпоездной интервал.

(2) Обычно совместимость подвижного состава разных типов не требуется. Как правило, на конкретной линии обращается подвижной состав одного типа (максимум трех).



### Пассажирские перевозки

Примером почти 10-летней эксплуатации АТО в качестве надстройки над АТР на магистральной линии может служить Чехия, где обращается около 50 пригородных поездов, оснащенных этой системой. Машинист только подает сигнал отправления, все последующее управление поездом до его остановки на следующей станции осуществляется полностью в автоматическом режиме.

Другим примером, безусловно, относящимся к магистральным линиям, поскольку здесь предусмотрено смешанное движение и участок расположен в пригородной зоне, является проект Marmaraya, включающей в себя железнодорожный тоннель под проливом Босфор. К новому двухпутному тоннелю под проливом Босфор (интервал попутного следования — 90 с, планируемая провозная способность в часы пик — до 70 тыс. пассажиров в час) с обеих сторон подходят обычные пригородные линии (в проект включены линии протяженностью 76 км с 41 станцией). Главный ход

сети Marmaraya, включая тоннель и походы к нему, будет оборудован СВТС (Communication Based Train Control) — самой современной системой сигнализации для метрополитенов с использованием АТР и АТО, а все ответвления — системой ETCS уровня 1, поскольку на них не планируется движение с интервалами менее 120 с. Кроме того, главный ход также будет оборудован ETCS уровня 1 в качестве резервной системы.

Технико-экономическое обоснование оснащения подвижного состава по проекту Marmaraya не только АТР, но также системой АТО базируется на том, что только она позволит обеспечить необходимый интервал попутного следования 90 с между поездами длиной 225 м, движущимися в тоннеле со скоростью до 100 км/ч. Начало эксплуатации линии Marmaraya планируется на 2011–2012 гг.

Еще одним примером использования АТО в дальних пассажирских сообщениях являются испанские высокоскоростные линии. На некоторых высокоскоростных поездах железных дорог Испании

(RENFE) используется система, по функциям близкая к АТО. По сути, это система, которая отслеживает разрешенную АТР кривую скорости, составленную на основе данных ETCS, с тем, чтобы поезд всегда двигался с максимально разрешенной скоростью на каждом участке линии. При этом поезд не получает никакой дополнительной управляющей информации с напольных устройств.

Этот метод управления имеет несколько недостатков. Например, если следующая остановка должна произойти на пассажирской станции, то при приближении поезда к ней все сигналы имеют разрешающие показания. Это означает, что ETCS выдает поезду разрешение на движение по станции с установленной на линии скоростью и существующая АТО не выдаст автоматическую команду на его остановку на станции, как это было бы при наличии полноценной системы.

В контракте на оснащение одной из пригородных сетей RENFE предполагается внедрение полноценной системы АТО, однако пока неясно, будет ли проект реализован.

### Грузовые сообщения

В этой сфере первым примером, по-видимому, можно считать немецкую систему Cargo-Mover (см. «ЖДМ», 2004, № 2, с. 27–33), которая так и не вышла из стадии испытаний. В Cargo-Mover (рис. 1) совместно используется радиолокационная и лазерная техника, а также система передачи данных по каналу GSM-R для определения маршрута к месту назначения в кратчайшее возможное время с соблюдением условий безопасности. Бортовой компьютер, взаимодействующий с системой централизованного управления движением поездов, обеспечивал продвижение поездов Cargo-Mover (в максимально возможном автоматическом режиме) в окнах между пассажирскими и



Рис. 1. Моторный грузовой вагон системы Cargo-Mover

регулярными грузовыми поездами. Система Cargo-Mover функционировала в 2003–2005 гг., однако после этого дальнейшего развития не получила.

Более близким к нашему времени примером применения АТО в грузовом сообщении является проект для выделенной грузовой линии компании Rio Tinto в Северо-Западной Австралии. Эта железная дорога в июне 2008 г. объявила о решении перейти к системе следующего поколения, работающей без машинистов. Намерение Rio Tinto заключается в организации в 2012 г. движения всех поездов без локомотивных бригад на всем своем полигоне протяженностью 1300 км для более эффективной транспортировки 320 млн. т железной руды. Известно, что поезда железной дороги Rio Tinto (рис. 2) входят в число самых тяжеловесных в мире (их масса составляет до 30 тыс. т, а длина — 2,4 км). В настоящее время среднее время оборота такого поезда с железной рудой составляет 33 ч при среднем интервале попутного следования 25 мин.

В Северной Америке существует система Trip Optimizer («Оптимизатор маршрута»), представляющая собой разновидность АТО для грузового сообщения. Она служит для автоматического управления тяговым приводом и тормозами. Система ведет поезд по динамическому графику, являющемуся результатом оптимизации по многим параметрам с приоритетами таких целевых критериев, как минимизация расхода топливно-энергетических ресурсов или прибытие в заданное время. Система рассчитывает точную кривую скорости между станциями отправления и назначения, обеспечивающую оптимальный режим движения с учетом массы поезда и ее распределения по составу, типа и мощности каждого локомотива, местоположения



Рис. 2. Тяжеловесный поезд на железной дороге компании Rio Tinto

локомотива в поезде, геометрии пути и скоростных ограничений. Оптимальные показатели управления тяговым приводом и динамически тормозами могут выводиться на дисплей машиниста в непрерывном режиме. При включении машинистом автоматического режима система управления с обратной связью ведет поезд точно по кривой скорости. Например, когда поезд находится на вершине подъема, ведущие локомотивы могут быть переведены в холостой режим, в то время как двигатели локомотивов в хвосте состава продолжают работать под нагрузкой для уменьшения усилий, действующих на сцепные устройства.

Система реализуется в несколько этапов, причем динамическое торможение и асинхронное дистанционное управление планировали внедрить уже в 2010 г. после завершения проверки работоспособности основной функции управления тягой. Интеграция с системами сигнализации позволит повысить уровень функциональности от интеллектуального «круиз-контроля» до полноценной АТО. В течение 2009 г.

суммарный пробег оборудованных системой поездов массой от 2000 до 24 000 т составил примерно 1,6 млн поездо-км. В зависимости от типа поезда и профиля линии экономия топлива составила от 5 до 16% при контролируемом времени прибытия. При включенной системе результаты работы любого машиниста превосходили показатели «лучшего машиниста». Однако все еще считается необходимым время от времени переходить на ручное управление для поддержания должной квалификации машинистов, требуемой для ведения длинносоставных поездов, пока еще не оснащенных автоматизированной системой.

В настоящее время на высокоскоростных или обычных магистральных линиях в дальних сообщениях система АТО не используется, не испытывается и не планируется к внедрению в самом ближайшем будущем. Однако весьма вероятно, что в обозримом будущем проекты АТО появятся и в этих областях.

*J. Poré. Signal und Draht, 2010, № 7–8, S. 36–40; материалы Institution of Railway Signal Engineers (www.irse.org).*