

# Система управления энергоэффективными режимами ведения поездов

Шведская консультационная компания Transrail в рамках исследования, финансируемого оператором инфраструктуры Trafikverket и горнодобывающей компанией LKAB, разработала автоматизированную систему помощи машинисту (Computer Aided Train Operation, CATO), которая способствует сокращению расхода электроэнергии на тягу поездов и уменьшению вредного воздействия на окружающую среду.

Состоявшийся 5 апреля 2011 г. демонстрационный рейс рудовозного поезда по линии Malmbanan из района добычи железной руды вблизи города Кируна в порт Лулео (рис. 1) ознаменовал завершение важного этапа разработки компанией Transrail автоматизированной системы управления движением поездов CATO, позволяющей оптимизировать режимы ведения поезда и снизить потребление энергии. Оператор линии — компания МТАВ приступает к оснащению эксплуатируемых здесь электровозов аппаратурой, необходимой для работы с системой CATO. Предполагается, что с начала 2012 г. движение всех поездов по линии Malmbanan будет осуществляться с использованием данной системы.

CATO представляет собой первую систему помощи машинисту, которая создана в соответствии со стандартом, регламентирующим эффективное использование энергии на тягу поездов (EETROP) и разработанным в рамках финансируемой ЕС программы RailEnergy. В связи с тем что системы помощи машинисту все шире используются во многих странах Европы и за ее пределами, стандарт EETROP

предусматривает требования к совместимости технологий передачи и обработки информации, необходимой для оптимизации режимов ведения поезда. Благодаря этому становится возможным следование поездов по сетям разных компаний-операторов с управлением из разных диспетчерских центров в оптимальных с точки зрения энергопотребления режимах без предварительной загрузки соответствующих данных в бортовые устройства.

## Растущий спрос

Рынок систем помощи машинисту растет, поскольку железнодорожным компаниям важно сокращать эксплуатационные расходы, повышать эффективность использования энергии и уменьшать воздействие на окружающую среду. В настоящее время известны различные автоматизированные системы, обеспечивающие снижение потребления электроэнергии, однако их сравнение затруднено тем, что зачастую они построены на основе различных компьютерных моделей и алгоритмов, которые могут применяться только при определенных условиях.

Системы помощи машинисту могут работать автономно или в режиме обмена данными с центром управления движением. Ряд систем работает только на базе постоянных данных — например, о составности поезда, параметрах инфраструктуры, графике движения и т. д., в других системах учитываются также переменные факторы. Рекомендации по ведению поезда могут быть подготовлены до начала поездки или обновляться во время движения в соответствии с изменяющимися условиями. Некоторые рекомендации могут быть выданы по данным о поездках, в которых были достигнуты лучшие показатели, например, по расходу электроэнергии. Информация предоставляется машинисту также различными способами.

Экономия энергии, достигаемая при использовании подобных систем, зависит от размеров и равномерности движения по определенной линии, параметров инфраструктуры и типов поездов. Требования к точности соблюдения графика, продолжительности поездки и принципам использования локомотивов компаниями-операторами также имеют значение. Таким образом, современные системы помощи машинисту могут быть полезны с точки зрения увеличения пропускной способности, повышения точности выполнения графика и возможности преодоления последствий отклонений от нормального режима работы.



Рис. 1. Рудовозный поезд на линии Malmbanan

**Архитектура и уровни системы**

Концептуальные идеи систем помощи машинисту появились еще до того, как стали доступны технологии, необходимые для их осуществления. К настоящему времени ряд концепций уже доведен до стадии реализации. При этом изначально особое значение придавалось совместимости таких систем. В соответствии с проектом стандарта EETROP система SATO может взаимодействовать с европейской системой ERTMS или другими автоматизированными системами управления движением поездов.

Согласно результатам предварительных расчетов и испытаний, полномасштабное внедрение такой системы позволит снизить потребление энергии на 15 – 25 % даже при увеличении средней скорости движения поездов. Эксплуатационные расходы могут быть сокращены за счет повышения точности исполнения графика, при этом улучшаются условия труда машинистов и диспетчеров. Благодаря оптимальному

использованию пропускной способности некоторые операторы могут обойтись без значительных инвестиций в развитие инфраструктуры.

Архитектура SATO предусматривает наличие нескольких уровней, высшим из которых является уровень 3. Для его реализации в центре управления движением и на каждом поезде необходимы отдельные модули, между которыми возможен обмен информацией по стандарту GSM-R или посредством какой-либо другой системы цифровой радиосвязи (рис. 2). Центр управления движением передает на поезд инструкции в виде перечня контрольных пунктов, которые должны быть пройдены в установленное время с заданной скоростью.

Если на уровне 3 возможна оптимизация всех функций управления, то на уровне 0 реализуется только автономный режим работы бортовой системы. Уровни системы отражают прежде всего возможности центра управления движением, в то время как задачи бортовых устройств состоят в реализации максимальных преимуществ от их

использования на каждом уровне. Такая архитектура делает возможным модульное наращивание системы с целью ее совершенствования, в том числе в сочетании с другими EETROP-совместимыми системами.

Бортовое оборудование непрерывно ведет расчет оптимальной скорости, требуемой для проследования очередного пункта в установленное время. В качестве критерия оптимальности может быть выбран минимальный расход энергии или какой-либо другой параметр. График скорости в удобном формате, облегчающем его отслеживание, выводится на дисплей машиниста.

На более высоких уровнях благодаря связи с центром управления обеспечивается не только точное выполнение заданного графика, но и возможность реагировать на изменения фактической поездной обстановки, что позволяет избежать излишних торможений и незапланированных остановок.

Оптимальный режим ведения поезда для определенного участка пути зависит от допустимого времени поездки и может изменяться для

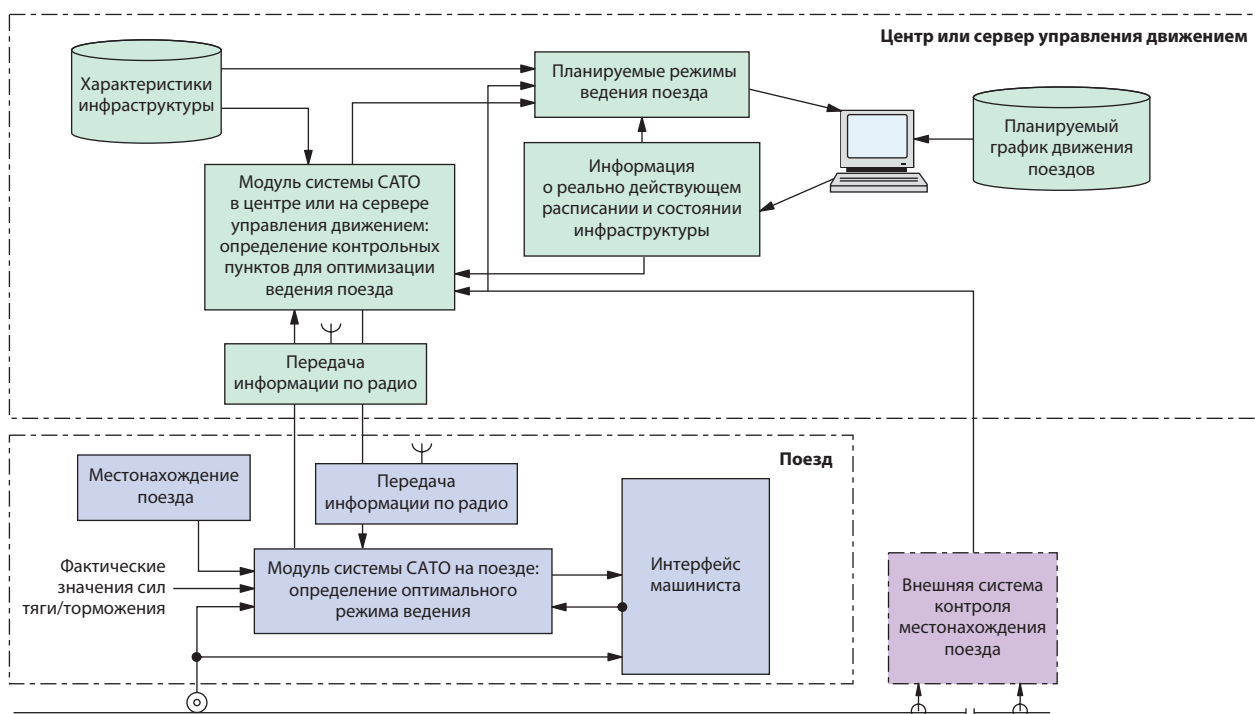


Рис. 2. Архитектура системы SATO

поездов разной составности, разных дней недели и т. п. Такой режим может не совпадать с тем, который обычно выбирает машинист, но в любом случае гарантирует прохождение каждого пункта в заданное время.

Поскольку при разработке и оптимизации системы были установлены некоторые ограничения, ожидалось, что потенциал экономии энергии за счет внедрения САТО уровня 1 составит не менее 10 – 15 % с учетом значительного числа факторов, влияющих на эффективность использования энергии. Фактически же по итогам предварительных испытаний на линии Malmbanan экономия энергии для системы уровня 2 достигла 20 – 25 %. Пример результатов измерения потребления энергии при движении рудовозного поезда показан на рис. 3.

### Адаптация моделей

Система САТО построена на основе разработанной компанией Transrail модульной программы TRAINS, которая содержит библиотеку разнообразных функций и алгоритмов. Пользователи могут выбирать разные критерии оптимизации и модели рабочих характеристик, в том числе таких, как система тяги или стиль ведения поезда. Можно также предусмотреть сокращение расходов за счет отдельных факторов, например снижения потребления энергии или уменьшения износа механических тормозов. Значимость различных функций можно изменять в течение дня или в зависимости от времени года, что представляет особый интерес для грузовых компаний-операторов с периодически изменяющимися циклами спроса.

С учетом типа локомотива, сопротивления движению поезда и характеристик инфраструктуры по мере необходимости возможна дальнейшая детализация модели.

Алгоритмы оптимизации позволяют ранжировать такие показатели, как расход и суммарная стоимость потребленной энергии, величина рекуперлируемой энергии, потребляемая мощность, расход топлива, использование механического торможения и т. д., выбирая в качестве приоритетного один из них или любую комбинацию этих и других параметров.

### Система помощи машинисту

Система, осуществляющая выдачу рекомендаций машинисту, должна соответствовать нескольким требованиям. Прежде всего при определении рекомендуемой скорости следует учитывать ограничения и допуски, которые были установлены владельцами инфраструктуры и компаниями-операторами в целях обеспечения безопасности движения. Крайне нежелательны резкие изменения силы тяги или торможения.

Интерфейс машиниста разработан с учетом эргономических требований совместно со специалистами университета г. Уппсала. Первоначальный опыт эксплуатации показал, что машинисты могут легко и точно следовать рекомендациям системы после краткого предварительного обучения или даже без него. При задействовании уровней 2 и 3 интерфейс машиниста предоставляет также информацию о других поездах и характеристиках линии.

Как правило, некоторые исходные данные, например временно устанавливаемые ограничения скорости, погодные условия, корректировки графика во время следования поезда могут меняться. Система САТО способна учитывать эти изменения. Кроме того, имеется «функция восстановления», позволяющая повторно оптимизировать рекомендуемые режимы ведения поезда с учетом изменившихся исходных данных. Предусмотрена также

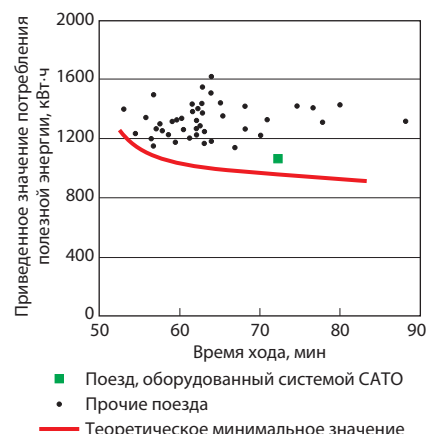


Рис. 3. Потребление энергии на тягу рудовозного поезда на участке Кируна — Стенбакен протяженностью 59,6 км

автоматическая коррекция последствий отказа машиниста от выполнения данной ранее рекомендации.

Установленное на локомотиве оборудование может быть интегрировано с такими системами, как GPS, GSM-R, или бортовыми системами измерения скорости и пройденного пути. Наличие обратной связи позволяет получать поступающую от системы управления поезда информацию о параметрах сцепления, наличии боксования (юза) и выработать рекомендации для компенсации негативных явлений. Если поезд оснащен системой автоведения, САТО может быть использована в качестве помощника машинисту как при ручном управлении, так и в полностью автоматическом режиме.

Помимо запланированного на 2012 г. ввода в эксплуатацию системы САТО на линии Malmbanan, компания Trafikverket рассматривает возможность повсеместного внедрения в ближайшие годы этой или подобных систем, совместимых с EETROP, на сети железных дорог Швеции.

*M. Lagos. Railway Gazette International, 2011, № 5, p. 50 – 52; материалы компаний Transrail (www.transrail.se); Trafikverket (www.trafikverket.se); LKAB (www.lkab.com).*