Системы автоматического ведения поезда

Михаил Пясик, Евгений Толстов, Игорь Случак

В статье описаны системы автоматического ведения поезда, применяемые на тяговом подвижном составе железных дорог. Приведены отличительные особенности систем для каждого класса поездов (электропоезд, пассажирский и грузовой электровозы), описаны функциональные возможности приборов.

Введение

С момента появления электрифицированных железных дорог стал подниматься вопрос об автоматизации процесса перевозок, не исключая и автоматизацию управления электроподвижным составом. Появлявшиеся в 30-е годы теоретические научные разработки сводили данный вопрос к автоматическому регулированию, решающему, как правило, две основные задачи: поддержание заданной скорости и прицельное торможение в нужной точке.

Вместе с тем повышение требований к уровню автоматизации электроподвижного состава, имеющему непосредственное влияние не только на уровень потребления энергетических ресурсов, но и на безопасность движения, а также усовершенствование и модернизация самих тяговых средств — локомотивов и электричек — заставило расширить комплекс решаемых такими системами задач.

Многолетний практический опыт эксплуатации тягового подвижного состава доказал, что процесс управления поездом — это сложная многофакторная задача, решение которой в значительной степени возложено на машиниста. По мере развития электроники стало возможным создание систем, автоматизирующих решение частных задач при ведении поезда. Функциональные возможности таких систем постепенно расширялись, соответственно увеличивался и круг решаемых ими вопросов. Вместе с тем лишь в последнее время, когда получила широкое распространение микропроцессорная техника, появилась возможность делать такие системы компактными и надежными. А решение в масштабах всей сети железных дорог России такой задачи, как прицельное торможение, вообще стало возможно только в последнее десятилетие.

В нашей стране на транспорте разработки с применением микропроцессорной техники стали внедряться в 80-х годах, когда появились первые системы управления тяговым приводом. Их использовали в основном в силовых преобразовательных установках для управления бесколлекторными асинхронными и вентильными тяговыми двигателями, инверторами на электровозах переменного тока, а также для диагностики электрических цепей. Все эти системы, безусловно, имеют различные схемные решения, однако структурная схема у всех одинакова: система датчиков — устройство ввода-микропроцессорный вычислитель — устройство вывода — исполнительные элементы. В зависимости от конкретно поставленной задачи система датчиков должна обеспечить микропроцессорный вычислитель всей необходимой информацией, а исполнительные элементы обязаны бесперебойно передавать управляющее воздействие на соответствующее тяговое оборудование. Мощность же вычислителя, его быстродействие, объем памяти определены прежде всего сложностью решаемой проблемы.

Условия эксплуатации электроподвижного состава выдвигают весьма жесткие требования к его электрическому и механическому оборудованию. Эти требования не обходят стороной и микропроцессорную технику: здесь необходимы не только устойчивость к вибрациям и тряске, но и к климатическим воздействиям, так как полигон использования отечественного тягового подвижного состава простирается от Заполярья к Средней Азии, включая приморские районы с их влажной атмосферой и континентальные районы Сибири с резкими перепадами ночных и дневных температур. Помимо этого имеется целый ряд специфических требований к блокам питания таких систем и к организации их гальванической развязки от высоковольтных цепей локомотива.

Одна из важнейших особенностей микропроцессорных систем управления тяговым подвижным составом заключается в том, что такие системы яв-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

ляются системами реального времени. Это, в свою очередь, предъявляет определенные требования к программному обеспечению, включая и требования к его организации. Программное обеспечение должно четко реагировать на закономерные и случайные события из заранее оговоренного перечня в жестко заданные интервалы времени, выход за границы которых недопустим.

Основные типы систем автоматического ведения

Сегодня из всех систем локомотивной автоматики наиболее передовыми по части объема и сложности решаемых задач являются именно системы автоведения. Они делятся на три основные группы, в прямой зависимости от класса тягового подвижного состава:

- автоматическое ведение пригородного поезда;
- автоматическое ведение локомотива пассажирского поезда;
- автоматическое ведение локомотива грузового поезда.

И хотя цель применения систем автоведения для всех групп одна, для каждой из них она реализуется совершенно по-разному ввиду коренных различий в особенностях эксплуатации электроподвижного состава, которые следует рассмотреть более подробно.

Пригородный электропоезд. Этот класс подвижного состава появился в середине 50-х годов, когда рост пассажиропотока и его перемещения на небольшие расстояния (дистанция между остановочными пунктами в пригородной зоне составляет от 1,5 км) потребовали создать поезд, способный за короткое время развивать большую техническую скорость. Эти и некоторые другие причины обусловили возникновение так называемой моторвагонной тяги, когда состав поезда, как правило, состоит из одинакового количества моторных и прицепных вагонов, а аппараты управления установлены только в головных вагонах.

Моторвагонный подвижной состав имеет значительный запас по силе тяги благодаря большому количеству движущих осей, относительно небольшой вес, а потому способен реализовывать большие ускорения (до 0,75 м/с^2). Его эксплуатация связана с большим количеством остановок за поездку и частой сменой режимов движения «разгон-торможение»; обычно такие поезда используются на участках с наиболее интенсивным движением, где требуется

Пригородный электропоезд

очень точное соблюдение расписания (до 30 с).

Исходя из этого, была определена концепция системы автоматического ведения пригородного электропоезда:

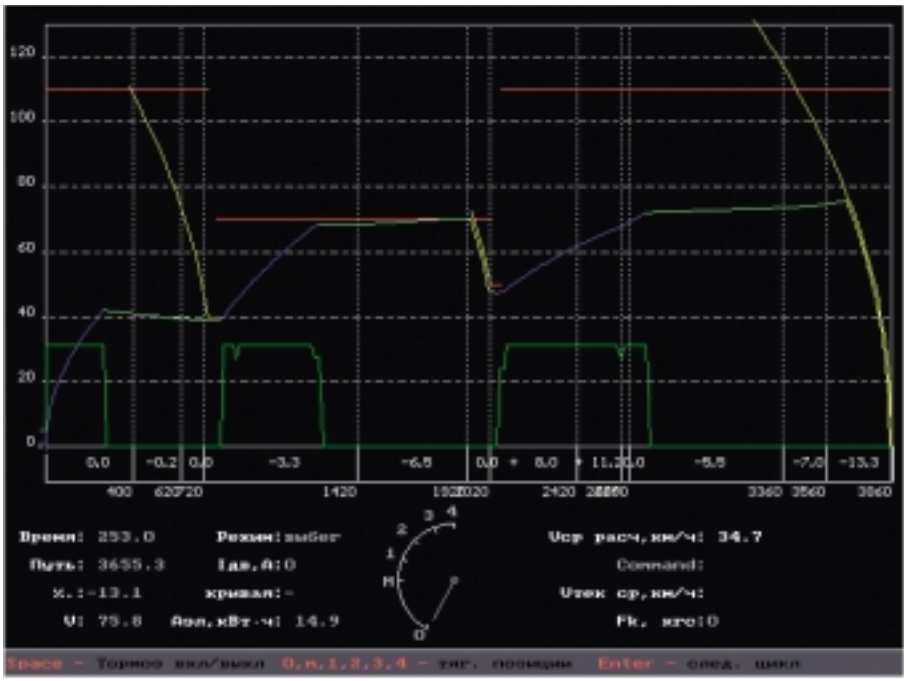
- соблюдение перегонного времени хода;
- выполнение расписания поезда для каждого конкретного маршрута;
- соблюдение скоростного режима, исключающего превышение установленных скоростей движения, в том числе в местах действия ограничений скорости;
- соблюдение сигналов светофоров, требующих снижения скорости;
- расчёт кривой движения поезда с учетом требования минимизации расхода электроэнергии;
- измерение фактической скорости движения и сравнение ее с расчетной, выбор, исходя из этого, соответствующей тяговой позиции;
- расчет координаты местонахождения поезда (что особенно актуально в условиях недостаточной видимости);
- оповещение пассажиров о названиях остановочных пунктов, о закрытии автоматических дверей, о правилах проезда в пригородных поездах и др.;
- сообщение локомотивной бригаде необходимой информации о местах повышенной бдительности, сигналах автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН), местах ограничения скорости, расположении устройств, мимо которых необходимо проследовать с отключенной тягой, об остановочных пунктах и станциях.

Первые образцы системы автоматического ведения пригородного электропоезда (САВПЭ) были созданы во ВНИИЖТ еще в 80-е годы. Для выполнения графика движения и экономии электроэнергии в системе автоведения реализован механизм регулирования времени хода, основанный на предварительном расчете траектории движения поезда для заданного расписания. Построенная кривая движения разбивается системой на режимы ведения (рис. 1). Большое количество коротких перегонов и малое число ходовых позиций контроллера (всего 4), а также особенности цепей управления в электропоезде при сбросе позиций обуславливают особый режим ведения электропоезда, который в значительном числе случаев представляет собой последовательность «разгон-выбег-торможение». На более длинных перегонах система реализует схему с несколькими включениями тяги, то есть режим «разгон-выбег-тяга-выбег-тяга-...-выбег-торможение». По аналогичной схеме реализуется и поддержание скорости, например, при следовании по участку с ограниченной допустимой скоростью движения. Рассчитанные траектории обобщенно задаются в виде параметров (коэффициентов), описывающих скорость разгона и среднюю скорость. Такой подход позволил построить быстрый регулятор времени хода, весь процесс регулирования при этом укладывается в один такт измерения-управления. При этом управляющая программа получилась достаточно компактной и была реализована на процессорах 8086, которые в более поздних приборах САВПЭ были заменены на 80386SX и 80386EX.

Система применяет прицельное торможение поезда при приближении к светофорам, требующим снижения скорости, и к местам действия ограничений скорости, которые либо вводятся заранее (закладываются в память), либо задаются нажатием кнопки с клавиатуры управления.

Управлять поездом при помощи САВПЭ машинист на свое усмотрение может, переключив систему в режим ав-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Условные обозначения:

— допустимые скорости;

— тормозные траектории;

— кривая изменения тягового тока;

— кривая движения в тяге;

— кривая движения в выбеге

Рис. 1. Пример графиков кривых движения (ось абсцисс — перегон: элементы профиля, величина уклонов; ось ординат — скорость)

товедения или в режим подсказки в соответствии с показаниями индикатора.

Значительный объем в аппаратуре систем автоведения электропоезда отводится блоку речевого информатора, который не только выполняет функции оповещения пассажиров, но и, опираясь на сигналы датчика пути и скорости и АЛСН, сообщает машинисту о приближении к переездам, мостам, тоннелям, нейтральным вставкам и токоразделам, постам обнаружения нагрева букс (приборам ПОНАБ, ДИСК), а также об ограничениях скорости, желтом и красном сигналах АЛСН. Эта функция, во-первых, способствует повышению безопасности движения, привлекая внимание локомотивной бригады к местам и событиям, требующим повышенной бдительности или соблюдения особых условий; а во-вторых, облегчает труд машиниста и его помощника, избавленных теперь от необходимости читать информационные сообщения для пассажиров.

Сегодня на электропоездах применяются унифицированные системы автоведения поезда УСАВП и УСАВП-Л. В системе УСАВП применен контроллер 6030 серии MicroPC фирмы Octagon Systems.

Создание нескольких модификаций систем автоведения, внедрение их более чем в 40 депо потребовало разработки как унифицированной управляющей программы, так и технологии (с соответствующими программными средствами) подготовки данных.

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

Одно из первых исполнений аппаратуры САВПЭ и её размещение в кабине машиниста электропоезда

В отраслевом Центре внедрения «Желдорконсалтинг» в 2000 году была разработана универсальная управляющая программа, которая, имея независимое от системы ядро, снабжена необходимым набором низкоуровневых драйверов, непосредственно управляющих аппаратурой конкретной системы. Огромнейший объем работы по внедрению системы потребовал разработки автоматизированного рабочего места подготовки данных, программно-аппаратные средства которого существенно сокращают срок создания бортовой базы данных.

Пассажирский электровоз. Создание системы автоматизированного ведения для этого класса подвижного состава было обусловлено необходимостью поддержания высокой средней технической скорости поезда. Это требует большого запаса по силе тяги при условии, что состав пассажирского поезда в 4-7 раз легче грузового, поскольку количество вагонов в нем существенно меньше, а потому меньше и удельное сопротивление движению. Локомотив должен развивать ускорение в пределах 0,2-0,25 м/с^2. Современные серийные пассажирские электровозы имеют от 18 до 43 ходовых позиций контроллера.

В задачи автоведения пассажирского электровоза входят:

- соблюдение перегонного времени хода;
- выполнение расписания движения для конкретного номера поезда на участке между заданными станциями с точностью до 1 минуты;
- соблюдение режима установленных на участке следования скоростей движения, в том числе в местах действия ограничений скорости;
- соблюдение сигналов светофоров, требующих снижения скорости или остановки;
- расчёт кривой движения поезда, в том числе реализация механизма нагона опоздания с учетом требований по минимизации расхода электроэнергии;
- расчет координаты местонахождения поезда;
- выбор позиции контроллера машиниста, исходя из рассчитанной энергооптимальной траектории, с учетом минимизации числа его переключений;
- измерение фактической скорости движения и сравнение ее с расчетной;
- организация взаимодействия прибора автоведения и машиниста посредством отображения на индикаторе всей информации о режимах движения поезда (обратная связь);
- сообщение локомотивной бригаде необходимой информации о местах повышенной бдительности, сигналах автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН), местах ограничения скорости, о приближении к станциям, о расположении устройств, мимо которых необходимо проследовать с отключенной тягой.

Пассажирские электровозы работают на перегонах значительной длины, на ряде направлений проходя без остановок расстояние до 550 км. Расчет такой траектории заранее, до поездки, невозможен, так как, в отличие от электропоезда, вес состава (число вагонов поезда) становится известным только непосредственно перед отправлением поезда. Кроме того, необходимо оперативно строить траекторию движения с учетом имеющихся к моменту отправления ограничений скорости. Все это предполагает необходимость расчета траектории движения поезда прямо на борту электровоза в системе автоведения. Такую траекторию нужно строить как энергооптимальную, то есть такую, которая минимизирует расход энергии по перемещению конкретного поезда по заданному маршруту за определенное время.

Известно, что энергооптимальные траектории имеют фиксированный набор режимов: разгон с максимальным ускорением, торможение с максимальным замедлением, выбег, поддержание (стабилизация) скорости. При этом, если на траектории находятся несколько участков стабилизации скорости, то

Пульт управления электропоездом, оборудованный УСАВП

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

Пассажирский электровоз ЧС7

на всех этих участках поддерживаемая скорость должна иметь одну и ту же величину.

Проблема построения энергооптимальной траектории состоит в следующем. Для участка без ограничений скорости и с постоянным профилем можно рассчитать точки смены режимов теоретически. При введении же реального профиля и ограничений скорости теоретически задача не решается, а численные методы, которые предлагались в 80-х годах, приводят к очень большому времени вычислений из-за перебора значительного числа вариантов управления.

Учеными ВНИИЖТ был предложен метод оптимизации, позволяющий строить энергооптимальную траекторию движения за разумное время (не более минуты для участка длиной 200 км, имеющего 1000 элементов профиля, 20 ограничений скорости, и 80-вагонном составе). Этот метод оптимизации позволяет автоматически (без перебора) учесть профиль и все ограничения скорости, рассчитать начало предварительных выбегов перед спусками и другие режимы.

Очевидно, что для практической реализации энергооптимальной траектории необходимо соблюдать, в первую очередь, скоростной режим, а не режим управления контроллером машиниста, поскольку последний зависит от множества факторов, которые невозможно учесть заранее. В числе этих факторов напряжение контактной сети, количество вагонов в составе, метеоусловия, реальное сопротивление движению состава, зависящее от температуры окружающей среды, включение подвагонных генераторов, устройств освещения, отопления и др. Имея скоростную оптимальную траекторию в качестве базы, система автоведения должна включать в свой состав механизм реализации заданной скорости с помощью контроллера машиниста.

В отличие от электропоезда система управления пассажирского электровоза позволяет реализовывать режим поддержания заданной скорости либо скорости, близкой к заданной. Длинные перегоны предполагают наличие такого режима. В то же время тягово-скоростные характеристики электровоза постоянного тока имеют значительные области, для которых ходовые позиции контроллера отсутствуют. Поэтому необходим регулятор времени хода и скорости, позволяющий реализовывать энергооптимальную траекторию, соблюдая точки смены режимов, обеспечивающий в то же время минимизацию числа переключений контроллера и сохранение заданного отклонения от скорости стабилизации. Величина этого отклонения зависит от того, какие потери энергии на участке стабилизации скорости считаются допустимыми. При расчетных оценках дополнительный расход энергии принимается прямо пропорциональным квадрату отношения величины отклонения скорости к скорости стабилизации, а на практике допустимыми считаются отклонения в пределах 10%.

Регулятор, отрабатывающий участки стабилизации скорости, не может быть просто классическим ПИ- или ПИД-регулятором, реагирующим на фактический выход из заданной трубки по допустимому отклонению скорости. Это определено двумя основными причинами. Во-первых, необходимо выдержать точку окончания режима стабилизации по всем трём координатам

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

(путь, скорость, время), так как следующий наиболее вероятный режим — выбег, а отклонение в начале выбега по скорости на величину выше допустимой может привести к значительному изменению скорости в конце выбега. Во-вторых, регулятор, не учитывающий профиль, будет переключаться значительно чаще, чем регулятор, интегрально учитывающий профиль на участке стабилизации. Таким образом, становится объективно необходимым иметь регулятор, анализирующий весь участок поддержания скорости.

Система автоведения должна иметь механизм интеллектуального нагона, то есть учитывать требования минимизации дополнительного расхода энергии на нагон, что предполагает реализацию нагона не между двумя ближайшими (зонными) станциями, а на всем пути следования, если, конечно, это возможно (как правило, это зависит от разделения протяженных участков на диспетчерские зоны обслуживания).

В системе автоведения пассажирского электровоза речевой информатор выполняет функции, аналогичные функциям информатора электропоезда.

Кабина электровоза ЧС7 и примеры сообщений системы автоведения для машиниста

Грузовой электровоз, в отличие от уже упомянутых классов тягового подвижного состава, имеет ряд особенностей. Этот тип локомотивов может использоваться на предельной мощности, при этом на некоторых участках маршрута возможно снижение скорости состава даже при максимальном тяговом усилии. Число ходовых позиций контроллера невелико: от 15 на электровозах постоянного тока до 36 на электровозах переменного тока. Как и на пассажирских локомотивах, на электровозах постоянного тока есть значительные области на тяговой характеристике, для которых нет соответствующих ходовых позиций контроллера. Перегонное время хода зависит от веса состава.

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

Оборудование грузовых электровозов системами автоведения начнется с локомотивов серии ВЛ10

Часто применяется режим движения, требующий адаптации скорости движения к сигналам АЛСН (езда в потоке). Существуют серьезные ограничения на выбор режима управления локомотивом, связанные с предельно допустимыми усилиями в составе. Поэтому ускорение поезда, как правило, мало и не превышает 0,1 м/с^2.

Система автоведения грузового электровоза полностью включает в себя систему автоведения пассажирского электровоза, так как все задачи ведения пассажирского поезда необходимо решать и при управлении грузовым составом. Кроме того, можно выделить задачи, специфические для грузового автоведения, а именно:

- ограничение сил в составе на допустимом уровне в соответствии с планом и профилем пути, а также схемой формирования состава;
- формирование управляющих сигналов, обеспечивающих допустимые продольно-динамические силы в составе;
- управление локомотивом с максимальным использованием его тяговых возможностей.

Применение микропроцессорной системы автоведения для управления подачей песка в зависимости от профиля и плана пути, показателей проскальзывания колесных пар и погодных условий позволит обеспечить наиболее полное использование мощности локомотива при заданном уровне надежности тягового оборудования, резко сократить расход песка и засорение им балластной призмы.

В настоящее время во ВНИИЖТ создаются алгоритмы работы системы автоведения, позволяющие ограничивать продольно-динамические силы в составе на безопасном уровне. Все это позволяет сделать вывод о возможности создания полноценной системы автоведения грузового электровоза в самой ближайшей перспективе.

Аппаратное обеспечение систем автоматического ведения

Эксплутационные требования к электронике систем автоведения достаточно жесткие. Изделия для применения на подвижном составе входят в ту же группу, что и изделия для космоса и авиации, а некоторые требования, предъявляемые к железнодорожной аппаратуре, более жесткие, чем авиационные (например, вибро- и ударопрочность). Аппаратура системы автоведения сохраняет работоспособность в следующих условиях эксплуатации:

- диапазон рабочих температур от –40 до +55°С;
- диапазон температур хранения от –55 до +60°С;
- относительная влажность воздуха до 95% при +25°С без конденсации влаги;
- вибрация в диапазоне частот от 1 до 150 Гц при амплитуде виброускорения по вертикальной и горизонтальной осям до 1g;
- синусоидальная вибрация в диапазоне частот от 5 до 7 Гц при амплитуде виброперемещения до 5,0 мм, в диапазоне частот от 7 до 10 Гц при амплитуде виброперемещения до 2,5 мм и в диапазоне частот от 10 до 150 Гц при амплитуде виброускорения до 1g;
- одиночные удары с максимальным ускорением до 7,5g и длительностью 10-60 мс;
- диапазон входных питающих напряжений 36-72 В или 80-160 В.

При этом задача расчета оптимальной траектории требует следующей вычислительной мощности:

- процессор Pentium с тактовой частотой 166 Гц или выше;
- оперативная память не меньше 32 Мбайт;
- флэш-диск объемом не меньше 16 Мбайт.

Из периферии на процессорной плате должны быть 2 COM-порта и 1 EPP совместимый параллельный порт, порт для PS/2 клавиатуры. Желательно иметь на плате SVGA-адаптер, вход мыши и IDE- и FDD-интерфейсы. Для расширения процессорная плата должна иметь один из разъемов типа PC/104 либо ISA-8.

Вначале за основу была взята процессорная плата в формате PC/104 на базе микропроцессора GX компании National Semiconductor. Она соответствовала предъявленным требованиям, но имела два недостатка — достаточно высокое потребление (до 25 Вт) и, как следствие, принудительную вентиляцию процессора. Поэтому эта плата была использована лишь для создания опытной системы автоведения электровоза.

В конечном итоге мы остановились на процессорной плате CPU686 фирмы Fastwel, выполненной в формате MicroPC (Octagon Systems). Плата CPU686 выполнена на базе современного процессора GXLV (рис. 2), при этом ее энергопотребление снижено на 30%, в связи с чем не требуется система принудительного охлаждения компонентов. Укрупненно структура системы автоведения и ее связи с цепями управления локомотивом показаны на рис. 3.

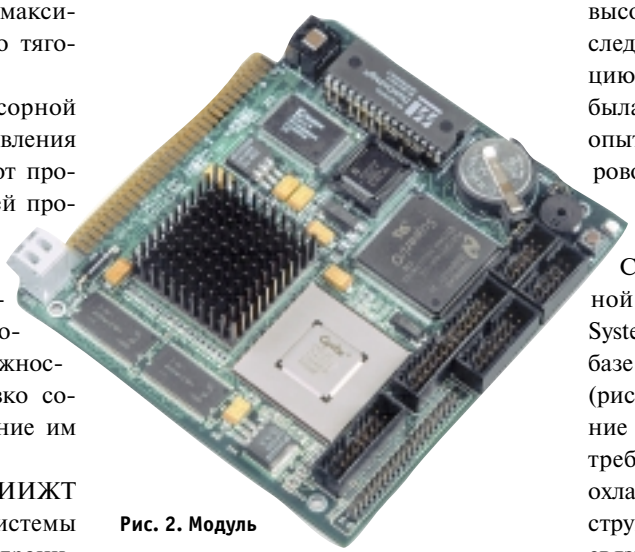


Рис. 2. Модуль центрального процессора CPU686 фирмы Fastwel

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

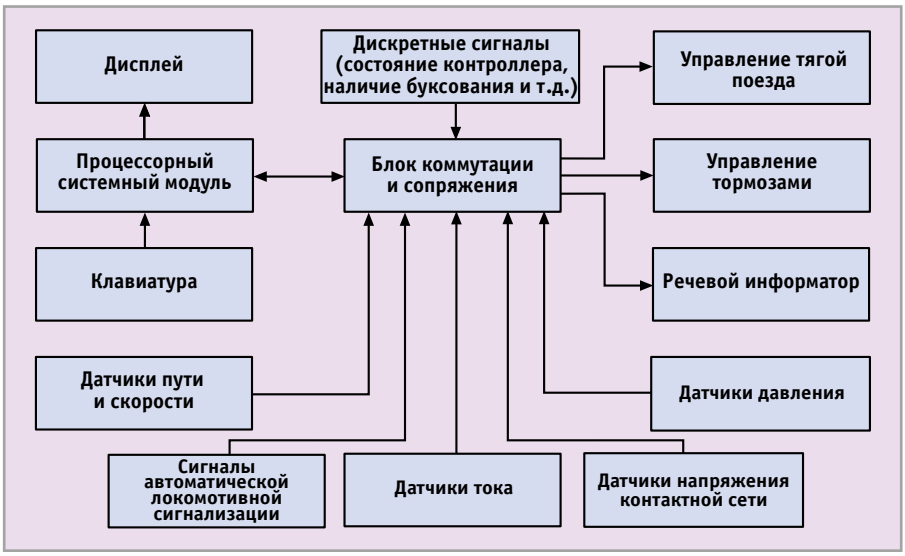


Рис. 3. Блок-схема системы автоведения локомотива

Программное обеспечение системы автоведения

Программы систем автоведения представляют собой программы реального времени, имеющие циклический или событийно-циклический характер. Это означает, что во всех программах имеется, как минимум, один цикл измерения-управления: опрос датчиков — обработка информации — её анализ — принятие управляющего решения —выдача команды на исполнительные элементы. Этот цикл может быть жестко разбит на более мелкие временные интервалы (такты) для создания временной сетки. Также все программные модули могут быть привязаны только к основному циклу. Обработка внешних событий типа изменения сигнала АЛСН может происходить либо в заданном месте цикла измерения-управления, либо асинхронно, сразу в момент возникновения события. В первом случае управляющая программа имеет циклическое построение, во втором — событийно-циклическое.

Циклические системы проще в проектировании и отладке, однако, если требуется мгновенная реакция на событие, то следует отдавать предпочтение событийно-циклическим системам. Для электроподвижного состава, как правило, время реакции до 1 секунды на любое возникающее событие не является критическим, поэтому допустимо строить чисто циклические программы.

Программное обеспечение системы автоведения электропоезда (САВПЭ) базируется на том, что все события в системе могут быть обработаны за один цикл измерения-управления. Это обусловлено малым объемом вычислений непосредственно на борту. Поэтому бортовая программа САВПЭ была написана без применения специальных программных средств реального времени. Она представляет собой программу под MS-DOS, перенесенную на бортовой вычислитель.

В то же время программа автоведения для более поздних модификаций систем автоведения пригородных поездов (УСАВП и УСАВП-Л), а также систем автоведения пассажирского (УСАВПП) и грузового (УСАВПГ) электровозов имеет ряд модулей, время работы которых значительно превышает один цикл измерения-управления и, более того, заранее не определено (рис. 4). К таким задачам относятся расчет оптимальной траектории и предварительный расчет позиций контроллера на участках стабилизации скорости. Организация работы программы при наличии ряда задач с различным временем вычислений и различными приоритетами требует специальных программных средств.

Такие средства предоставляются операционными системами реального времени, которые дают возможность организовать многозадачную среду на системном уровне, построить механизм определения и смены приоритетов, работать в жестком временном цикле, обмениваться сообщениями между различными задачами, иметь механизмы защиты системы от сбоев.

Известно, что ни MS-DOS, ни Windows любых версий системами реального времени не являются. Поэтому при создании системы автоведения электровоза ЧС7 встал вопрос о подборе операционной системы реального времени (ОС РВ).

ОС РВ должна была удовлетворять следующим критериям:

- малое время на перенос программы расчета оптимальной траектории движения, которая имеется в варианте библиотеки DLL под Win32;
- небольшое время на освоение собственно операционной системы;
- минимальные затраты на покупку операционной системы;
- минимальные затраты на лицензирование каждой копии операционной системы на борту.

Из применяемых операционных систем реального времени сегодня наиболее популярны QNX, VxWorks/Tornado, OS-9, Windows CE. QNX является одной из самых распространенных операционных систем реального времени и позволяет строить мощные сетевые системы управления. В то же время эта ОС имеет UNIX подобный интерфейс прикладного программирования, что вызывает определенные проблемы с переносом имеющейся программы оптимального расчета и ее тестированием. Кроме того, требуется значительное время для изучения собственно операционной системы. Стоимость базового пакета QNX составляет более десяти тысяч долларов, при этом необходимо платить за каждую копию операционной системы на борту каждого локомотива.

Такие же проблемы возникают и с использованием Tornado и OS-9. Они требуют переноса программы оптимизации траектории под новый компилятор, значительных средств на базовый набор операционной системы и платного лицензирования каждой копии. Что касается Windows CE, то эксперты не рекомендуют использовать ее сегодня в качестве операционной системы реального времени в ответственных применениях ввиду недостаточной надежности

Блок коммутации и сопряжения системы автоведения

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

Рис. 4. Структура управляющей программы пассажирского электровоза

ее работы. Кроме того, все указанные проблемы, кроме переноса программы оптимизации, присущи и ей.

В результате изучения рынка операционных систем реального времени было принято решение использовать RTOS-32 фирмы OnTime Informatik GmbH. Эта операционная система поддерживает базовые функции API Win-32, файловые системы FAT-16, FAT-32, включая поддержку флэш-дисков, а главное — обеспечивает корректное выполнение EXE- и DLL-модулей, построенных под Win32, без изменений. Кроме того, RTOS-32 обладает различными возможностями организации приоритетов задач, обмена сообщениями между задачами, обмена через почтовый ящик, жесткого тактирования, работы с аппаратными прерываниями и портами. При необходимости можно дополнить пакет графической библиотекой, поддерживающей интерфейс, похожий на принятый в Win32. Немаловажно и то, что стоимость этой операционной системы относительно низка, а дальнейшее лицензирование при тиражировании готовой системы на каждый локомотив не требуется. Надежность RTOS-32 доказана её применением в системах управления летательными аппаратами, в частности, аппарата Ratan.

Использование RTOS-32 позволило в короткий срок разработать так называемый программный каркас, то есть описать различные задания с их приоритетами и механизм взаимодействия задач, который является универсальным для пассажирского и грузового автоведения.

Заключение

Сегодня в стадии опытной эксплуатации находится система автоведения электровоза ЧС7, построенная на базе процессорного модуля Fastwel CPU686. В качестве операционной системы применена RTOS-32. Программа автоведения на борту производит расчет траектории движения, обеспечивающей минимизацию затрат энергии на тягу. Кроме того, системой решается задача подбора позиций контроллера машиниста, обеспечивающих существенное приближение к оптимальной траектории при минимизации числа переключений.

В настоящее время такими системами оборудовано более 20 локомотивов серии ЧС7, курсирующих с одной-двумя остановками или в безостановочном графике с пассажирскими поездами по участкам Москва-Вязьма (белорусское направление, 243 км), Москва-Сухиничи (киевское направление, 261 км).

Внедрение систем автоведения электропоезда изначально предполагало снижение расхода электроэнергии оборудованными составами в среднем на 5%. Реально экономия электроэнергии в разных депо составила от 3 до 18% от существующих норм расхода, что подтвердилось специально проведенными замерами в контрольных поездках. Сегодня свыше 1200 пригородных составов оборудованы различными модификациями систем автоведения. По предварительным оценкам, эксплуатация электропоездов с такими системами на борту только за 2000 год сэкономит электроэнергии на 237 млн. руб при действующих тарифах.

Вместе с тем, помимо экономии электроэнергии, есть целый ряд косвенных преимуществ применения таких систем. Например, более точное выполнение графика движения по сравнению с ручным управлением увеличивает пропускную способность участка на 10-12%, а число внеплановых торможений снижается на 10-15%.

Наряду с этим имеются косвенные преимущества, которые невозможно оценить рублевым эквивалентом. Система позволяет быстро приблизить уровень управления поездом малоопытного машиниста к уровню квалифицированного специалиста и обучить его правильному выбору режимов ведения поезда. Таким образом, система выполняет функции тренажера для локомотивной бригады, снижая затраты на обучение. Наконец, главное — система позволяет повысить безопасность движения за счет освобождения машиниста от ряда рутинных операций по ведению поезда. ●

Авторы — сотрудники отраслевого Центра внедрения «Желдорконсалтинг» и ВНИИ железнодорожного транспорта
Телефоны: (095) 216-6577, 287-9429.

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru