

Бортовая информационно-вычислительная система для трамвайного вагона

Игорь Савин, Ольга Бортникова

В статье описывается информационно-вычислительная система, обеспечивающая сбор данных от бортовых измерительных устройств, установленных в модернизированном трамвайном вагоне 71-605, обработку этих данных, отображение их в виде виртуальной панели приборов и накопление в файле.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение стоимости энергоносителей и необходимость повышения качества обслуживания пассажиров заставляет трамвайные хозяйства России модернизировать подвижной состав прежних лет выпуска, а также совершенствовать методики вождения и сервиса трамвайных поездов. Основным типом подвижного состава трамвайных систем России на сегодняшний день является вагон типа 71-605. Вагон был разработан в конце 60-х годов и практически без изменений выпускался до 1992 года. Для пуска тяговых двигателей в этом вагоне используется реостатно-контакторная система управления, характеризующаяся тем, что для регулирования тока в обмотках двигателей последовательно с ними включаются реостаты, на которых в процессе разгона вагона тратится от 40 до 60% электрической энергии, потребляемой от контактной сети. Второй причиной неэффективного расхода электрической энергии вагоном является отсутствие в кабине водителя приборов, показывающих удельный расход электроэнергии. И наконец, методики вождения трамвайных вагонов, применяемые до сих пор, были составлены ещё в начале 60-х годов. Приведённые в них рекомендации для водителей по выбору режимов работы тяговых двигателей на сегодняшний день представляются специалистам весьма спорными.

Основными путями решения указанных проблем являются замена реостатно-контакторной системы управления тяговыми двигателями на автоматизи-

рованные импульсные регуляторы, выполненные на IGBT-транзисторах, а также дооснащение вагонов приборами, показывающими мгновенное значение удельного расхода электрической энергии и другие параметры работы тяговых двигателей. Помимо этого необходимым является накопление информации с бортовых измерительных устройств и её последующий анализ с целью выработки новых рекомендаций по вождению вагона.

В настоящей статье описывается бортовая информационно-вычислительная система, обеспечивающая в режиме реального времени сбор информации с датчиков, установленных в вагоне, обработку этой информации, автоматическую запись её в журнал, отображение для водителя наиболее важных параметров работы вагона, а также выполнение функции информирования пассажиров о маршруте следования и остановках.

ТРАМВАЙНЫЙ ВАГОН КАК ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЙ

Начиная с 60-х годов XX века получили распространение четырёхосные трамвайные вагоны с косвенной системой управления током через тяговые двигатели. При косвенном управлении водитель с помощью контроллера не осуществляет коммутацию силовых цепей, а отдаёт команду управляющему автомату (релейной схеме при реостатно-контакторной системе управления, электронному регулятору при аналоговой импульсной системе управления, цифровому автомату при

цифровой импульсной системе управления).

В зависимости от позиции контроллера водителя управляющий автомат либо подключает двигатели к контактной сети и регулирует ток в их обмотках в режиме разгона, либо отключает двигатели в режиме выбега, либо переводит двигатели в режим генератора при торможении вагона, регулируя ток в обмотках. Так осуществляется регулирование скорости движения вагона.

У вагона 71-605 четыре тяговых двигателя ДК-259Д последовательного возбуждения с дополнительными шунтовыми обмотками подмагничивания главных полюсов. Тяговые двигатели включены последовательно по два двигателя в одной группе. Обе группы тяговых двигателей включены параллельно.

Наиболее важной информацией, с точки зрения оптимизации работы тяговых двигателей и всего трамвайного вагона, являются значения напряжения контактной сети, тока в силовых обмотках двигателей, напряжения питания обмоток подмагничивания, скорости вращения якоря (скорости движения вагона). На основании этих данных могут быть рассчитаны значения мощности, потребляемой двигателями, расхода электрической энергии, удельного расхода электрической энергии (в киловатт-часах на 1 км) и ряда вспомогательных величин.

На модернизированном в Бийском трамвайном управлении вагоне 71-605 реостатно-контакторная система управления заменена электронным тяговым

преобразователем производства НПО «Константа» (г. Магнитогорск). Основу тягового преобразователя составляет трёхканальный широтно-импульсный регулятор, выполненный на базе силовых модулей IGBT, который обеспечивает пуск двигателей, регулирование тока в якоре и обмотках возбуждения, регулирование подмагничивания главных полюсов, перевод двигателей в режим генератора с отдачей энергии как в тормозные реостаты, так и в контактную сеть (рекуперация). Кроме регулятора в состав тягового преобразователя входят микропроцессорный модуль управления, устройство защиты от перенапряжений и узел управления электромеханическим тормозом вагона.

Тяговый преобразователь имеет цифровой выход, по которому передаётся диагностическая информация: действующее значение тока в якоре тяговых двигателей, напряжение на служебном конденсаторе, коэффициенты заполнения широтно-импульсных модуляторов регулятора (управление током в якоре двигателей при разгоне и торможении, управление возбуждением модулятора возбуждения двигателей), позиция контроллера водителя, температура внутри регулятора, напряжение аккумуляторной батареи. Информация передаётся с использованием интерфейса RS-232 без сигналов CTS, RTS, DTR в виде непрерывного потока данных. Поток данных разбит на кадры по 16 байт. Каждый кадр несёт информацию о мгновенных значениях параметров. Маркер начала и конца кадра нет, что затрудняет обработку информации. Получаемой от преобразователя информации недостаточно для анализа режима работы двигателей. Необходимо измерять напряжение контактной сети и скорость движения вагона.

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ

Как показал анализ, на рынке России и СНГ не представлены информационно-вычислительные системы для трамвайных вагонов, способные одновременно выполнять функции информирования водителя о режимах работы двигателей и автоматически протоколировать эти параметры с дискретностью до 1 секунды.

НПП «Резонанс» выпускает счётчик-регистратор электроэнергии РЭН500.3 для городского электрического транспорта, который уже нашёл широкое

применение. Однако данный счётчик позволяет анализировать лишь общий расход электрической энергии без детализации по времени.

ЗАО «Канопус» (г. Златоуст), основной поставщик тягового оборудования для Усть-Катавского вагоностроительного завода, комплектует блоки управления тяговым приводом информационными модулями. Но эти модули протоколируют только ошибки и усреднённые за смену параметры.

Петербургский трамвайно-механический завод комплектует новые вагоны бортовой системой, обладающей широкими возможностями протоколирования данных, но её поставка отдельно от вагона невозможна.

Эти обстоятельства потребовали разработки оригинальной бортовой информационно-вычислительной системы для модернизированного вагона 71-605.

Бортовая информационно-вычислительная система была разработана сотрудниками кафедры «Методы и средства измерения и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» при активном участии специалистов производственно-технического отдела и депю МУП «Трамвайное управление» г. Бийска.

В качестве центрального устройства системы выбран панельный промышленный компьютер PPC-103T производства фирмы Advantech. Он выполнен в виде функционально завершённого моноблока, включающего в себя материнскую плату с интегрированной периферией, жидкокристаллический монитор с сенсорным экраном и блок питания. Компьютер рассчитан на работу в диапазоне температур от -25 до $+50^{\circ}\text{C}$, в условиях вибраций, повышенной влажности и запылённости воздуха. Внешний вид панельного компьютера PPC-103T показан на рис. 1.

Вычислительные возможности PPC-103T определяются центральным процессором Intel Celeron 850 МГц, ОЗУ объёмом 128 Мбайт, наличием жёсткого диска объёмом 100 Мбайт. Тип экрана жидкокристаллического дисплея — TFT, его разрешающая способность — 800×600 точек, размер диагонали — 10,4 дюйма. Компьютер имеет один порт Ethernet (100 Мбит/с) и 2 порта USB 1.1.

Блок питания компьютера выполнен по обратногоходовой схеме, что снижает



Рис. 1. Внешний вид панельного компьютера Advantech PPC-103T

уровень помех, проникающих из сети на материнскую плату. Питание компьютера осуществляется от инвертора, преобразующего напряжение 24 В бортовой сети в 220 В. Наличие инвертора ещё сильнее снижает уровень помех, проникающих в компьютер.

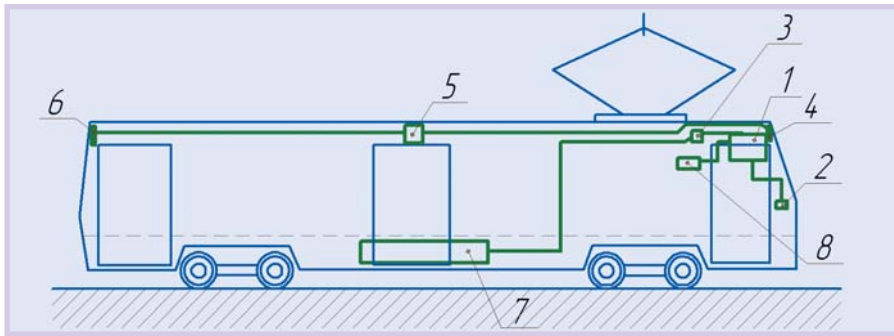
Для получения достоверных данных от регулятора изготовлен блок гальванической развязки, наличие которого предотвращает попадание помех на вход порта RS-232.

Для измерения напряжения контактной сети и скорости движения вагона изготовлен блок УСО. Это собственная оригинальная разработка, выполненная на основе однокристалльного микроконтроллера Atmega 16 фирмы Atmel. Измерительная часть блока УСО питается от бортовой сети 24 В. Выход блока имеет гальваническую развязку. Передача данных от блока УСО к компьютеру производится через интерфейс RS-232 в одностороннем режиме в виде непрерывного покадрового потока данных. Каждый кадр несёт информацию о мгновенных значениях параметров, измеряемых УСО. Все кадры имеют 4-байтовый маркер начала.

В блоке УСО предусмотрено 6 аналоговых входов измерения напряжения ($0...1$ В), 6 цифровых входов (логический 0 — менее 5 В, логическая 1 — $10...30$ В).

Для измерения скорости движения в вагоне установлен датчик вращения колёсной пары, использующий эффект Холла. Датчик подключён к счётному входу УСО.

Схема расположения оборудования внутри трамвайного вагона представлена на рис. 2. Компьютер (1) установлен в кабине водителя, блок УСО (2) — в пульте. Устройство сопряжения с тяговым преобразователем (3), имеющее схему гальванической развязки и преобразователь уровней, расположено в шкафу электрооборудования за спиной



Условные обозначения: 1 — компьютер; 2 — блок УСО; 3 — устройство сопряжения с тяговым преобразователем; 4 — лобовой маршрутный указатель; 5 — боковой маршрутный указатель; 6 — задний маршрутный указатель; 7 — тяговый преобразователь; 8 — инвертор (питание компьютера).

Рис. 2. Расположение оборудования внутри трамвайного вагона

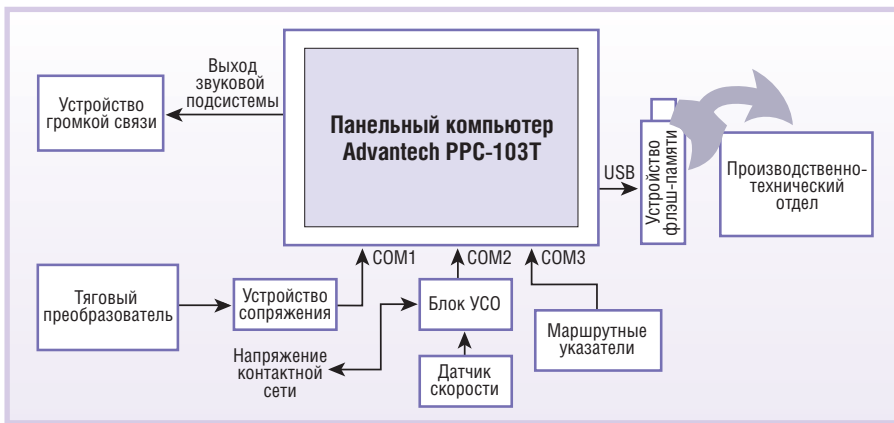


Рис. 3. Блок-схема бортовой информационно-вычислительной системы

водителя. Маршрутные указатели (4 — лобовой, 5 — боковой, 6 — задний) находятся в соответствующих частях вагона. Тяговый преобразователь (7) установлен под полом вагона. Инвертор (8), обеспечивающий питание компьютера, расположен в кабине водителя.

Блок-схема бортовой информационно-вычислительной системы представлена на рис. 3.

Разработанное программное обеспечение выполняет следующие функции:

- получение потока данных от регулятора, выделение в потоке данных начала кадра, вычисление мгновенных значений параметров;
- получение потока данных от УСО, разбиение потока на кадры, вычис-

ление мгновенных значений параметров;

- расчёт на основании мгновенных значений параметров их действующих значений, вычисление мощности тяговых двигателей и удельного расхода электрической энергии;
- вычисление накопительных параметров (пробега, общего расхода электрической энергии, выделяемой двигателями при торможении);

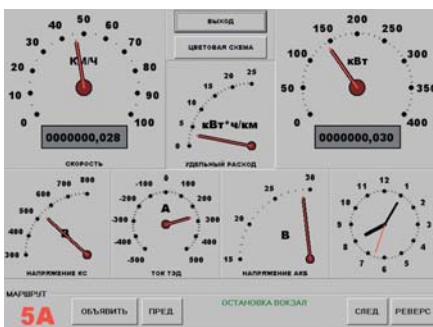


Рис. 4. Виртуальная панель приборов, отображаемая на экране компьютера

- индцирование мгновенных значений параметров на экране (скорость, пробег, мощность, общий расход и мгновенный расход электрической энергии, напряжение контактной сети, ток тяговых двигателей, напряжение бортовой сети, время);
- ежесекундная запись в файл журнала средних (за последнюю секунду) значений измеряемых и вычисляемых ненакопительных параметров, а также актуальных на момент записи значений накопительных параметров;
- воспроизведение аудиофрагментов информирования пассажиров об остановках;
- управление внешними электронными маршрутными указателями.

При движении вагона водитель наблюдает за виртуальными приборами, отображаемыми на экране компьютера (рис. 4). Для настройки режимов работы приборов, выбора маршрута движения вагона и информирования пассажиров об остановках водитель пользуется сенсорным экраном.

Журналы, ведущиеся системой в автоматическом режиме, представляют собой текстовые файлы, хранимые на жёстком диске компьютера. На каждый новый день заводится один файл. С использованием сменных носителей журналы поступают в производственно-технический отдел, где анализируются с использованием специального программного обеспечения.

Основные технические характеристики системы представлены в табл. 1.

В журнал записываются следующие параметры:

- напряжение контактной сети;
- ток в цепи тяговых двигателей;

Основные технические характеристики системы

Таблица 1

Техническая характеристика	Значение
Диапазон измерения напряжения контактной сети, В	300–800
Диапазон измерения тока в обмотках тяговых двигателей, А	0–500 в режимах тяги и торможения
Относительная погрешность измерения напряжения и тока, %	Не более 4
Диапазон измерения скорости движения вагона, км/ч	2–100
Относительная погрешность измерения скорости движения вагона, %	Не более 2
Дискретность измерения пробега вагона, м	1
Относительная погрешность измерения пробега вагона при условии ввода достоверных калибровочных данных о диаметре колес, %	Не более 1
Диапазон измерения мощности, потребляемой тяговыми двигателями в режиме тяги, кВт	0–400
Относительная погрешность измерения мощности, потребляемой двигателями в режиме тяги, %	Не более 5
Относительная погрешность измерения расхода электрической энергии, %	Не более 5
Дискретность измерения расхода электрической энергии, кВт·ч	Не более 0,01
Частота обновления информации на виртуальной панели приборов	4 раза в секунду
Частота записи параметров в журнал	1 раз в секунду

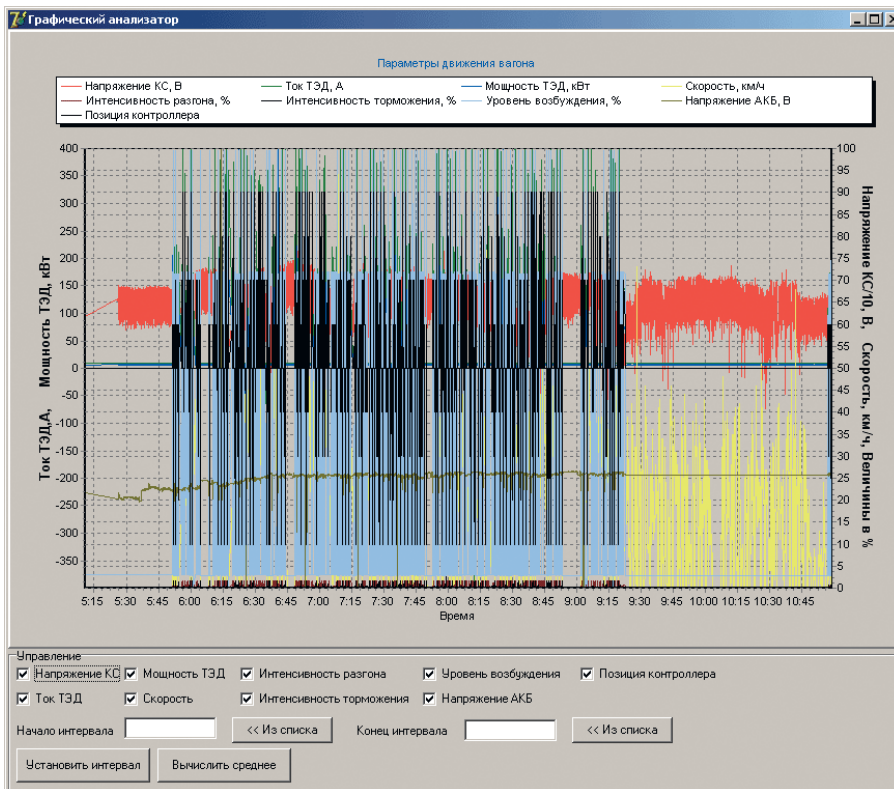


Рис. 5. Вид главного окна программы анализа журналов

- мощность, потребляемая/отдаваемая тяговыми двигателями;
- энергия, потреблённая вагоном с начала эксплуатации системы;
- энергия, потреблённая вагоном с начала смены;
- напряжение аккумуляторной батареи;
- температура в салоне вагона и на улице (в настоящее время не используется);
- скорость движения вагона;
- пробег вагона с начала эксплуатации системы;
- пробег вагона с начала смены;
- коэффициент заполнения, характеризующий ШИМ-регулирование тока при ускорении и при торможении;
- коэффициент заполнения, характеризующий ШИМ-регулирование возбуждения двигателей;
- температура внутри корпуса регулятора.

На рис. 5 представлен вид главного окна программы анализа журналов.

Программа анализа журналов позволяет просматривать в виде временных диаграмм значения контролируемых параметров за произвольный промежуток времени, вычислять средние значения параметров за выбранный промежуток времени.

Внешний вид рабочего места водителя трамвая с установленным компьютером бортовой информационно-вычислительной системы показан на рис. 6.



Рис. 6. Рабочее место водителя трамвая с установленным компьютером бортовой информационно-вычислительной системы

времени с возможностью дискретизации до 1 секунды.

Система находится в опытной эксплуатации с 18 марта 2008 года.

В настоящее время ведётся монтаж аналоговой системы для трамвайного вагона 71-605, оснащённого реостатно-контакторной системой управления. Планируемый срок выхода этого вагона на линию — начало августа 2008 года. Сравнение полученных результатов позволит оценить экономическую эффективность замены реостатно-контакторной системы управления на импульсную. ●

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная и установленная в трамвайном вагоне бортовая информационно-вычислительная система позволила обеспечить водителя оперативной информацией о режиме движения вагона в реальном масштабе времени, а производственно-технический отдел трамвайного управления — накопительной информацией о работе вагона в течение длительного периода