

Многофункциональная микропроцессорная система управления тепловозом

Юрий Бабков, Олег Котов, Алексей Литвинов, Дмитрий Сергеев, Павел Чудаков

В статье рассказывается о микропроцессорной системе управления модернизированного тепловоза 2ТЭ116КМ. Система предназначена для управления и регулирования режимов работы основного и вспомогательного оборудования двухсекционных тепловозов, выполнения функции поосного регулирования касательной силы тяги, а также функций бортового диагностического устройства.



Рис. 1. Внешний вид тепловоза 2ТЭ116КМ-1135

Основная часть тепловозного парка отечественных железных дорог состоит из локомотивов, разработанных более тридцати лет тому назад и не удовлетворяющих современному уровню развития локомотивостроения. На сегодняшний день самым распространённым видом передачи мощности от дизеля к колёсным парам является электрическая передача, управление которой в подавляющем большинстве локомотивов выполнено с использованием устаревшей релейно-контактной элементной базы.

Многочисленные аппараты и агрегаты, установленные на тепловозах, подчинены единому назначению — обеспечению перевозок с наиболее эффективным использованием свободной мощности дизеля при всех скоростях движения и изменяющихся условиях сцепления в контакте колесо-рельс. Для обеспечения требований, предъявляемым к оборудованию современных

тепловозов, специалистами ФГУП ВНИКТИ МПС России в 2003 году была разработана и изготовлена микропроцессорная система управления, регулирования и диагностики (МПСУ-ТП). Система предназначена для управления и регулирования режимами работы основного и вспомогательного оборудования двухсекционных тепловозов, выполнения функции поосного регулирования касательной силы тяги, а также функций бортового диагностического устройства.

Микропроцессорная система была установлена на модернизированном



Рис. 2. Устройство обработки информации

тепловозе 2ТЭ116КМ-1135 мощностью 2×3600 л.с. (рис. 1).

МПСУ-ТП состоит из следующих конструктивно законченных функциональных частей:

- устройства обработки информации (УОИ) (рис. 2);
- силового шестиканального управляемого выпрямительного модуля М-ТПП-3600 У2 (УВМ) (рис. 3);
- дисплейного модуля (ДМ) Gercom C820 (Германия);
- измерителя температурного (ИТ);
- двух вольтодобавочных устройств (ВДУ);
- двух блоков питания преобразователей частоты (БППЧ);
- блока включателей тиристорного управляемого выпрямителя возбуждения (БВТ УВВ);
- контроллера машиниста (КМ) Lekov 1 KRД 40 (Чехия);
- комплекта датчиков и преобразователей.

Также на тепловоз устанавливается электронный регулятор частоты вращения коленчатого вала дизеля, связь которого с устройством обработки информации МПСУ-ТП осуществляется по последовательному каналу.

Дисплейный модуль и контроллер машиниста располагаются на пульте управления (рис. 4).

Устройство и работа МПСУ-ТП

Структурная схема электрооборудования тепловоза 2ТЭ116КМ приведена на рис. 5.

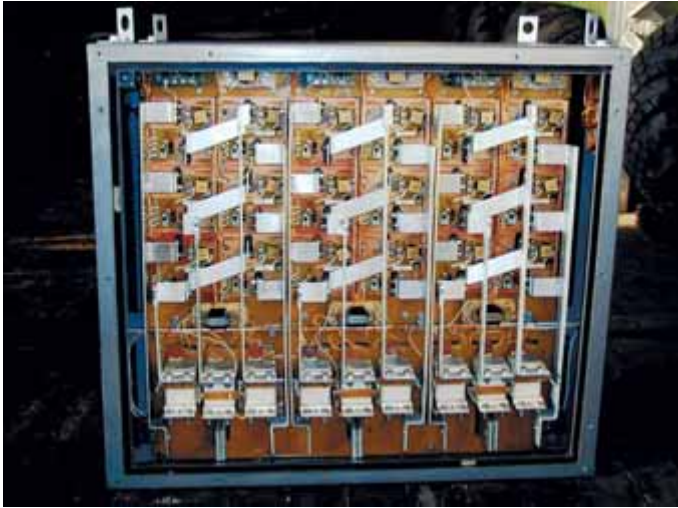


Рис. 3. Шестиканальный управляемый выпрямительный модуль (УВМ)



Рис. 4. Пульт машиниста

В УОИ поступает информация от датчиков тока, напряжения, давления, частоты вращения, измерителя температуры, от УОИ второй секции, электронного регулятора частоты вращения коленчатого вала дизеля, контроллера машиниста и дисплейного модуля, а также информация о состоянии реле, контакторов, блокировок.

Поступающая в УОИ информация обрабатывается микропроцессорными средствами, и вырабатываются управляющие команды всей коммутационной аппаратуре (контакторам, реле, электропневматическим вентилям), полупроводниковым преобразователям (управляемому выпрямителю возбуждения и шестиканальному тяговому выпрямителю М-ТПП-3600), электронному регулятору частоты вращения коленчатого вала дизеля, даются соответствующие команды и сигналы в дисплейный модуль (ДМ) и УОИ второй секции.

Питание МПСУ-ТП производится от бортовой сети 110 В постоянного тока через два вольтодобавочных устройства, обеспечивающих стабильность напряжения питания даже во время запуска дизеля при глубокой просадке напряжения бортовой сети.

Обработка информации и выработка соответствующих команд и сигналов в УОИ производится согласно разработанным алгоритмам управления, регулирования и диагностики. Обмен информацией УОИ с ИТ, электронным регулятором частоты вращения коленчатого вала дизеля и УОИ второй секции последовательный, асинхронный и реализован через «токовые петли», обмен УОИ с ДМ — по интерфейсу RS-485.

Для обеспечения работы тепловоза система МПСУ-ТП выполняет следующие основные функции:

- управление пуском, остановом дизеля и осуществление его защит;
- управление электрической передачей в режимах тяги и электродинамического торможения;
- задание частоты вращения вала дизеля;
- регулирование температуры теплоносителей дизеля в автоматическом и ручном режимах;
- обеспечение защиты от буксования и юза;
- управление электроприводом тормозного компрессора;
- управление автопрогревом дизеля в холодное время года;
- диагностика основного и вспомогательного оборудования тепловоза;
- отображение на модуле дисплейном сообщений о неисправностях оборудования и отклонении параметров от нормы;
- отображение на дисплейном модуле параметров основного и вспомогательного оборудования.

Назначение, состав, устройство и работа УОИ

Для реализации алгоритмов управления системами тепловоза УОИ обеспечивает:

- выдачу двухпозиционных сигналов по 48 каналам с параметрами коммутации цепей: напряжение 110 В, ток нагрузки 2 А, нагрузка активно-индуктивная, схема включения ключей «с общим минусом»;
- приём двухпозиционных сигналов по 96 каналам;
- измерение частотных сигналов по 12 каналам;

- приём аналоговых сигналов по 64 каналам;
- питание датчиков и преобразователей.

Структурная схема УОИ приведена на рис. 6.

Конструктивно УОИ представляет собой металлический шкаф (стойку) с двумя дверцами (рис. 2). Внутри стойки в трех крейтах Schroff установлены блоки. Блоки могут перемещаться по направляющим и вставляются в 64-контактные разъёмы типа 612С DIN 41612, укрепленные на задней части крейтов.

В схему тепловоза УОИ включается разъёмами типа 2РМД и DB9, расположенными в нижней части стойки.

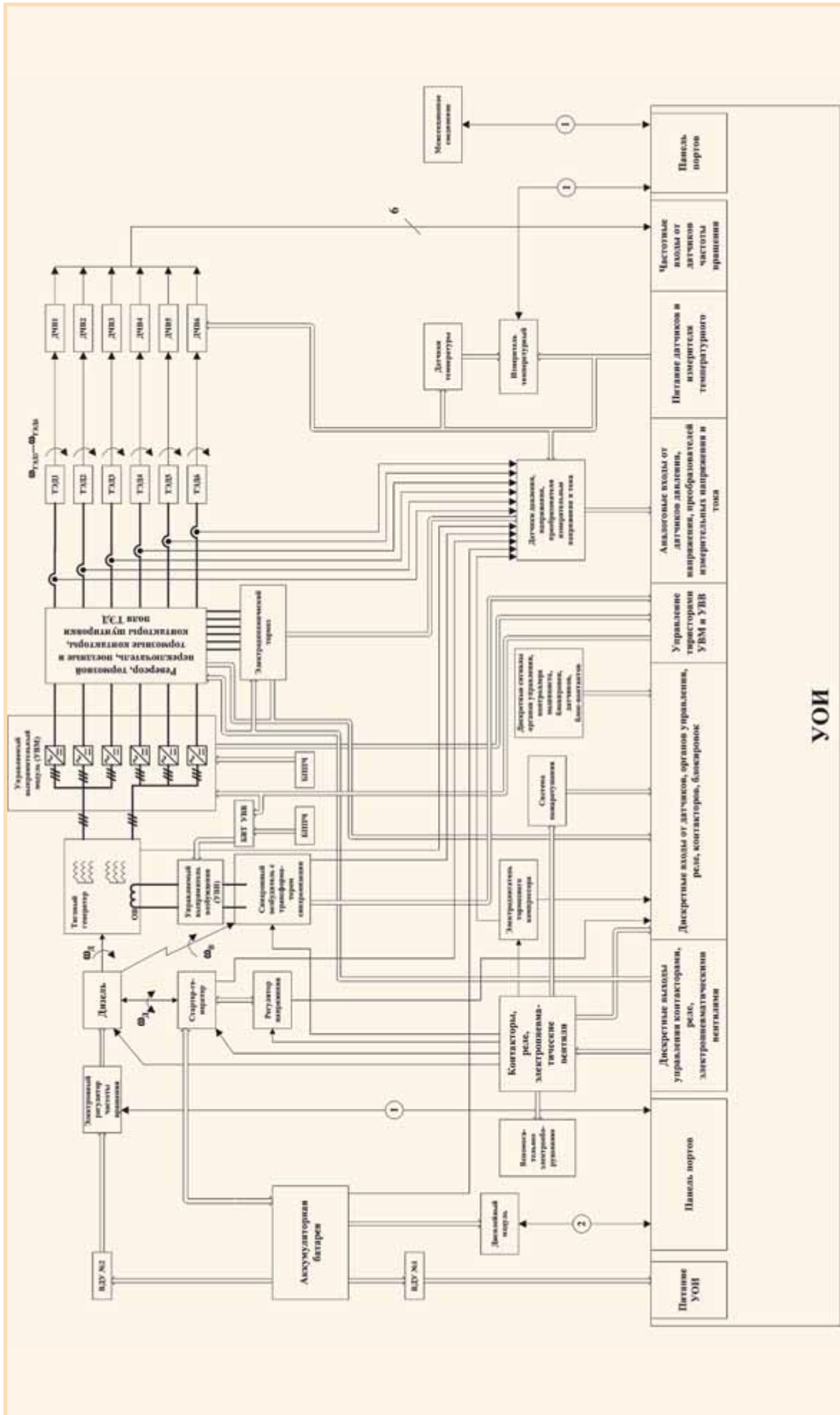
Стойка оборудована нагревателем и вентиляторами для регулирования температурного режима. Измерение температуры производится с помощью измерителя температурного (ИТ), входящего в состав системы. Внутри стойки поддерживается температура от +5 до +60°С. Регулирование температуры осуществляется включением/выключением нагревателя ключом из УОИ.

Блок компьютера (БК) реализован на базе одноплатного компьютера PC-680 Octagon Systems и предназначен для реализации алгоритмов работы МПСУ-ТП (рис. 7).

В качестве накопителя используется флэш-диск DiskOnChip MD2202-D64-X фирмы M-Systems.

Системное программное обеспечение, установленное в БК, выполняет следующие операции:

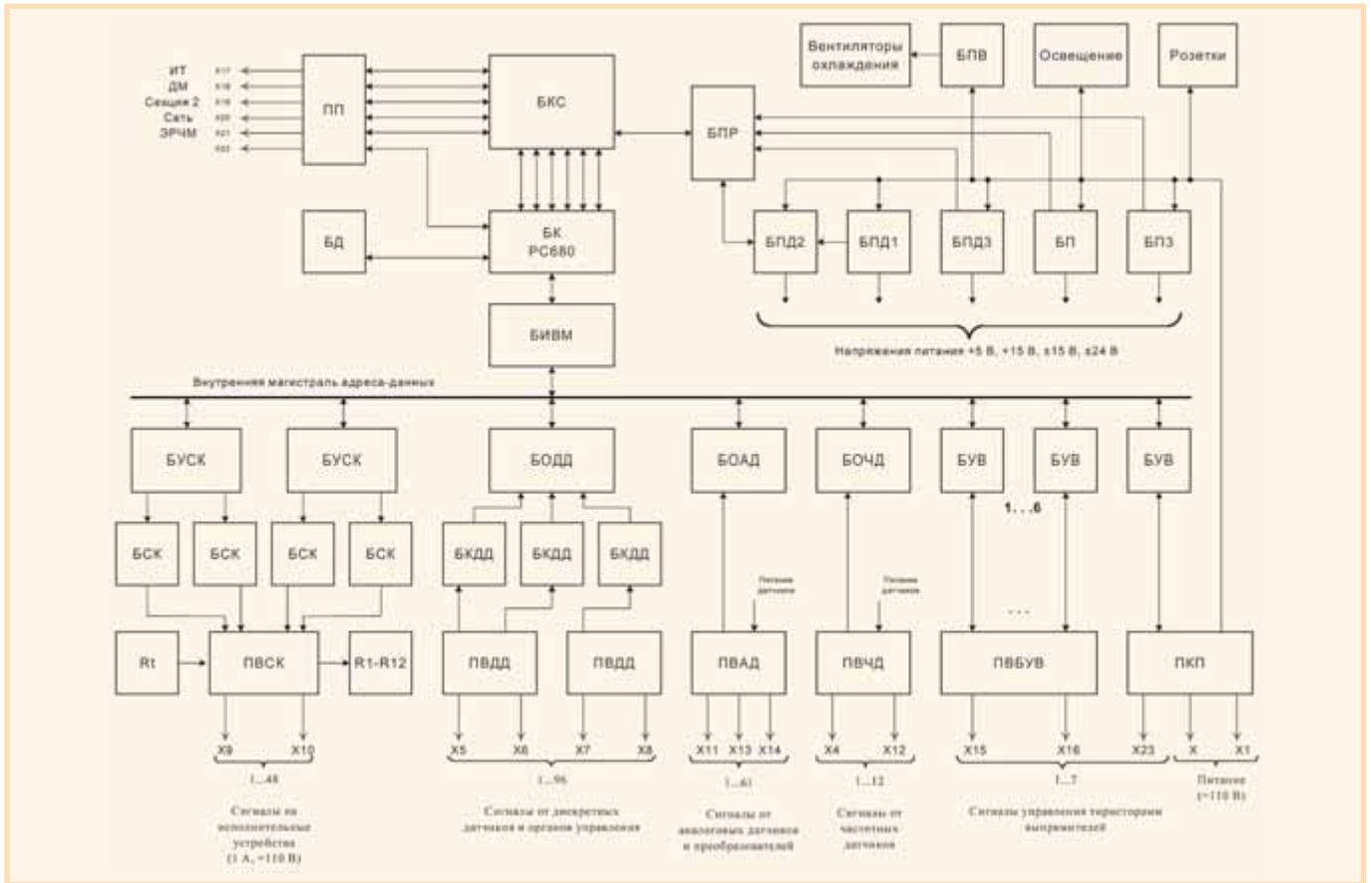
- начальный пуск микропроцессорной системы управления (МПСУ-ТП);
- запуск прикладного программного обеспечения в течение определен-



Условные обозначения:
 ВДУ — вольтодобавочные устройства;
 БВТ УВВ — блок включателей тиристоров управляемого выпрямителя возбуждения;
 БППЧ — блоки питания преобразователей частоты;
 ТЭД — тяговые электродвигатели;

Рис. 5. Структурная схема электрооборудования тепловоза 2ТЭ116КМ

Условные обозначения:
 ДЧВ — датчики частоты вращения колесных пар;
 УОИ — устройство обработки информации;
 1 — последовательные каналы связи «токовая петля»;
 2 — последовательный канал связи RS-485.



Условные обозначения:

- ПП — панель портов;
- БКС — блок каналов связи;
- БПР — блок контроля источников питания;
- БПВ — блок питания вентиляторов охлаждения;
- БД — блок дисковода;
- БК — блок компьютера PC-680;
- БПД1, БПД2, БПД3 — блоки питания датчиков;
- БП, БПЗ — блоки питания системы;
- БИВМ — блок интерфейса внутренней магистрали;
- БУСК — блоки управления силовыми ключами;
- БОДД — блок обработки дискретных данных;
- БОАД — блок обработки аналоговых данных;
- БОЧД — блок обработки частотных данных;
- БУВ — блоки управления выпрямителями;
- БСК — блоки силовых ключей;

- БКДД — блоки коммутации дискретных данных;
- Rt — датчик температуры внутри УОИ;
- ПВСК — плата выходная силовых ключей;
- R1...R12 — резисторы для обогрева УОИ;
- ПВДД — плата входная дискретных данных;
- ПВАД — плата входная аналоговых данных;
- ПВЧД — плата входная частотных данных;
- ПВБУВ — плата выходная блоков управления выпрямителями;
- ПКП — плата коммутации питания;
- ИТ — измеритель температуры;
- ДМ — дисплейный модуль;
- Секция 2 — УОИ второй секции тепловоза;
- Сеть — канал связи по сети Ethernet с УОИ второй секции;
- ЭРЧМ — электронный регулятор частоты вращения коленвала дизеля;
- X — обозначения внешних разъемов.

Рис. 6. Структурная схема устройства обработки информации

ных алгоритмами управления интервалов времени;

- тестирование аппаратных средств УОИ и МПСУ-ТП;
- сбор и обработку аналоговых, дискретных и частотных входных сигналов, поступающих от систем тепловоза;
- выдачу сигналов управления в системы тепловоза в зависимости от режимов его работы;
- обмен информацией с дисплейным модулем, измерителем температурным, электронным регулятором дизеля и УОИ второй секции.

БУСК, БОДД, БОАД, БОЧД, БУВ управляются сигналами внутренней магистрали, которые вырабатывает

БИВМ. Связь БК с БИВМ и внутренней магистралью осуществляется через каналы дискретного ввода-вывода компьютера PC-680.

БИВМ обеспечивает гальваническую развязку процессора от остального оборудования УОИ и выработку сигналов внутренней магистрали:

- двунаправленной восьмиразрядной шины данных;
- восьмиразрядной шины адреса;
- шины управления.

Для каждого блока на внутренней магистрали зарезервирован свой оригинальный адрес, который распознается дешифратором, расположенным на



Рис. 7. Блок компьютера PC-680 Octagon Systems

этом блоке. Все обращения по внутренней магистрали обязательно сопровождаются адресом.

БУСК может управлять двумя БСК. Блок принимает с внутренней магистрали информацию о состоянии ключей, хранит её в регистрах и выдает в БСК. Блок управляет 24 ключами. В данной модификации УОИ два БУСК. Выходы регистров БУСК управляют силовыми ключами БСК. Каждый БСК имеет 12 выходных каналов, которые через ПВСК подаются в схему тепловоза. ПВСК содержит резистивно-диодные цепи защиты транзисторов БСК от перенапряжения.

БОДД преобразует двухпозиционные сигналы с активным уровнем напряжения $+110\text{ В } \begin{smallmatrix} +20\% \\ -30\% \end{smallmatrix}$ в гальванически развязанные сигналы ТТЛ и осуществляет выдачу информации по запросу через внутреннюю магистраль в БК. БОДД содержит внутренний микроконтроллер AT89C52, назначение которого — последовательный опрос каналов дискретных входов БКДД, считывание и фильтрация информации дискретных входов, хранение этой информации во внутренней памяти микроконтроллера и выдача этой инфор-



Рис. 8. Блоки питания УОИ

мации по команде БК на внутреннюю магистраль УОИ.

БОАД принимает 61 аналоговый сигнал с датчиков и выдает информацию по запросу на внутреннюю магистраль. Блок имеет реперные источники положительного, отрицательного и нулевого напряжения для диагностики исправности блока. Скорость преобразования АЦП — 1,5 мкс, основная погрешность — не более $\pm 1\%$.

БОЧД предназначен для приёма сигналов с амплитудой от 3 до 7 В, током 5-15 мА и частотой 0,01...4000 Гц по

12 каналам, одно измерение за период частоты, с основной погрешностью не выше $\pm 0,1\%$. БОЧД содержит 2 микроконтроллера P89C51RD2, которые осуществляют измерение и фильтрацию 6 частотных каналов каждый. Измеренные значения периодов хранятся во внутренней памяти микроконтроллеров P89C51RD2 и выдаются по запросу на внутреннюю магистраль. ПВЧД предназначена для преобразования сигналов, принимаемых с частотных датчиков, в уровни сигналов, необходимые для функционирования БОЧД и передачи питающих напряжений датчикам, преобразователям и измерителям МПСУ-ТП.

Имеется семь БУВ, которые формируют синхронизированную последовательность сигналов управления тиристорами УВМ и УВВ, шесть из которых управляют тиристорами УВМ, один тиристорами УВВ. Каждый БУВ содержит внутренний микроконтроллер AT89C52, назначение которого — приём информации о режиме работы и задании угла управления тиристорами с внутренней магистрали УОИ.

БПР предназначен для контроля всех напряжений, вырабатываемых УОИ. Блок обеспечивает приём информации о неисправности всех источников питания и передачу информации о неисправностях всех блоков питания в БК по последовательному интерфейсу и индикацию неисправностей питания на передней панели блока и дверце устройства.

БКС формирует пять сигналов последовательного интерфейса «токовая петля» по ГОСТ 28854-90 и одного сигнала интерфейса RS-485. Все цепи последовательных интерфейсов гальванически развязаны от РС-680.

Блоки питания УОИ (рис. 8) обеспечивают формирование ряда напряжений, необходимых для функционирования устройства и комплекта датчиков. Питание всех блоков осуществляется от бортовой сети тепловоза с уровнем напряжения 110 В постоянного тока с отклонением напряжения $\begin{smallmatrix} +20\% \\ -30\% \end{smallmatrix}$ с сохранением работоспособности и выходных параметров МПСУ-ТП на тепловозе при кратковременных (12 секунд) просадках напряжения питания до 40% от номинального. Для реализации данного требования все блоки питания УОИ запитываются от ВДУ, конструктивно расположенно-

го вне УОИ. Каналы питания гальванически развязаны от входного напряжения и от корпуса с напряжением изоляции не менее 1 500 В.

НАЗНАЧЕНИЕ И РАБОТА ДИСПЛЕЙНОГО МОДУЛЯ

Дисплейный модуль (ДМ) — это система, состоящая из цветной ЖКИ-панели и IBM PC совместимого компьютера с периферийными устройствами. Выбран дисплей C820 фирмы Gecsom (Германия), применяемый на европейских локомотивах. ДМ обладает высоким разрешением и контрастностью. ДМ производит отображение текущей информации об измеряемых параметрах и аварийных сообщений с обеих секций тепловоза. Высокая контрастность изображения и цветовая насыщенность сохраняются при больших углах обзора и в широком диапазоне освещённости.

Информация отображается в текстовой и графической форме с разрешением 640×480 точек. При помощи клавиатуры производится управление отображением выводимой информации.

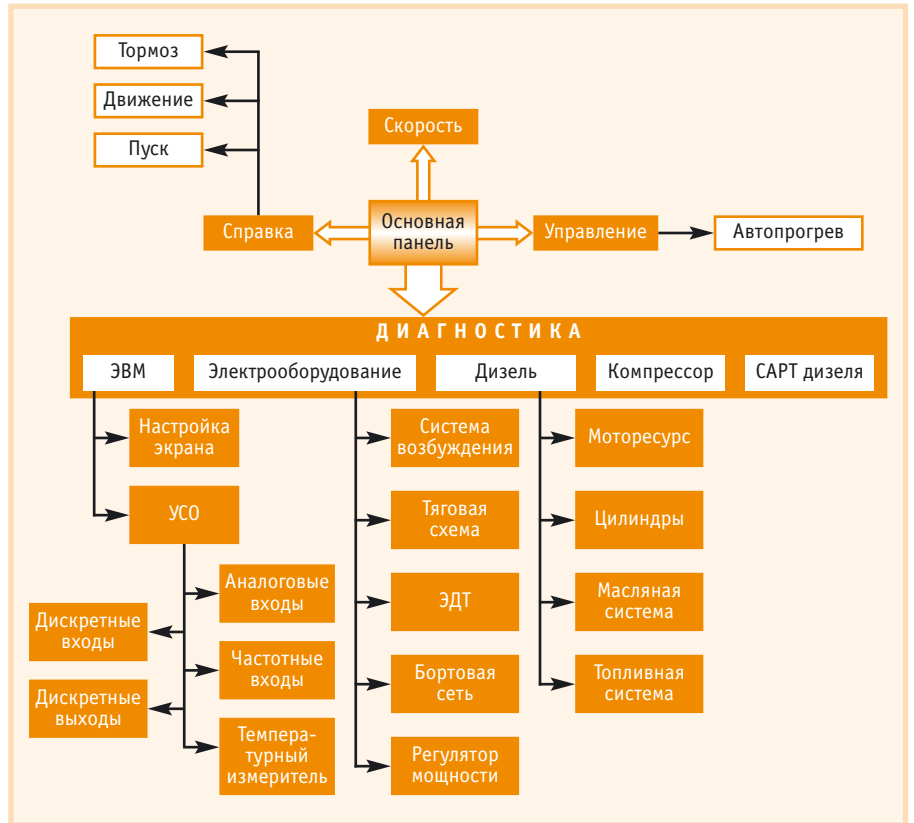
Питание дисплейного модуля может осуществляться постоянным напряжением в диапазоне от 14,4 до 156 В.

Дисплейный модуль (в дальнейшем ДМ) является основным средством, с помощью которого осуществляется диалог между машинистом и системой. Передача информации осуществляется в двух направлениях:

- 1) система → машинист (отображение всей основной информации, собранной системой, в удобной для восприятия и использования форме);
- 2) машинист → система (воздействие на основные исполнительные



Рис. 10. Основная панель дисплея машиниста



Условные обозначения:

САРТ дизеля — система автоматического регулирования температуры теплоносителей дизеля; ЭДТ — электродинамический тормоз.

Рис. 9. Схема переключения виртуальных панелей дисплея машиниста

устройства и установки параметров тепловоза непосредственно с экрана).

Аналоговые и частотные сигналы, полученные с борта тепловоза, анализируются системой допускового контроля. Результатом анализа является расчёт отклонения измеренной величины от значения, оговорённого в ТУ на данный параметр. На панель выводится соответствующий комментарий (норма, меньше нормы, больше нормы).

При обнаружении отклонений

в работе тех или иных агрегатов тепловоза выводится аварийное сообщение на дисплей машиниста, которое снимается машинистом кнопкой квитирования.

Объёмы информации поставили перед разработчиками сложную задачу создания удобной и понятной для пользователя системы отображения и контроля информации. По этой причине все сигналы разделены по принадлежности к системам тепलो-



Рис. 11. Основная панель дисплея машиниста в режимах тяги и электродинамического тормоза с отображением аварийного сообщения



Рис. 12. Меню диагностических панелей с отображением аварийного сообщения



Рис. 13. Панель устройства связи с объектом

за и представлены на соответствующих виртуальных панелях, доступ к которым осуществляется посредством переключений клавиатуры дисплея машиниста. Схема переключения виртуальных панелей дисплея машиниста представлена на рис. 9. На рис. 10 и 11 представлена основная панель дисплея машиниста, а на рис. 12 — меню диагностических панелей.

Для проверки цепей подключения датчиков используется панель контроля устройства связи с объектом (УСО) (рис. 13), при помощи которой можно легко проконтролировать входные сигналы каждого датчика в отдельности, что облегчает монтаж схемы и последующий её ремонт.

Предусмотрена возможность деградации системы управления, то есть возможность исключения из алгоритма управления вышедших из строя датчиков.

Для этой цели на панели с дискретными входами предусмотрена графа «Дир.» — директивные указания, в которой при необходимости машинист может установить переключатель в положение «Отключено» — красный круг (рис. 14). При этом алгоритм управления игнорирует значение данного сигнала. Переключатели сигналов от устройств безопасности локомотива недоступны для машиниста.

Наличие дисплея машиниста позволяет часть неоперативных органов управления (включение прокачки топлива, масла, переключение режима ручной/автоматической подачи тифона, настройка режима асинхронного нагружения секций и включения режима холостого хода одной из секций тепловоза) заменить виртуальными тумблерами. Все эти виртуальные тумблеры расположены на панели «Управление» (рис. 15).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тепловоз 2ТЭ116КМ с многофункциональной микропроцессорной системой управления и поосным регулированием касательной силы тяги обладает несомненными преимуществами перед эксплуатируемыми в нашей стране грузовыми магистральными тепловозами, а по ряду параметров превосходит тепловозы, оснащённые аналогичной системой «Bright Star» фирмы General Electric (США). Использование данного тепловоза позволит сократить средства на ремонт и обслуживание, повысить экономию топлива, а также перевозить составы повышенной массы за счет улучшенных противобуксовочных свойств. ●

Авторы — сотрудники ФГУП ВНИКИ МПС России, г. Коломна
Телефон: (0966) 15-5112, или 15-5116, или 15-5119, доб. 11-49



Рис. 14. Панель дискретных входов в разъёме X5



Рис. 15. Панель управления