

Автоматизированная многофункциональная система управления локомотивом

Олег Котов

Рассматривается многофункциональная автоматизированная система управления и обеспечения безопасности тягового подвижного состава (АСУБ «Локомотив»), разработанная специалистами Научно-исследовательского института тепловозов и путевых машин (ВНИТИ).

Введение

Разработкой микропроцессорных систем управления в отделе электропередач занимаются продолжительное время. Еще в 1989 г. микропроцессорная система контроля и управления МСКУ-1 была установлена на шести тепловозах 2ТЭ116 с электродинамическим тормозом. Данные локомотивы успешно прошли опытную эксплуатацию в депо Волноваха Донецкой дороги. Приобретенный опыт позволил разработать еще более совершенную систему АСУБ «Локомотив», не имеющую аналогов в отечественном локомотивостроении и не уступающую таким зарубежным разработкам, как SIBAS 32, DIAS, ATCS.

Система вобрала все самое лучшее из предыдущих комплексов и включила в себя весьма широкий набор функциональных возможностей. В настоящее время тепловоз ТЭП70-316, оборудованный АСУБ «Локомотив», работает в депо Санкт-Петербург-Варшавский Октябрьской дороги.

Состав АСУБ «Локомотив»

Основным модулем АСУБ «Локомотив» является аппаратно-программный комплекс (АПК) «Пилот», состоящий из ряда приборов и устройств (рис. 1).

Прежде всего это центральный блок управления (ЦБУ), выполненный на базе модулей 5066 и 5600-96 MicroPC фирмы Octagon Systems. Он предназначен для сбора информации от дискретных, аналоговых и частотных датчиков и выдачи управляющего воздействия на исполнительные устройства, а также формирования сигналов для управления тиристорным преобразователем и электронным регулятором частоты вращения вала дизеля. Еще одна функция блока – сохранение диагностической информации в сменной кассете.



Тепловоз ТЭП70–316, оборудованный системой «Локомотив»

Имеются также два температурных измерителя, которые обеспечивают прием сигналов от датчиков температуры и передачу информации в ЦБУ. Температура измеряется для диагностики систем дизеля, а также для индикации состояния контролируемых сред (воды, масла, выпускных газов) на пульте машиниста.

Кроме того, в комплексе «Пилот» задействованы доплеровский измеритель скорости, достоинством которого являются высокая точность показаний и независимость их от диаметра колес, а также съемный энергонезависимый накопитель, предназначенный для ввода параметров движения, используемых при автоведении, для записи диагностической информации и информации о параметрах движения во время поездки.

В состав системы дополнительно входят два пульта машиниста, комплект датчиков и источников питания. Связь между дисплеями пульта машиниста, температурными измерителями и центральным блоком управления осуществляется через последовательный канал RS-232 (используется модуль 5558 фирмы Octagon Systems). Структурная схема центрального блока управления приведена на рис. 2.

По техническим заданиям, которые разработали специалисты ВНИТИ, были созданы аппаратные средства, успешно выполняющие свои функции в

(C) 1998 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

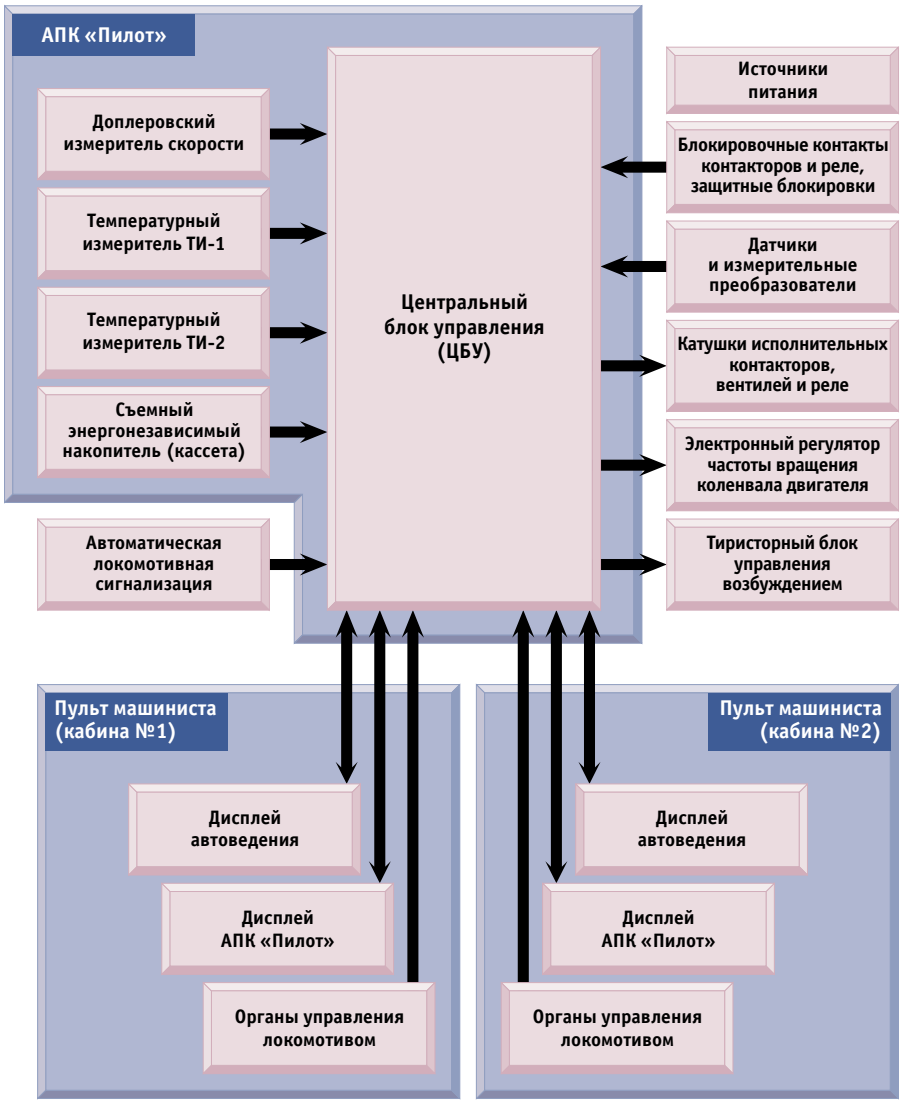


Рис. 1. Структурная схема АСУБ «Локомотив

микропроцессорной системе управления. Это, в первую очередь, измерительные преобразователи напряжения и тока, используемые в системах УСТА и МСКУ-1, различного рода датчики и др. Были применены датчики давления «Пульман», которые являются весьма перспективными, однако имеют целый ряд недоработок. Разработаны также датчики для измерения частоты вращения вала дизеля, турбины и вентиляторов системы охлаждения теплоносителей. Одним из основных датчиков для управления частотой вращения вала дизеля и мощностью дизель-генератора является датчик линейных перемещений, предназначенный для измерения выдвижения реек топливных насосов высокого давления дизеля. В качестве дискретных датчиков используются штатные дискретные датчики локомотива – блокировочные контакты силовых контакторов, контакты конечных выключателей и датчиков давления.



Испытание центрального блока управления (ЦБУ) на стенде в лаборатории ВНИТИ

Пульт машиниста

В процессе решения задач эргономики для системы АСУБ «Локомотив» впервые в практике отечественного локомотивостроения был разработан и изготовлен пульт машиниста, удовлетворяющий современным международным требованиям (рис. 3). Пульт представляет собой конструкцию из пяти расположенных под удобным для доступа и обзора углом панелей. На первой панели 1 находятся органы управления вспомогательным оборудованием (калорифером, прожектором, тумблерами освещения кабины, стеклоочистителями и т. д.). На панели 2 расположен цветной жидкокристаллический дисплей (выбран компьютер MiPC50 фирмы Advantech), который решает задачи автоведения и отображает информацию о параметрах движения, расчетной и реальной траекториях движения состава.

На центральной панели 3 установлены указатель скорости, светофор автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН) и лампы контроля бдительности машиниста. Справа от центральной панели расположен дисплей АПК «Пилот» 4, аналогичный по конструкции дисплею автоведения, но служащий для отображения на основном кадре информации о состоянии дизель-генераторной установки (температура теплоносителей, давление масла в системе дизеля, напряжение и ток тягового генератора), выдачи аварийных и диагностических сообщений. Предусмотрено большое число дополнительных кадров для индикации и диагностики измеряемых параметров. Панель 5 включает в себя приборы контроля автоматических тормозов состава и локомотива.

На горизонтальной поверхности 8 пульта расположены реверсивная рукоятка 9, кнопки пуска и останова дизеля, кнопка контроля бдительности машиниста, контроллер машиниста 7, кнопки тифона и свистка, а также традиционный для всех видов подвижного состава кран машиниста 6. Следует отметить перспективную конструкцию контроллера машиниста. Он представляет собой устройство с вертикальной рукояткой, которая перемещается вперед в положение «+» или назад в положение «–». В исходное положение она возвращается под действием пружин. Благодаря уменьшенным габаритам, новый контроллер удалось оптимально, с точки зрения эргономики, расположить на пульте, со-

(C) 1998 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

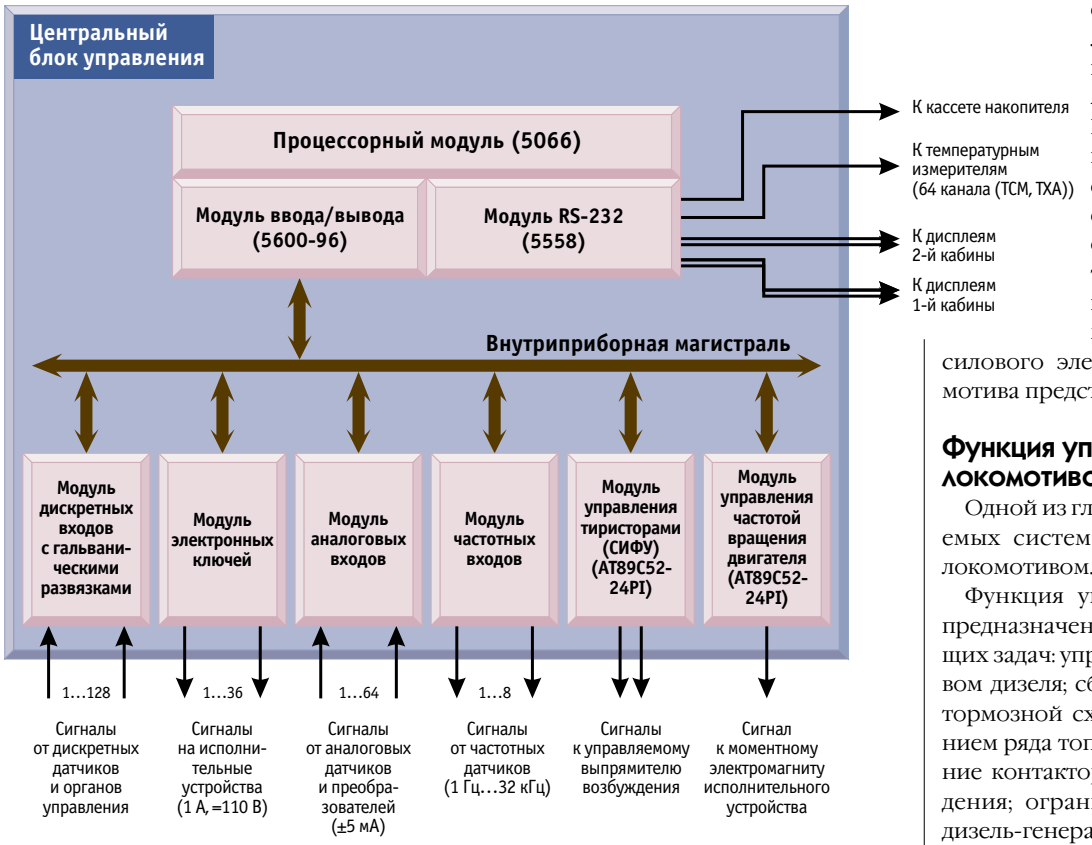


Рис. 2. Структурная схема центрального блока управления

здав тем самым более комфортные условия для работы машиниста. Отказ от традиционного контроллера привел к существенному изменению компоновки не только пульта, но и кабины машиниста в целом, а также повлиял на схемное решение систем управления тепловозом.

Основные функции АСУБ «Локомотив»

Система «Локомотив» решает все основные задачи по управлению и регулированию тепловозом, представляет собой неотъемлемую его часть. Программное обеспечение АСУБ написано на языке Pascal 7.0. Для устойчивого функционирования системы не требуется реостатная настройка, что обеспечивает экономию топлива, рабочего времени локомотивных и ремонтных бригад. Схема силового электрооборудования локомотива представлена на рис. 4.

Функция управления локомотивом

Одной из главных функций, выполняемых системой, является управление локомотивом.

Функция управления локомотивом предназначена для выполнения следующих задач: управление пуском и остановом дизеля; сборка/разборка тяговой и тормозной схем; управление отключением ряда топливных насосов; управление контакторами ослабления возбуждения; ограничение набора позиций дизель-генератора при отключении одного и более тяговых двигателей и других операций.

Для выполнения поставленных задач задействована значительная часть аппаратных ресурсов системы. Используются более 100 дискретных входов и 30 дискретных выходов, что позволяет существенно упростить контактную часть электрической схемы локомотива (в частности, исключить реле управления и реле времени) и свести к минимуму число контактов. Оставшиеся контакты используются в качестве дискретных



ЦБУ АПК «Пилот» в процессе эксплуатационных испытаний

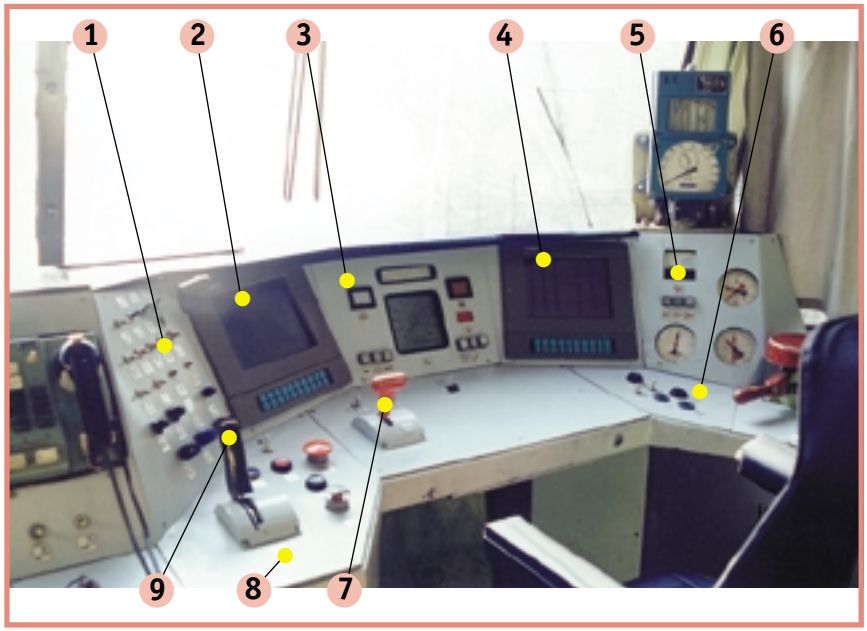


Рис. 3. Пульт машиниста

(C) 1998 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

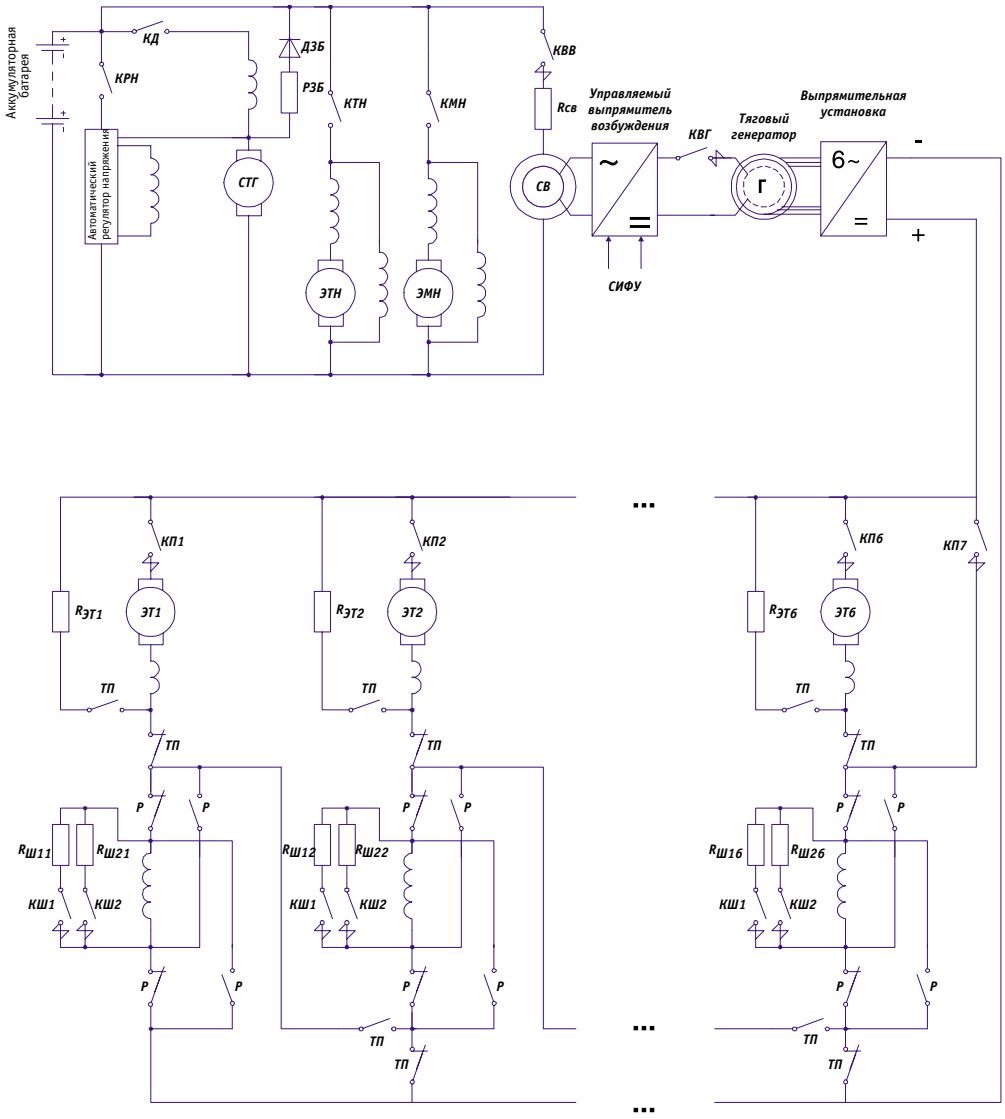
датчиков с минимальной токовой нагрузкой, что полностью исключает их подгар. Дискретные входы центрального блока управления (ЦБУ) выполнены на базе оптопар и служат для приема сигналов от бортовых датчиков (органов управления, защитных блокировок, температурных реле, реле давления).

Компьютер производит опрос состояния входных цепей, обрабатывает полученную информацию согласно заложенной в него программе и выдает сигнал управления на транзисторные ключи. Последние, в свою очередь, подают питание на катушки исполнительных устройств (рис. 5). Такая техническая реализация позволяет использовать комплекс для управления не только тепловозом, но и электровозом, дизель-поездом и т. д.

Функция управления локомотивом одновременно решает и задачу диагностики. Благодаря этому и наличию дисплея на пульте машиниста представилось возможным построить работу машиниста с системой в диалоговом режиме. Суть состоит в следующем: при нормальной работе команды от органов управления выполняются автоматически, а при возникновении нештатных ситуаций на дисплей машиниста выводятся сообщения, хранящиеся в памяти компьютера. Например, если при опущенном валоповоротном устройстве его блокировка оказывается разомкнута (что не удовлетворяет нормальному течению процесса), на дисплей машиниста выводится сообщение: «Опущено валоповоротное устройство (БВУ)».

Диагностика срабатывания контакторов и переключателей (реверсор, тормозной переключатель), имеющих блокировочные контакты, происходит по более сложному алгоритму. Он построен на контроле времени переключения аппаратов. При превышении контрольного времени с момента подачи управляющего сигнала в зависимости от ранее зафиксированного положения происходит выдача сообщений типа: «КТН не включился», «КТН не отключился», «КТН самопроизвольно отключился», «КТН самопроизвольно включился».

Широко используются возможности диагностического дисплея (рис. 6), на котором, помимо основной информации (температура, давление воды и масла, напряжение и ток генератора) и диагностических сообщений 1, показываются различные режимы работы тепловоза 2 (в данном случае это режим предпусковой прокачки масла) и время выполнения 3. Индицируются также режимы «Прокрутка», «Останов», «Хол. ход», «Тяга», «ЭДТ». В последних трех случаях на месте индикации времени отображается позиция контроллера машиниста. Для визуального контроля состояния входных цепей предусмотрена возможность просмотра состояния дискретных входов и выходов посредством вызова соответствующих режимов работы кнопками дисплея «Орг. упр.» 5 и «Диагн.» 6. Эти режимы необходимы при монтаже системы на тепловозе и удобны при последующей его эксплуатации. Кнопка «Квит.» 4 служит для снятия диагностического сообщения.



Условные обозначения:

СТГ — стартер-генератор;
ЭТН — электродвигатель топливоподкачивающего насоса;
ЭМН — электродвигатель маслопрокачивающего насоса;
СВ — синхронный возбудитель;
ЭТ1-ЭТ6 — тяговый электродвигатель;
Р — реверсор;
ТП — тормозной переключатель;
КП1-КП6 — контакторы силовой тяговой цепи;
КП7 — контактор возбуждения тяговых электродвигателей в режиме электродинамического тормоза;
КШ1, КШ2 — контактор ослабления возбуждения тяговых электродвигателей;
КМН — контактор масло прокачивающего насоса;
КТН — контактор топливо подкачивающего насоса;
КРН — контактор регулятора напряжения;
КВВ — контактор возбуждения возбудителя;
КВГ — контактор возбуждения генератора.

Рис. 4. Схема силового электрооборудования тепловоза

(С) 1998 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

Рассмотрим более подробно выполнение пуска дизеля. Датчики и аппараты, участвующие в пуске, изображены на рис. 5. После получения компьютером сигнала от кнопки «Пуск» программа производит анализ состояния входов: кнопки «Стоп дизеля» (должна быть отжата), ключа «Аварийный останов тепловоза» (ВкА), тумблеров «Аварийный останов дизеля», «Блокировка валоповоротного устройства» (БВУ) и «Блокировка газового пожаротушения» (БГП), датчиков пожарной сигнализации. После анализа происходит включение контакторов масляного и топливного насосов силовыми ключами. Контроль их включения осуществляется по состоянию блокировочных контактов КМН и КТН. При нормальном включении аппаратов происходит программная выдержка времени 60 с. Отсчет выдержки и ее индикация на дисплее (обратным счетом) начинается после того, как давление масла в контролируемой точке достигает величины срабатывания реле давления РДМ3, сигнал от которого поступает в компьютер. В это же время включается электромагнит регулятора частоты вращения дизеля МР6. При отсутствии давления масла в течение 15 с после включения контактора масляного насоса на дисплей машиниста выводится сообщение: «Нет начального давления масла (РДМ3)» (рис.6).

По истечении времени предпусковой прокачки включается контактор КД, который подключает стартер-генератор к аккумуляторной батарее (поскольку на тепловозе используется электронный регулятор, вентиль ускорения пуска из схемы исключен). Коленчатый вал дизеля начинает вращаться. В это время на дисплей выводится индикация режима «Прокрутка» и отсчет времени (12, 11 ... 0). Во время прокрутки производится контроль частоты вращения коленчатого вала и после того как она достигает 270 об/мин, происходит отключение пусковых устройств. Если пуск оказался неудачным, отключение контакторов КД, КМН, КТН произойдет через 12 с.

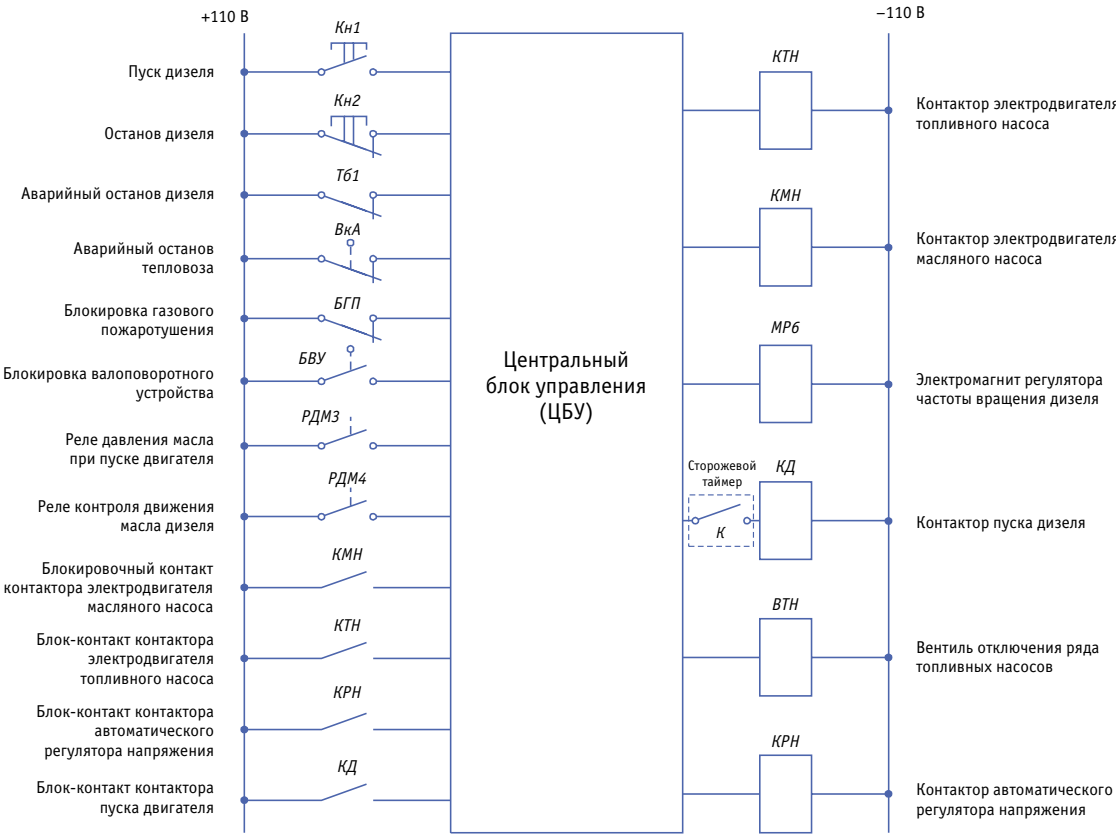


Рис. 5. Фрагмент схемы управления пуском дизеля

После отключения пусковой аппаратуры включается контактор регулятора напряжения (КРН) и вентиль отключения ряда топливных насосов (ВТН). На этом процесс пуска дизеля заканчивается, а на дисплей выводится указание режима «Хол. ход» и номер (0) позиции контроллера машиниста.

Как следует из вышеизложенного, последовательность включения коммутационных аппаратов не отличается от принятой на серийных тепловозах. Это же можно сказать и о других режимах работы электрической схемы. Процессы останова дизеля, сборки тормозной и тяговой схем протекают аналогично штатным и подробно описаны в руководстве по эксплуатации. Мы же отметим только некоторые отличия в управлении тепловозом, оборудованным АСУБ «Локомотив».

Особенностью управления процессами пуска и остановки дизеля является использование кнопки «Стоп», наличие которой облегчает управление тепловозом. В частности, она упрощает решение задачи дистанционного пуска и остановки (например автопрогрева, управления по радиоканалу), так как не требует дополнительного изменения схемы. Сигналы «Стоп» и «Пуск» могут быть сгенерированы другими подсистемами.

Изменение частоты вращения осуществляется контроллером машиниста, который вырабатывает три дискретных сигнала (рис. 7). При переводе рукоятки в положение «+» компьютер увеличивает позицию на единицу, в положение «–» – уменьшает. При удержании рукоятки в одном из двух указанных положений происходит последовательный набор либо сброс позиций с интервалом

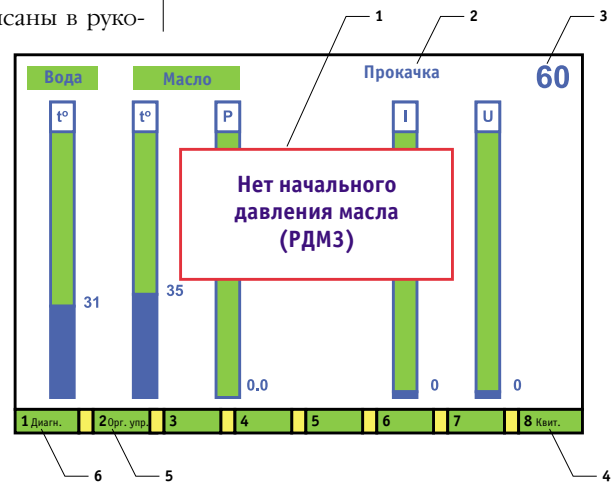


Рис. 6. Кадр диагностического дисплея

(C) 1998 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

около двух секунд. Для быстрого сброса позиции существует кнопка Кн «0», устанавливающая нулевую позицию. Для обеспечения удобства маневровой работы на месте штатной кнопки «Маневр» были установлены переключатель Тб «+/-» с возвратом в нейтральное положение и кнопка Кн«0», контактная система которых полностью повторяет контроллер. Благодаря такому схемному решению появилась возможность использовать не только первую, но и более высокие позиции при маневрах.

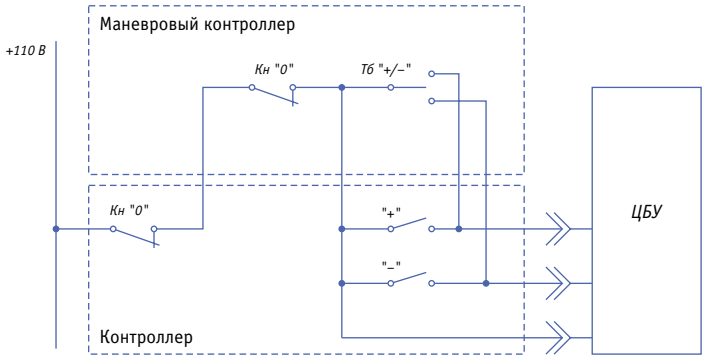


Рис. 7. Схема подключения контроллера машиниста

В режиме тяги были реализованы следующие нововведения: согласно техническому заданию, система должна ограничивать мощность тягового генератора при отключении одного и более тяговых электродвигателей. Это реализовано автоматической установкой нулевой позиции при сбросе нагрузки. Так как новая реверсивная рукоятка не имеет механической блокировки с контроллером, защита от ошибочных действий машиниста осуществляется программным методом, с выдачей диагностического сообщения. Включение и отключение контакторов ослабления возбуждения тяговых электродвигателей осуществляется только автоматически, поэтому тумблеры ручного управления исключены из схемы. Переключение производится по достижении соответствующей скорости, рассчитанной по электромеханическим характеристикам тягового электродвигателя.

Управление электродинамическим тормозом (ЭДТ) может осуществляться тем же контроллером, а также поездным краном машиниста. Сборка схемы ЭДТ происходит при включении тумблера «ЭДТ» и установке первой тормозной позиции (при этом дизель выводится на вторую позицию). Для совместного использования ЭДТ и автоматических тормозов состава необходимо включить тумблер «Совместное торможение». Следует отметить, что жалюзи ЭДТ открываются и закрываются автоматически при сборке и разборке тормозной схемы. При неисправностях схемы электродинамического тормоза (неисправности жалюзи, невключение контактора или переключателя) происходит автоматическое включение пневматического тормоза, т. е. ЭДТ замещается пневматическим тормозом. При снижении скорости эффективность ЭДТ уменьшается, поэтому в штатной схеме ТЭП70 применяют замещение его пневматическим тормозом на малых скоростях. Однако это приводит к ряду нежелательных последствий. Вследствие этого данное замещение было решено не реализовывать, что сделало ЭДТ более простым и надежным в эксплуатации.

В процессе эксплуатации машинистами были высказаны замечания по поводу рывков состава при быстром переходе из режимов тяги и ЭДТ в режим холостого хода. Программное обеспечение функции управления возбуждением тягового генератора и функции управления тепловозом было доработано. Было введено плавное снижение возбуждения тягового генератора при установке нулевой позиции контроллера машиниста перед разборкой схемы. Это позволило в значительной степени улучшить плавность движения поезда.

Опыт эксплуатации микропроцессорных систем управления, особенно на стадии разработки и внедрения, показал, что в системе необходимо дополнительное устройство, обеспечивающее безаварийную работу силового электрооборудования при «зависании» компьютера. Таким устройством стал сторожевой таймер (рис. 8), который подключается к одному из силовых ключей, а его блокировочные контакты – в цепь ответственных исполнительных устройств. Работает он следующим образом. Нормальное выполнение программного обеспечения приводит к переключению транзистора силового ключа и подаче импульсов напряжения 110 В на сторожевое устройство. Импульсы, проходя через конденсатор С и выпрямитель VD2, поддерживают во включенном состоянии реле К. Резистор R2 служит для разрядки конденсатора С при закрытом состоянии силового ключа ЦБУ. В случае «зависания» компьютера силовой ключ остается либо в закрытом, либо в открытом состоянии. Это приводит к прекращению подачи напряжения на катушку К. В результате блокировочные контакты сторожевого таймера разрывают соответствующие цепи, прекращая прохождение тока к исполнительным устройствам и подключая резервный регулятор дизеля. В дальнейшем планируется сделать сторожевое устройство встроенным в ЦБУ.

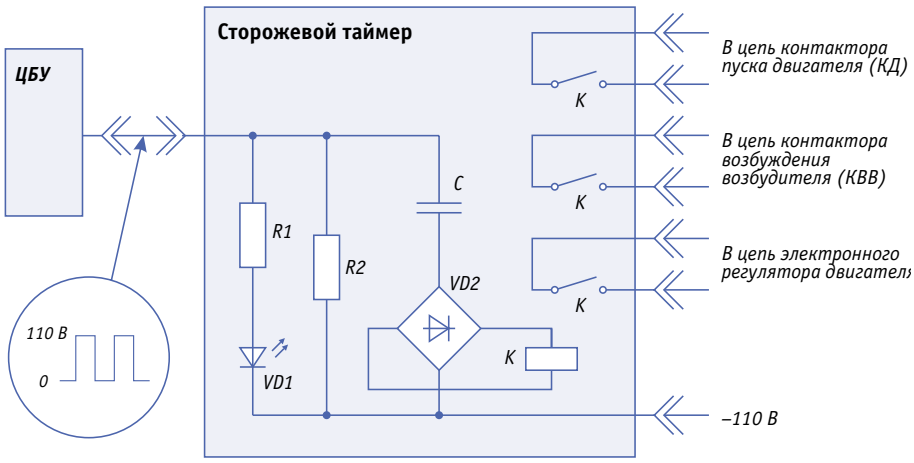


Рис. 8. Схема сторожевого таймера

Функция управления электропередачей

Функция решает две задачи: в режиме тяги – это регулирование мощности дизель-генераторной установки (с использованием датчика линейных перемещений), обнаружение и предотвращение разносного боксования, ограничение тока тяговых электродвигателей. В режиме ЭДТ данная функция обеспечивает поддержание тормозного усилия, ограничение тока возбуждения, тока якоря, ограничение по коммутации тяговых электродвигателей, обнаружение и ликвидация юза колесных пар. Соответствующие параметры функции выводятся на диагностический дисплей (рис. 9).

(C) 1998 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Рис. 9. Диагностический кадр электропередачи

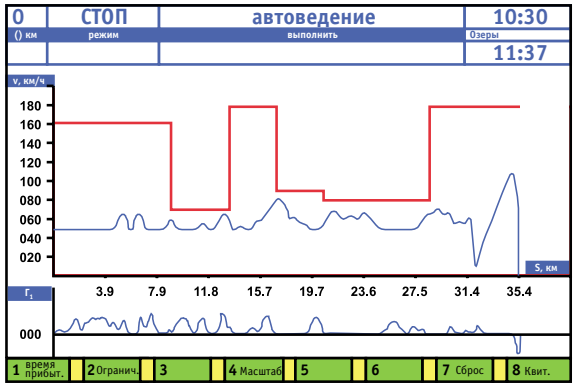


Рис. 10. Кадр дисплея автоведения



Рис. 11. Кадр дисплея автоведения в режиме корректировки данных

Эффективная противобоксовочная и противоюзовая защиты, формирование жестких динамических характеристик тягового генератора позволяют эксплуатировать тепловоз практически без применения песка, приводят к значительному уменьшению износа дорогостоящих бандажей колесных пар. Так, за первый год испытаний локомотива, оборудованного системой, экипировка песком проводилась всего один раз, а расход его определялся в основном проверкой исправности песочницы.

Функция управления частотой вращения вала дизеля

Система обеспечивает поддержание частоты вращения вала дизеля на всех позициях с точностью ±2 об/мин и ограничение выдвижения рейки топливных насосов высокого давления в зависимости от давления наддувочного воздуха в ресивере дизеля, что практически исключает дымление на переходных процессах.

Применение программного управления и нового контроллера позволило без изменения схемы снизить частоту вращения на нулевой позиции до 300 об/мин. Поскольку дизель пассажирского локомотива достаточно много времени работает на данной позиции, это способствует значительной экономии топлива.

Функция диагностики

Эта функция служит для решения ряда задач по контролю технического состояния систем тепловоза. Наиболее крупными из них являются определение состояния газо-воздушного тракта дизеля; определение качества работы масляной и топливной систем; определение эффективности системы охлаждения дизеля; контроль мощности дизель-генератора; определение работоспособности системы возбуждения тягового генератора.

Функция диагностики обеспечивает выдачу аварийных сообщений на дисплей машиниста и запись диагностической информации на сменный съемный энергонезависимый накопитель для последующей обработки в стационарных условиях. Основным положительным моментом наличия функции диагностики является перспектива перехода от системы планово-предупредительных ремонтов к ремонту по техническому состоянию, что позволит сэкономить рабочее время и значительные материальные средства.

Функция автоведения

Концепция автоведения воплощает в себе самые передовые инженерные идеи. Данная функция создает условия для движения поезда в оптимальном скоростном режиме, ориентируясь на заданное расписание, ограничение скорости движения и сигналы АЛСН, что способствует существенной экономии топлива. Необходимые параметры визуально отображаются на дисплее автоведения (рис. 10, 11).

Функция предусмотрена для значительного облегчения труда локомотивных бригад, повышения безопасности движения.

Гибкость программной реализации системы позволяет легко, без существенных затрат дополнять ее новыми функциями и совершенствовать уже существующие, что благоприятно сказывается на потребительских качествах АСУБ.

Функция автопрогрева

В течение первого года эксплуатационных испытаний тепловоза по просьбе работников депо Санкт-Петербург-Варшавский система была дополнена функцией автопрогрева. В холодное время года она осуществляет автоматический запуск дизеля при снижении температуры воды системы охлаждения ниже заданной и его остановку при достижении требуемой температуры. Во время работы дизеля дополнительно контролируется ток аккумуляторной батареи, а после восстановления емкости батареи производится ускоренный прогрев дизеля на более высоких позициях. Функция явилась очень полезным дополнением к уже перечисленным функциям системы.

Заключение

Использование АСУБ «Локомотив» на всех видах подвижного состава является назревшей необходимостью. Перечисленные функции – это лишь малая часть тех возможностей, которые могут быть реализованы на базе созданной специалистами ВНИТИ системы. Практическое осуществление данных функций выведет отечественное локомотивостроение на современный уровень науки и техники. К сожалению, отсутствие средств сдерживает внедрение этой перспективной разработки. Уже сейчас можно оценить экономический эффект по таким позициям, как снижение расхода топлива на 8%, уменьшение расходов на ремонт тепловоза на 8%, повышение производительности тепловоза на 10%. Нет сомнений в том, что затраты на дальнейшее совершенствование и внедрение АСУБ «Локомотив» окупятся не только за счет улучшения технико-экономических показателей локомотива, но и благодаря сохранению здоровья локомотивных бригад и поддержанию чистоты окружающей среды.

(C) 1998 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru