

## Диагностирование тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем



Виктор МЕЛЬНИКОВ

Viktor A. MELNIKOV

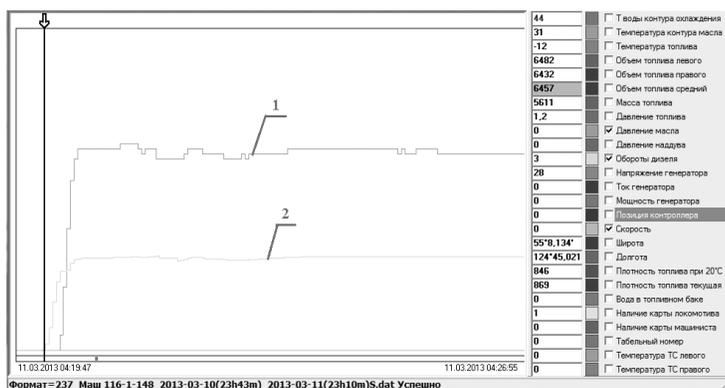
**Статья посвящена вопросам автоматизации диагностического процесса на основе программного обеспечения по данным, получаемым с установленных на тепловозах микропроцессорных систем. Особенностью исследуемого подхода является использование результатов мониторинга технического состояния локомотива для накопления статистики, позволяющей прогнозировать ожидаемый уровень рисков и планировать корректирующие мероприятия. Задача предлагаемого при этом проекта – создавая предпосылки к объективному анализу (оперативному контролю) и выявляя те или иные тенденции (так называемые «тренды»), обеспечивать своевременную профилактику неисправностей.**

*Ключевые слова:* железная дорога, тепловоз, техническое состояние, мониторинг, бортовые микропроцессоры, прогноз, профилактика.

*Мельников Виктор Александрович – аспирант кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

**В** рамках проводимого исследования первоочередным условием следует считать получение необходимых для ведения статистического учёта данных с тепловозов. Поскольку решение этого вопроса традиционными методами ручного анализа информации затруднительно из-за большого объёма сопутствующей работы, наиболее подходящим здесь видится внедрение полновесной сложной системы электронных датчиков и записывающих (или пересылающих) информацию устройств, однако такой вариант экономически крайне накладный. И ему хотелось бы найти по возможности простую альтернативу.

Таковой на сей момент представляется целевое аналитическое использование данных уже имеющихся на локомотивах микропроцессорных систем управления. Единственное, что к ним требуется разработка диагностических алгоритмов, позволяющих получить отчёт в унифицированной форме по материалам бортовых систем с различным набором регистрируемых значений и фактов. Подобные алгоритмы отвечают особенностям применяемых средств контроля.



**Рис. 1. Графики параметров АПК «Борт» при запуске дизеля без прокачки масла: 1 – график параметра давления масла, 2 – график параметра частоты вращения коленчатого вала дизеля.**

**Pic. 1. Graphics of parameters of HSC «Board» at launch of the diesel without oil circulation: 1-oil pressure graphic; 2-frequency of diesel crankshaft rotation graphic.**

## АПК «БОРТ»

Аппаратно-программный комплекс «Борт», созданный специалистами НИИ-ТКД как средство учёта расхода топлива, включает систему датчиков, охватывающих дизель-генераторную установку тепловоза и вспомогательное оборудование, а также микропроцессорный блок обработки информации, имеющий выход к системе глобального позиционирования (GPS).

Нынешняя версия АПК «Борт» получает с тепловоза 21 параметр, причём все они доступны для просмотра при помощи программы «Kontrol» (название программы пишется именно так, через «К») в виде графиков – зависимостей от времени [3].

Принципиальной, с точки зрения мониторинга, особенностью комплекса является его способность передавать данные на сервер через систему мобильной связи GPRS. С сервера, по договорённости с НИИ-ТКД, информацию можно получать для использования. Поскольку в систему передачи данных закладывалась значительная надёжность, они двукратно дублируются – на карте памяти, выдаваемой машинисту, и встроенной карте памяти локомотива.

Сервер АПК «Борт» имеет интерфейс доступа, в своей нынешней версии умеющий автоматически определять около десяти различных нарушений, что соответствует задачам мониторинга на уровне эксплуатационного локомотивного депо [3].

Основной недостаток АПК – его ориентированность на учёт расхода топлива, что при малом наборе диагностических параметров сводит реализацию любого диагностического алгоритма к задаче получения нужных исходных данных. В качестве примера имеет смысл привести два алгоритма.

Первый алгоритм – предлагаемый автором статьи контроль прокачки масла в ходе пуска дизеля. В данном случае все требующиеся для контроля параметры (давление масла и частота вращения коленчатого вала дизеля) есть в системе, и процесс диагностирования сводится к обнаружению моментов времени, когда давление масла ниже допустимого значения при отличных от нуля оборотах дизеля. При обнаружении нарушений в отчёт заносится сообщение: «Запуск дизеля без прокачки масла». На рис. 1 приведены иллюстрирующие ситуацию графики параметров давления масла (1) и частоты вращения коленчатого вала дизеля (2). Запуск дизеля без прокачки масла очевиден.

Второй алгоритм – уже реализованный в АРМ «Борт» алгоритм контроля удельного расхода топлива. Поскольку этот аппаратно-программный комплекс не имеет информации ни о расходе топлива, ни о мощности на валу дизеля, оба параметра приходится вычислять. Расход определяется известным методом по значению среднего уровня топлива ( $h_{\text{топл}}$ ) (в системе «Борт» выводится как среднее значение показаний левого и правого уровнемера; произведение длины бака ( $l_{\text{бак}}$ ) на его ширину ( $b_{\text{бак}}$ ) принимается постоянным). Принцип расчёта реализован в формуле:

$$Q = \frac{d(h_{\text{топл}} * b_{\text{бак}} * l_{\text{бак}})}{dx} = \frac{dV_{\text{топл}}}{dt} \quad (1)$$

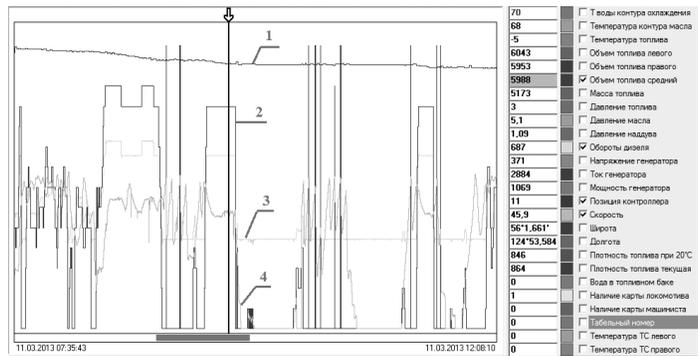
С мощностью дизеля дела обстоят несколько иначе: в АПК используется параметр мощности генератора, вычисляемый как произведение тока ( $I_g$ ) генератора





**Рис. 2. Различия в темпе изменения параметров объёма топлива:**  
**1 – график уровня топлива, 2 – график позиции контроллера, 3 – график оборотов дизеля, 4 – график изменения скорости.**

**Pic. 2. Difference in fuel volume parameter changes: 1-fuel level graphic; 2-position of a controller graphic; 3-diesel rotation graphic; 4-speed alteration graphic.**



на его напряжение ( $U_r$ ). Соответственно, отношение мощности на выходе из генератора к его паспортному КПД ( $\eta$ ) является выходной мощностью на валу дизеля. Расчёт выходной мощности дизеля:

$$N_{\text{диз}} = \frac{I_r \cdot U_r}{\eta_{\text{ТГ}}} \quad (2)$$

Для оценки влияния аппаратов, получающих энергию непосредственно от коленчатого вала дизеля, в формулу вводится также коэффициент запаса ( $\eta$ ). Итоговое значение удельного расхода топлива получается как отношение значения расхода топлива к мощности на валу дизеля с учётом поправочного коэффициента, как показано в формуле (3).

$$Q_{\text{уд}} = \frac{\frac{dV_{\text{топл}}}{dt}}{N_{\text{диз}}} = \frac{dV_{\text{топл}}}{dt} \cdot \frac{\eta_{\text{ТГ}} \cdot \eta}{I_r \cdot U_r} \quad (3)$$

При обнаружении нарушения в отчёт заносится сообщение: «Повышенный удельный расход топлива» [2]. На рис. 2 можно увидеть, что темп изменения уровня топлива (1) меняется пропорционально позиции (2) контроллера машиниста (4) и оборотам дизеля (3).

Таким образом, «Борт» представляет собой пример уже готового простого и самостоятельного диагностического комплекса, который требуется приспособить под цели мониторинга с минимальными изменениями, что является задачей реальной, хотя и высокой степени сложности ввиду ограниченного набора фиксируемой информации.

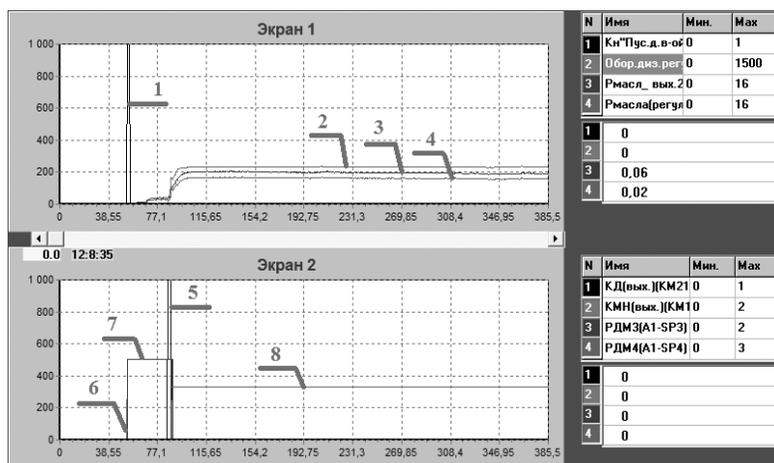
### МСУ-Т

Принципиально иным образом ситуация обстоит с разработанным специалистами ВНИКТИ семейством диагностических микропроцессорных систем, именуемым МСУ-Т.

Уже изначально в нем было значительное, по меркам подвижного состава, количество датчиков (в своём нынешнем варианте системы поддерживают подключение до 250 датчиков, при реальном количестве около 150–200 в зависимости от серии тепловоза), и устанавливались они только на новые отечественные тепловоза (2ТЭ25А (К), ТЭП70БС, 2ТЭ116У). Именно широта диапазона диагностических сигналов этого семейства систем делает его интересным с точки зрения не только диагностирования, но и исследования процессов, происходящих в конструкциях и механизмах тепловоза. В то же время столь растущий объём информации проблематичен для анализа, и проведение даже простейших проверок связано с перебором значительного числа параметров [4].

В отличие от АПК «Борт» семейство МСУ-Т изначально не имело собственной системы передачи информации с бортового компьютера тепловоза на рабочее место диагноста, поскольку главный упор его создатели делали на встроенные функции диагностирования (которые, впрочем, весьма просты) и возможность иметь оперативный доступ к данным о работе множества узлов и агрегатов локомотива. Однако в процессе отладки бортовых систем и конструкций тепловоза в целом была предусмотрена функция записи данных с бортовых датчиков на съёмный накопитель и их дальнейший анализ при помощи специальной программы «Осциллограф» (которая, как и «Борт», выводит показания датчиков в виде зависимостей от времени).

Реализация алгоритмов при диагностировании по данным МСУ-Т не затруднена поиском источника информации (более того, зачастую именно предоставляемые



**Рис. 3. Графики изменения параметров МСУ-Т при пуске дизеля:**  
 1 – график задействование кнопки запуска дизеля, 2 – график частоты вращения коленчатого вала дизеля, 3 – график давления масла на выходе из маслопрокачивающего насоса, 4 – график давления масла в картере дизеля, 5 – график положения пускового контактора дизеля, 6 – график положения контактора маслопрокачивающего насоса, 7 – график задействования реле давления масла РДМ3, 8 – график задействования реле давления масла РДМ4.

**Fig. 3. Graphics of MSU-T parameters' changes at launch of the diesel:**  
 1-involvement of start button of diesel graphic; 2-frequency of diesel crankshaft rotation graphic; 3-oil pressure at output from the oil-priming pump graphic; 4-oil pressure in case group of the diesel graphic; 5-position of diesel starting contactor graphic; 6-position of oil-priming pump contactor graphic; 7-involvement of oil pressure relay actuator RDM3 graphic; 8-involvement of oil pressure relay actuator RDM4.

данные являются источником вдохновения для построения алгоритмов), поэтому его возможности значительно шире. Ниже приведены примеры реализации алгоритмов средствами диагностического комплекса «Осциллограф-2», разрабатываемого при участии автора статьи.

**Контроль прокачки масла при запуске дизеля:** через  $t_1$  после включения реле запуска дизеля на оборотах, равных нулю, должен быть замкнут контактор маслопрокачивающего насоса. Через  $t_2$  после того как давление масла достигнет допустимого значения, срабатывает контактор реле давления масла. Через  $t_3$  после этого обороты дизеля не должны быть равными нулю [4]. На рис. 3 показан порядок срабатывания реле (п. 1 и 6–8) и графики давления масла (п. 3 и 4) при нормальном запуске дизеля. В данном случае контролируется гораздо больший объём информации, однако в целях унификации в отчёт будет занесено только одно сообщение: «Запуск дизеля без прокачки масла». Вся остальная информация поступает оператору для принятия решения касательно дальнейших действий (в формы ТУ-28 или ТУ-152, или в качестве примечания к отчёту).

**Контроль удельного расхода топлива:** поскольку в системах семейства МСУ-Т

расходомер выполнен как отдельная автономная подсистема, дополнительно проверяется его включённость – показатель массы топлива не должен быть равен нулю. Для решения проблемы предлагается применить метод расчёта, аналогичный уже используемому в АПК «Борт», – берётся производная по времени с обратным знаком, но уже от зависимости изменения массы топлива в баке ( $m_{\text{топл}}$ ), как показано в формуле 4;

$$Q = \frac{dm_{\text{топл}}}{dt} \quad (4)$$

Параметр электрической мощности тяговой передачи также присутствует в системе, но поскольку все тепловозы, оборудованные МСУ-Т, имеют тяговый синхронный генератор, итоговая мощность дизеля определяется уже как отношение мощности тяговой передачи ( $N_{\text{тр}}$ ) к произведению паспортных КПД генератора и выпрямительной установки (в (5) обозначено в качестве КПД передачи,  $\eta_{\text{пер}}$ ). Причём у тиристорного выпрямителя тепловоза 2ТЭ116У это значение изменяется в зависимости от угла открытия тиристорov ( $\eta$ ), что приводит к необходимости учёта величины угла, которая, впрочем, фигурирует в данных МСУ-Т.





$$N_{\text{диз}} = \frac{N_{\text{Тг}}}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{\int_{\alpha}^{180^{\circ}} I dt}{\eta_{\text{пер}}} \quad (5)$$

Итоговое значение удельного расхода сходным образом вычисляется как отношение значения расхода топлива к мощности с учётом поправочного коэффициента [4]:

$$Q_{\text{уд}} = \frac{\frac{dV_{\text{топл}}}{dt}}{N_{\text{диз}}} = \frac{dV_{\text{топл}}}{dt} \cdot \frac{\eta_{\text{пер}} * \eta}{\int_{\alpha}^{180^{\circ}} I dt} \quad (6)$$

Таким образом, приведенные примеры показывают, что диагностирование с помощью МСУ-Т сводится к подбору данных, необходимых для решения целевой задачи.

### ПРОБЛЕМЫ С ДАННЫМИ

Несмотря на то, что в настоящий момент работы по проекту только начаты, уже было выявлено несколько значительных проблем разного уровня сложности, каждая из которых требует собственного, специфического подхода.

Первая – несовершенство программного обеспечения для анализа поступающих с локомотива данных. Точнее, необходимость приспособления под нужды диагностирования программ, изначально для этого не создававшихся. Эта проблема решается путем заключения с создателями программных продуктов договоров на их доработку.

Вторая проблема – отказы микропроцессорных систем. Для ведения учёта параметров работы оборудования локомотива требуется, чтобы надёжность слежения была заведомо выше, чем надёжность самого тепловоза, хотя на практике всё оказывается с точностью до наоборот. К примеру, сейчас исправно лишь порядка 20% АПК «Борт», ещё примерно 60% находится

в работоспособном состоянии, а 20% систем неисправны полностью. Причинами тому служат не столько уровень надёжности узлов и агрегатов современных локомотивов, сколько низкая надёжность современных микропроцессорных систем (а зачастую и откровенный вандализм со стороны сотрудников депо и локомотивных бригад: вырванные блоки и перерезанные провода – реалии бортовых микропроцессоров). Решение этой проблемы тесно связано с наличием третьей проблемы.

Третья и, пожалуй, наиболее сложная в плане решения проблема – низкий уровень правовой проработки вопроса. Современная ситуация такова, что выявить неисправность значительно проще, чем вызвать какую-либо реакцию на неё со стороны локомотивного хозяйства. В настоящий момент сервисные компании прилагают значительные усилия, чтобы быть услышанными в депо, но до тех пор, пока на тревожные сообщения не будет ответа, не будет достигнута конечная цель – повышение надёжности парка.

Впрочем, и констатация существующего положения дел, и определенное совершенствование процесса мониторинга технического состояния тепловозов отражают растущее внимание к обозначенным в статье проблемам.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система управления надёжностью локомотивов (АСУНТ). Концепция. – М., 2012. – 154 с.
2. Web-приложение АРМ «Борт». Инструкция пользователя. – Омск: ПКТП «Транспорт», 2010. – 37 с.
3. Микропроцессорная система управления тяговым подвижным составом МСУ-ТП. Техническое описание. – Коломна: ВНИКТИ, 2012. – 18 с.
4. АРМ «Осциллограф-2». Технические требования. – М.: Коломна, 2012. – 47 с. ●

## DIAGNOSING LOCOMOTIVES ACCORDING TO ONBOARD MICROPROCESSOR SYSTEM DATA

*Melnikov, Viktor A. – Ph.D. student at the department of locomotives and locomotive facilities of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

*The article deals with the diagnostic process automation on the basis of software with the use of data received from microprocessor systems installed on locomotives. The peculiarity of the approach under review is the use of the results of monitoring of*

*locomotives' technical condition for the accumulation of statics, which allows predicting the expected level of risks and planning corrective actions. The objective of the proposed project is, to provide timely prevention of faults, creating preconditions for objective analysis (operational control) and identifying certain trends.*