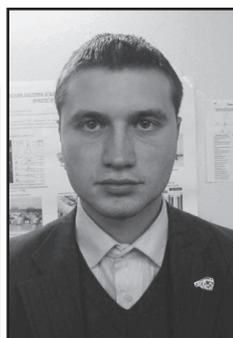


# Экспресс-диагностика тепловозных дизелей



Валентин БАЛАБИН  
Valentine N. BALABIN

Владимир КАКОТКИН  
Vladimir Z. KAKOTKIN



Иван ЛОБАНОВ  
Ivan I. LOBANOV

*Балабин Валентин Николаевич – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).*

*Какоткин Владимир Захарович – кандидат технических наук, доцент МИИТ.*

*Лобанов Иван Игоревич – аспирант МИИТ.*

***Рассмотрены способы определения параметров рабочего процесса тепловозного дизеля непосредственно в эксплуатации, выявления неисправностей в устройствах топливоподдачи и газораспределения. Приведены результаты мониторинга технического состояния дизеля, оценена экономическая эффективность системы экспресс-диагностики.***

***Ключевые слова:*** локомотивы, дизель, разделённый мониторинг, рабочий процесс, технико-экономическая эффективность.

**Н**е секрет, что сегодня в России парк тепловозов предельно изношен. Все тепловозы уже много лет назад выработали свой ресурс, состояние дизелей, других узлов и агрегатов оставляют желать лучшего. В последние годы снижение их мощности, топливной экономичности и надежности отрицательно сказывается на качественных и количественных показателях эксплуатационной работы, себестоимости перевозок.

Главная задача, решаемая сегодня с помощью нового оборудования: изучение параметров рабочего процесса тепловозного дизеля непосредственно в эксплуатации, выявление неисправностей в устройствах топливоподдачи и газораспределения.

Известно, что существуют две основных схемы диагностики рабочего процесса дизеля – стационарные и переносные.

К особенностям стационарных систем можно отнести:

- о высокую первоначальную стоимость установки;

- о ограниченное число типов и серий диагностируемых двигателей с требованием монтажа оборудования по индивидуальному проекту;

о удаленность оператора от двигателя в момент диагностирования;

о частичный расчет рабочего процесса.

В свою очередь к особенностям переносных систем относятся:

о возможность их применения для разных типов тепловозных дизелей;

о мониторинг и расчет рабочего процесса в реальном времени;

о необходимость длительной предварительной настройки под измерения определенных типов и серий двигателей;

о потребность в высоком профессиональном уровне инженера-испытателя.

Существующие сейчас громоздкие системы диагностики двигателей тепловозов спроектированы как единые программно-аппаратные комплексы, базирующиеся на стационарных компьютерах промышленного исполнения. Программное обеспечение в них работает в режиме реального времени, что требует определенных навыков от испытателей.

Несмотря на очевидное преимущество — получение моментального результата диагностики, — системы такого класса имеют ряд хронических недостатков, на которые указывают едва ли не во всех локомотивных депо. Главный недостаток: наличие большого количества кабельных линий, связывающих компьютер и датчики. Одновременный съем сигналов с многих датчиков, например с десяти фиксаторов цилиндрического давления дизеля типа Д100, заставляет думать о дополнительной индивидуальной тарировке самих приборов. Никто не дает гарантии идентичной работы всех датчиков, что автоматически влечет за собой погрешности в совокупный измерительный процесс.

Кроме того, изначально закладывается высокая стоимость диагностических систем, подразумевающая необходимость установки компьютеров промышленного исполнения по цене в 3–4 раза дороже аналогичных бытовых, равных им по производительности.

Одним из аргументов недостаточно широкого использования в локомотивных депо систем мониторинга ДВС являлись их сложность и высокая стоимость. Помимо этого стационарные системы предусматривают контроль параметров рабочего процесса только на территории пункта реостат-

ной диагностики. Оперативный мониторинг дизеля в межремонтный период не производится, во-первых, из-за отсутствия соответствующих приборов и оборудования, во-вторых, по причине нерентабельности трудоемких процессов. К тому же и обучение работе со стационарными системами требует длительного времени.

Следующий класс мониторинга — переносные системы на базе компьютеров notebook с использованием плат АЦП. Они отличаются повышенной надежностью и более короткими кабельными трассами, которые прокладываются только на момент индицирования. Однако наличие дорогих специфических формирователей сигналов и собственно самих notebook как неотъемлемых компонентов систем не позволяет снизить общую стоимость подобной диагностики.

Радикальное решение вопроса стоимости систем мониторинга, их доступности для проведения текущего технического обслуживания в локомотивных депо возможно лишь с появлением так называемого **разделенного мониторинга**. «Разделенный» означает, что сбор и предварительный расчет основных параметров производятся на отдельном устройстве (модуль реального времени «МРВ»), а полный расчет, анализ, печать графиков и таблиц отчета — на любом компьютере. Из систем полностью исключены кабельные трассы, а программное обеспечение устанавливается на любой ПК пользователя и работает под управлением ОС Windows (98/Me/2000/XP). Для диагностики дизеля не требуется его предварительная подготовка, применяется индивидуальный, прошедший длительное тестирование алгоритм синхронизации данных.

Система с разделенным мониторингом отличается:

о высокой мобильностью;

о простотой эксплуатации;

о невысокой стоимостью;

о широкой областью применения для различных типов и серий транспортных двигателей;

о ограниченным объемом информации в момент диагностирования;

о полным расчетом рабочего процесса только на внешнем компьютере;

о короткой связью переносного прибора и датчиков;





Параметры рабочего процесса дизеля

Параметры	Основные	Дополнительные
Среднее индикаторное давление	+	
Цилиндровая индикаторная мощность	+	
Частота вращения коленчатого вала двигателя	+	
Максимальное давление сжатия	+	
Максимальное давление сгорания	+	
Давление на линии расширения	+	
Угол, соответствующий максимальному давлению сгорания	+	
Максимальная скорость нарастания давления при сгорании (жесткость процесса)	+	
Степень повышения давления	+	
Давление начала сгорания	+	
Угол опережения начала сгорания	+	
Действительный угол начала подачи топлива	+	
Угол продолжительности подачи топлива		+
Оценка технического состояния форсунки		+
Определение фаз газораспределения		
➤ выпускного клапана		+
➤ впускного клапана		+
Оценка технического состояния механизма газораспределения		+
Давление в любой точке диаграммы		+
Угол и время задержки воспламенения топлива		+

о автономным питанием на 10 часов непрерывной работы;

о применением адаптированных программ Windows ПО на CD.

К исследуемым параметрам прежде всего относятся энергетические, характеристики тепловой и механической напряженности, фазы топливоподачи и газораспределения, а также общая оценка технического состояния двигателя внутреннего сгорания и его остаточного ресурса. Подробная информация по каждому цилиндру дает возможность реально контролировать мощность дизеля. Именно приборы разделенного сбора и последующая независимая обработка информации позволяют производить качественное техническое обслуживание двигателя и не допускать развития дефектов, приводящих к повышенному расходу топлива и авариям.

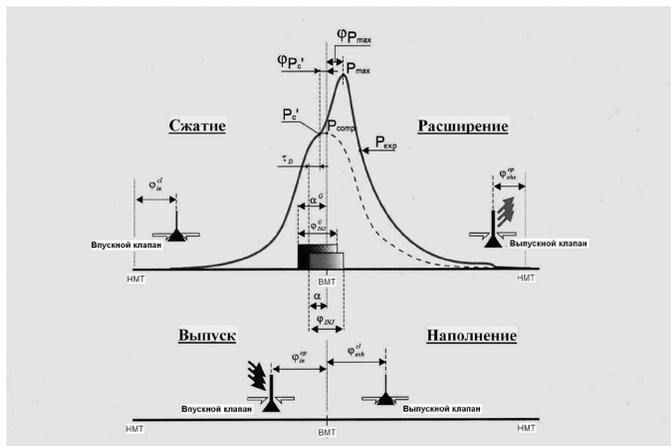
В системе использован уникальный высокоэффективный алгоритм безфазовой синхронизации — определение «мертвых» точек (ВМТ и НМТ), а также синхронизация полученных данных без участия датчиков на маховике двигателя. Параметры рабочего процесса цилиндра тепловозного дизеля фиксируются по трем информационным каналам:

- процесс и фазы сгорания топлива;
- процессы и фазы впрыскивания топлива по ТНВД и форсунке;
- фазы газораспределения выпускного и впускного клапанов.

Главным измерительным элементом системы является неохлаждаемый датчик объёмного типа PS-16 давления газов в цилиндре дизеля. Его показатели используются для последующего расчета индикаторной мощности цилиндра и определения основных параметров рабочего процесса.

У вибродатчика VS-20 вспомогательные функции. Анализ виброимпульсов различных узлов топливной аппаратуры и механизма газораспределения дизеля позволяет контролировать параметры топливоподачи и газораспределения.

На существующих системах установка фазового датчика и маркировка маховика выполняются на остановленном двигателе. Во время работы дизеля ВМТ смещается из-за скручивания коленчатого вала (пропорционально нагрузке), крутильных колебаний (особо явно это выражено на многоцилиндровых рядных двигателях), зазоров в кривошипно-шатунном механизме и других факторов, которые невозможно учесть в статике.



**Рис. 1. Общий вид индикаторной диаграммы рабочего процесса дизеля с совмещением характеристик топливоподачи и газораспределения.**

Предлагаемый в системе алгоритм автоматически учитывает влияние скручивания коленчатого вала на нагруженном двигателе и несоответствия между истинным положением ВМТ и маркировки ее на маховике, возникающего вследствие ошибок измерения и маркировки. Кроме того, алгоритм учитывает влияние конечной скорости прохождения волны давления в канале индикаторного крана (от камеры сгорания до мембраны датчика давления).

Что касается принципа разделенного мониторинга, то блок МРВ отделен от расчетного модуля (РМ) и выполнен на базе специализированного контроллера. Связь между МРВ и РМ осуществляется по последовательному интерфейсу. Система позволяет производить мониторинг рабочего процесса двух- и четырехтактных дизелей (во всех диапазонах частот вращения с разрешением не менее 0,5 градуса поворота коленчатого вала).

Изначально система была создана в лаборатории мониторинга судовых ДВС кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета и предназначалась для испытаний судовых дизелей, однако затем специалистами кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» МИИТ она успешно адаптирована под условия тепловозных силовых установок.

В таблице 1 представлены полные сведения о параметрах, диагностируемых системой экспресс-диагностики.

Общий вид индикаторной диаграммы рабочего процесса дизеля с соответствующим

совмещением характеристик топливоподачи и газораспределения показан на рис. 1.

Наиболее важный и трудоемкий процесс анализа данных производится на основе банка сведений, полученных статистическим путем. Выявлению поддаются следующие неисправности:

1. Замедленная подача топлива:
  - повреждение форсунки или сопла распылителя;
  - низкое качество топлива (если аналогичные данные по всем цилиндрам).
2. Малое опережение подачи топлива:
  - износ прецизионных деталей ТНВД;
  - подтекание нагнетательного клапана ТНВД;
  - чрезмерный износ или повреждение сопла форсунки.
3. Негерметичность рабочей камеры сжатия:
  - износ или повреждение поршневых колец;
  - подгорание головки цилиндра;
  - неплотность клапанов газораспределения;
  - возможное снижение давления наддува (если такие же данные по всем цилиндрам).

Специалисты МИИТ проводят испытания и внедрение системы в локомотивных депо промтранспорта (дизели 3А-6 Д49, 211ДЗ, ПД1М). Проведены предварительные испытания на тепловозах ОАО «РЖД» в депо Лихоборы, Люблино (дизели К6S310DR, 14Д40) и Узловая (дизели 12VFE 17/24 и 10Д100).

На рис. 2 показан момент проведения испытания дизеля 3 А-6 Д49.



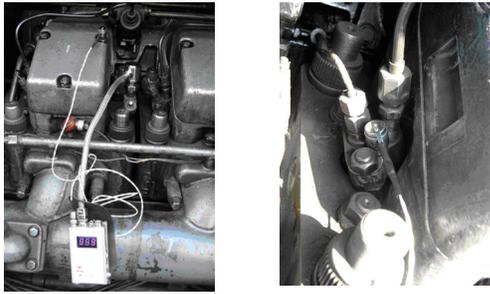


Рис. 2. Установка прибора на дизеле З А-6 Д49: а – датчик давления на индикаторном кране цилиндра; б – вибродатчик на корпусе форсунки.

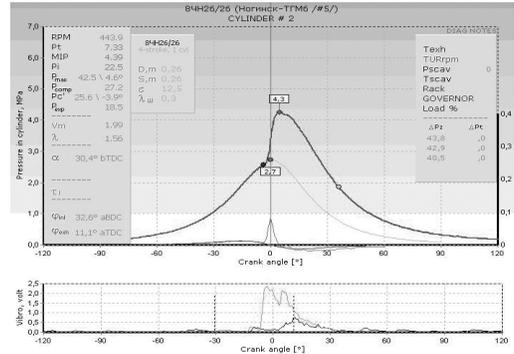
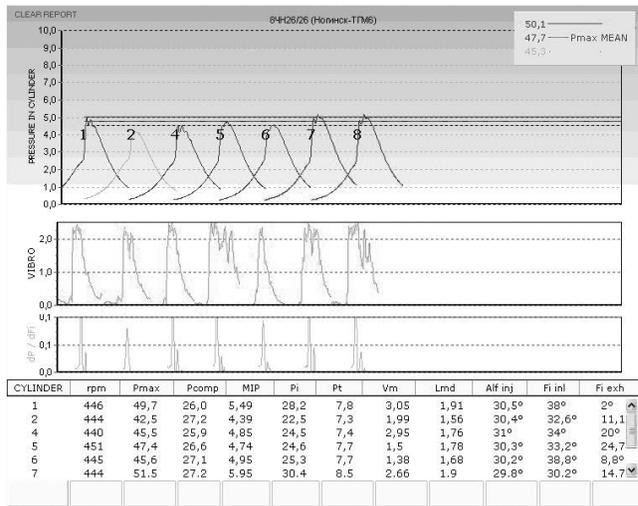


Рис. 3. Диаграмма цилиндра № 2.

Рис. 4. Сводная диаграмма результатов мониторинга дизеля З А-6 Д49.



Ниже представлены некоторые характерные индикаторные диаграммы, снятые на ЗА-6 Д49, а также описаны неисправности, выявленные по ним. Дизель был продиагностирован при частоте вращения коленчатого вала 439–453 (483–495) мин<sup>-1</sup>. На рис. 3 помещена диаграмма, полученная на цилиндре № 2.

Анализируя техническое состояние цилиндра № 2, можно отметить: падение максимального давления сгорания  $P_z$ , расширение и смещение вправо вибродиаграммы впрыска, смещение начала видимого сгорания  $P_c'$  вправо и, как следствие, — увеличение температуры отработавших газов. Важную роль в топливной системе играет действительный угол опережения подачи топлива, от него в немалой мере зависят продолжительность задержки воспламенения топлива в камере сгорания и все показатели рабочего процесса дизеля. В данном случае угол опережения подачи уменьшен, значительная часть цикловой подачи поступает в камеру сгорания после ВМТ, поэтому процесс сгорания происходит в основном на линии

расширения. В результате этого снижаются среднее эффективное давление и эффективный коэффициент полезного действия, увеличивается удельный эффективный расход топлива.

Требуется регулировка (увеличение) угла опережения подачи топлива и уменьшение индекса топливной рейки ТНВД. Вместе с тем необходимо проверить техническое состояние форсунки, ее настройку: качество распыла топлива и максимальное давление впрыска.

На рис. 4 представлена сводная диаграмма, снятая под нагрузкой. Вибродатчик VS-20 устанавливался на форсунку.

Следует обратить внимание на эту диаграмму. Максимальные давления сгорания топлива у цилиндров №№ 1, 4, 5 и 6 входят в номинальный диапазон. Значение  $P_z$  цилиндра № 2 ниже рекомендуемого минимального значения на этой позиции контроллера. Хорошо видно, что  $P_z$  цилиндров №№ 7 и 8 лежат выше допустимых значений. Сводная диаграмма характеризует общее техническое состояние дизеля, его индика-

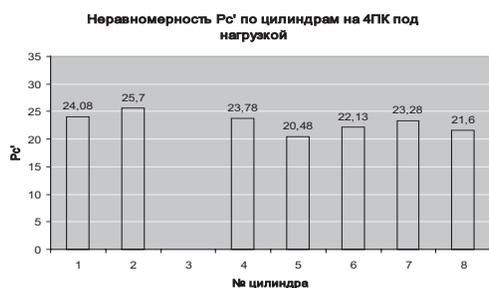


Рис. 5.

торные и технико-экономические показатели. Такой сводный отчет учитывается при очередных освидетельствованиях для возможного продления сроков эксплуатации двигателя. Также надо отметить, что сводные диаграммы на других режимах подтверждают: эти цилиндры тоже выпадают из номинального диапазона по  $P_z$ .

Полученные значения  $P_c$ ,  $P_z$  по цилиндрам обрабатываются с выдачей соответствующих гистограмм (рис. 5 и 6).

Индикаторный кран цилиндра № 3 был неисправен (заглушен канал), поэтому диагностика этого цилиндра не проводилась.

Анализ полученных значений давления начала сгорания  $P_c$ , максимального давления сгорания  $P_z$  и давления сжатия  $P_{comp}$  даёт полное представление о состоянии дизеля. Как видно из представленных диаграмм, разница значений  $P_c$ ,  $P_z$  и  $P_{comp}$  не очень ощутима. То, что цилиндры №№ 2, 7 и 8 выпадают из общей картины, позволяет предположить, что при работе двигателя возникают разностные механические напряжения в кривошипно-шатунном механизме, а также увеличивается общая вибрационная нагруженность, снижаются мощность и экономичность дизеля

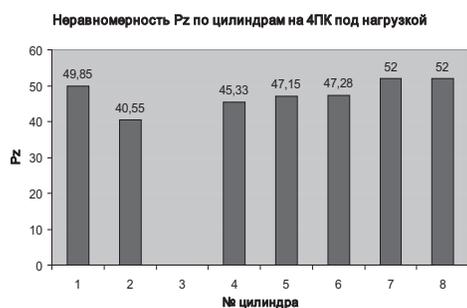


Рис. 6.

в целом. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что эти цилиндры дизеля нуждаются в более точной регулировке.

Технико-экономическая эффективность применения системы экспресс-диагностики обуславливается: а) снижением затрат на техническое обслуживание благодаря уменьшению числа разборок и вскрытий дизелей при переходе от планово-технических норм обслуживания и ремонта к обслуживанию и ремонту их по фактическому состоянию; б) снижением затрат на ремонт за счет выявления потенциальных отказов на ранней стадии их возникновения; в) сокращением расхода топлива путем своевременного обнаружения разрегулировки топливной аппаратуры высокого давления и фаз газораспределения.

Следует помнить, что эта система создана не для научных исследований, как может показаться при первом знакомстве, а для внедрения в локомотивных депо. Надежность, достоверность и удобство ее применения заслужили доверие в Великобритании, Франции, Италии, Испании, Греции, Турции, Индии, Новой Зеландии и других странах. ●

## PROMISING EXPRESS TROUBLESHOOTING OF LOCOMOTIVE DIESEL ENGINES

**Balabin, Valentine N.** – D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

**Kakotkin, Vladimir Z.** – Ph.D. (Tech), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

**Lobanov, Ivan I.** – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The authors study methods of detecting parameters of operation process of diesel engine in service, of troubleshooting in the systems of fuel supply and of gas distribution. They give some results of monitoring of diesel engines and estimate economic efficiency of proposed express troubleshooting.

**Key words:** locomotive, diesel engine, separated monitoring, operation process, technical and economic efficiency.

Координаты авторов (contact information): Балабин В. Н. – vbbn@nm.ru, Какоткин В. З. – vzkakotkin@mail.ru, Лобанов И. И. – Kaya2006@yandex.ru.

