

# Новая система мониторинга транспортных двигателей внутреннего сгорания

**В. Н. БАЛАБИН**, канд. техн. наук, доцент МИИТ,

**В. З. КАКОТКИН**, канд. техн. наук, доцент МИИТ,

**И. И. ЛОБАНОВ**, аспирант МИИТ

**Главные задачи, решаемые с помощью системы мониторинга двигателей (СМД) — определение основных параметров рабочего процесса транспортного двигателя внутреннего сгорания непосредственно в эксплуатации, выявление неисправностей в устройствах топливopодачи и газораспределения.**

## Краткие сведения о существующих системах диагностики ДВС

Сегодня известно, что существуют две основных схемы диагностики рабочего процесса дизеля — стационарные и переносные системы.

Стационарные системы, существующие в настоящее время, спроектированы как единые программно-аппаратные комплексы, базирующиеся на базовых компьютерах промышленного исполнения. Программное обеспечение в таких системах работает в режиме реального времени, что требует определенных навыков испытателей.

Несмотря на очевидное преимущество — получение моментального результата диагностики, системы такого класса имеют ряд хронических недостатков, на которые указывают практически во всех локомотивных депо. Главный недостаток, подтверждаемый всеми, — это наличие большого количества кабельных линий, связывающих компьютер и датчики. Наличие одновременного съема сигналов с многих датчиков, например с 10 одинаковых датчиков цилиндрического давления дизеля типа Д100, требует предварительной дополнительной индивидуальной тарировки самих датчиков. Никто не даст гарантии точной идентичной работы всех датчиков, что автоматически влечет значительные погрешности в сам 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 по производительности. Для любой компании-оператора промыш-

ленного транспорта это, несомненно, неоправданные затраты.

Одним из аргументов недостаточно широкого использования систем мониторинга ДВС в локомотивном хозяйстве являлась их сложность и высокая

стоимость. Использование систем оперативного мониторинга дизеля тепловоза в межремонтный период в настоящее время не производится из-за, во-первых, отсутствия соответствующих приборов и оборудования, во-вторых, нерентабельности выполнения трудоемких процессов. Обучение работе со стационарными системами требует длительного времени.

Переносные системы мониторинга двигателей, применяемые в настоящее

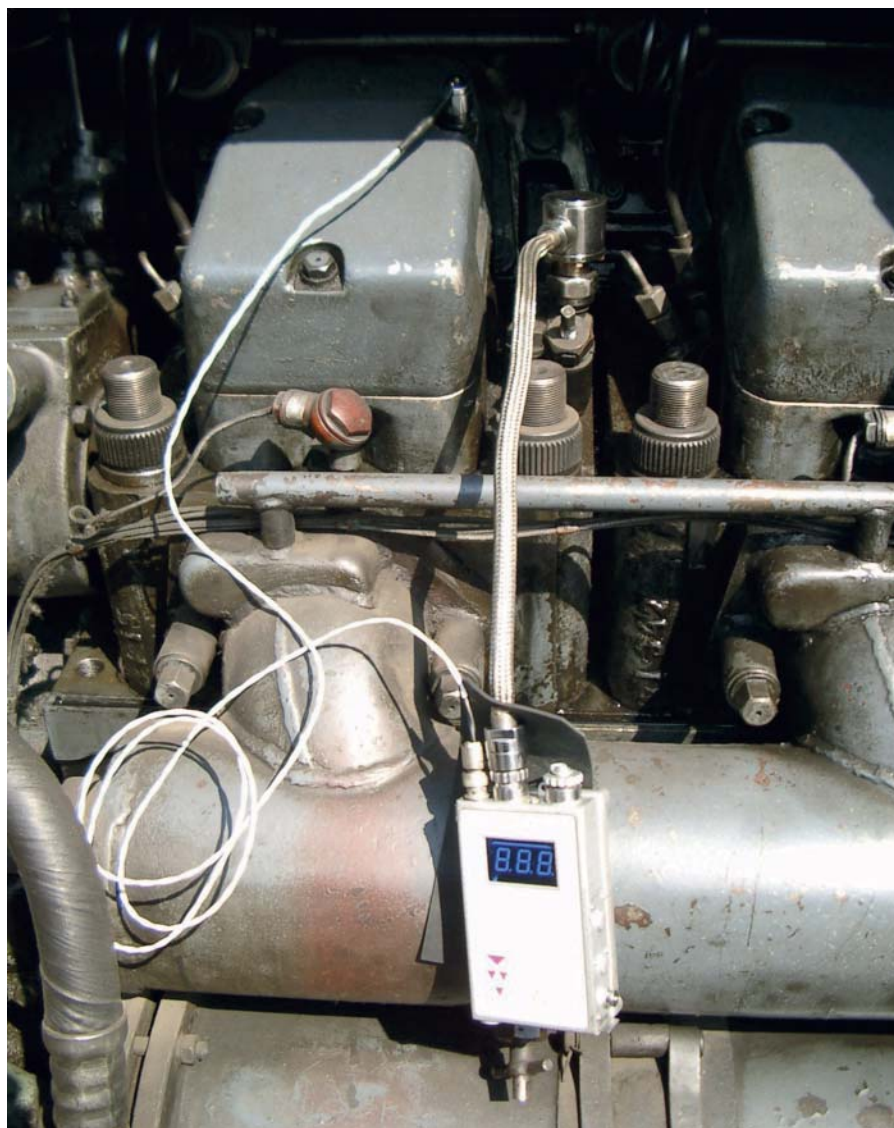


Рис. 1. Подсоединение датчика давления к индикаторному крану

время, базируются на основе notebook с использованием плат АЦП. Эти системы 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 позволяют снизить общую стоимость подобной диагностики.

Радикальное решение вопроса стоимости систем мониторинга, их доступности для проведения текущего технического обслуживания в локомотивных депо возможно только с появлением систем так называемого разделенного мониторинга, к которым относится СМД.

Система разделенного мониторинга означает, что сбор и предварительный расчет основных параметров производится на отдельном устройстве (модуль реального времени МРВ), а полный расчет, анализ, печать графиков и таблиц отчета — на любом компьютере, во внешнем программном обеспечении. Из систем полностью исключены кабельные трассы, а программное обеспечение устанавливается на любой ПК пользователя и работает под управлением ОС Windows (98/Me/2000/XP).

Данную систему разработала лаборатория «Мониторинг СДВС», созданная на базе кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета. Система адаптирована для мониторинга рабочего процесса судовых дизелей.

СМД отличается высокой мобильностью; простотой эксплуатации; невысокой стоимостью; широкой областью применения для различных типов и серий транспортных двигателей; ограниченным объемом информации в момент диагностирования; полным расчетом рабочего процесса только на внешнем компьютере; короткой связью переносного прибора и датчиков; автономным питанием на 10 ч непрерывной работы; применением адаптированных программ Windows ПО на CD.

Основной идеей разделенного мониторинга тепловозных дизелей является разбиение системы на два функциональных модуля — реального времени (МРВ) и расчетный (РМ). Модуль МРВ получает данные и производит предварительный расчет параметров в режиме реального времени — аппаратная часть системы.

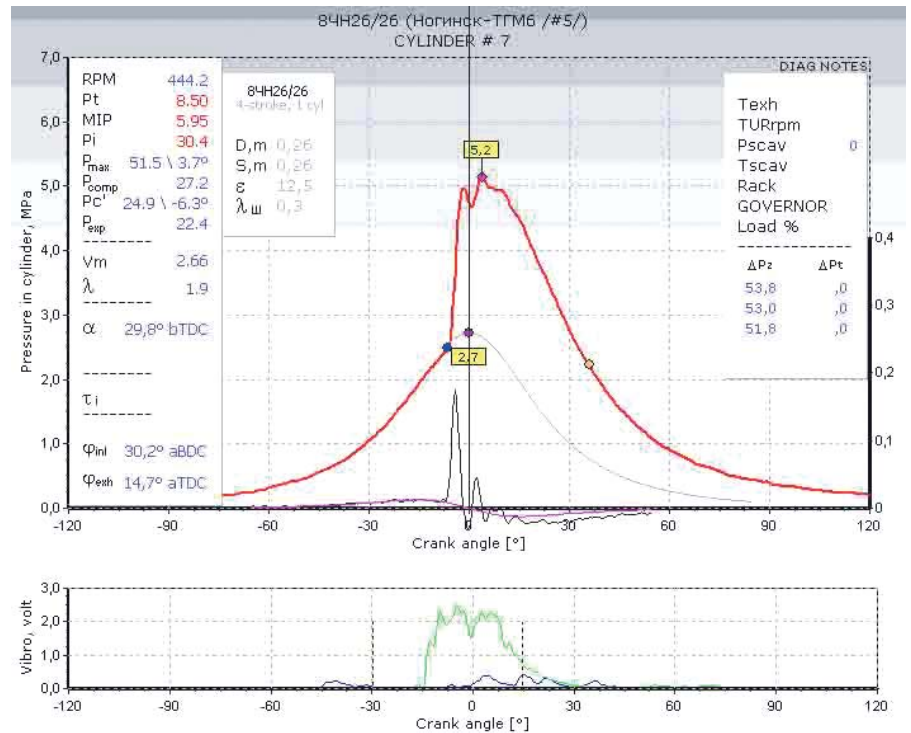


Рис. 2. Вид индикаторной диаграммы цилиндра дизеля 3А-БД49

К исследуемым параметрам прежде всего относятся энергетические факторы, характеристики тепловой и механической напряженности, фазы топливоподачи и газораспределения, а также общая оценка технического состояния двигателя внутреннего сгорания и остаточный ресурс. Такая подробная информация по каждому цилиндру дает возможность точного контроля мощности дизеля. Именно приборы разделенного сбора и последующей независимой обработки информации позволяют легко производить качественное техническое обслуживание дизеля и не допускать развития дефектов, приводящих к повышенному расходу топлива, а также к авариям.

В системе использован уникальный высокоэффективный алгоритм безфазовой синхронизации — определение мертвых точек (ВМТ и НМТ), а также последующая синхронизация полученных данных без использования различных датчиков, устанавливаемых на маховике двигателя. Предлагаемый алгоритм автоматически учитывает влияние скручивания коленчатого вала на многоцилиндровом нагруженном двигателе и также автоматически учитывает влияние несоответствия между истинным положением ВМТ и маркировкой 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).

Параметры рабочего процесса конкретного цилиндра тепловозного дизеля определяются по трем информационным каналам:

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

Большим достоинством СМД является то, что определение параметров топливоподачи и газообмена происходит без непосредственного внедрения в топливную систему высокого давления и механизм газораспределения.

Адаптация системы для мониторинга тепловозных ДВС проведена при участии специалистов кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» МИИТ.

Проведен ряд успешных испытаний системы разделенного мониторинга в локомотивных депо Лихоборы, Люблино (тепловозы ЧМЭЗ — дизель К6S-310DR) и Узловая (дизель-поезда Д1 — дизели 12VFE 17/24), а также в Ногинском ППЖТ (тепловозы ТГМ6А — дизели 3А-БД49).

СМД позволяет определить и рассчитать параметры, сведенные в *таблице*.

Кроме основной группы неисправностей, выявлению и анализу поддаются также следующие неисправности:

- неплотности в плунжерной паре и во впускных клапанах дизеля;
- недостаточный ход иглы форсунки;
- замедленная подача топлива: повреждение всасывающего клапана;

повреждение форсунки или сопла распылителя; низкое качество топлива (если такие данные по всем цилиндрам);

- повышенный износ прецизионных деталей ТНВД; подтекание нагнетательного клапана ТНВД; чрезмерный износ или повреждение сопла форсунки;

- 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).

### Некоторые результаты испытаний

Общий вид места подсоединения прибора СМД на дизеле Д49 показан на рис. 1.

Передача данных между модулями осуществляется по последовательному интерфейсу USB. Позже отчеты и диаграммы следует распечатать на принтере.

В локомотивном депо Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский Октябрьской железной дороги специалистами ООО «Диагностические измерительные комплексы на транспорте» («ДИК-Транс»), кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» МИИТ и с участием представителей локомотивного депо ТЧ7-Санкт-Петербург-Сортировочный проведена работа по оценке эффективности использования системы раздельного мониторинга тепловозных дизелей для оценки технического состояния тепловозных дизелей типа 6ЧН 31/36 и 12ДН 23/30.

В процессе работы были проверены дизели тепловозов ЧМЭЗТ-6461, ЧМЭЗТ-6910, ЧМЭЗТ-6375, М62-1625.

#### Тепловоз ЧМЭЗТ-6461

Диагностирование производилось на тепловозе, установленном на пункте реостатных испытаний, на режиме 0 позиции контроллера машиниста (ПКМ).

По результатам первичной оценки основных параметров работы дизеля были выявлены недопустимые отклонения показателей рабочего процесса по цилиндрам №№ 2 и 5 (завышенные значения максимального давления сгорания) и № 4 (заниженное значение показателя). Сводный график представлен на рис. 3а.

После регулировки выхода реек и угла опережения подачи топлива насосами высокого давления данных цилиндров проведено повторное диагностирование. По его результатам было установлено следующее:

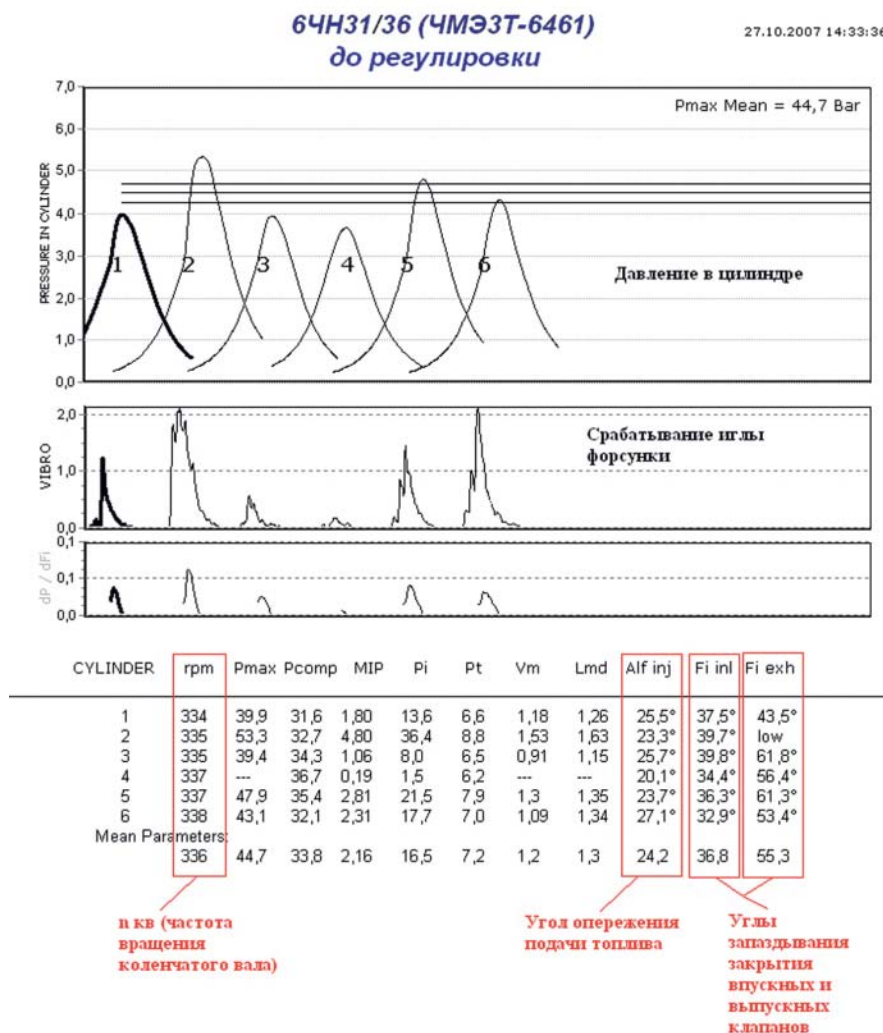


Рис. 3а. Сводная диаграмма всех цилиндров дизеля, снятая на 4 позиции контроллера до регулировки

- величина Pz на цилиндре № 2 стала 4,59 МПа, до регулировки составляла 5,33 МПа;

- величина Pz на цилиндре № 5 стала 4,36 МПа, до регулировки составляла 4,79 МПа;

- величина Pz на цилиндре № 4 стала 4,74 МПа, до регулировки составляло 3,67 МПа.

Сводный график представлен на рис. 3б.

Так как фазы газораспределения по запаздыванию закрытия впускных и выпускных клапанов не соответствовали паспортным данным, произвели оперативную регулировку фаз открытия и закрытия клапанов газораспределения цилиндров № 1, 2 и 6. До регулировки значение угла запаздывания закрытия выпускных клапанов цилиндра № 1 составляло 44,0° п.к.в. (при норме 55,0° п.к.в.), а запаздывания закрытия впускных — 34,0° п.к.в. (при норме 35,0° п.к.в.). После проверки и регулировки тепловых зазоров по данным клапанам произвели диагностирование, которое дало следующие результаты:

- значение угла запаздывания закрытия выпускных клапанов цилиндра № 1 составило 52,90° п.к.в. (при норме 55,0° п.к.в.);

- сигнал закрытия выпускных клапанов цилиндра № 2 не был зафиксирован; значение угла запаздывания впускных клапанов составило 35,70° п.к.в.;

- значение угла запаздывания закрытия выпускных клапанов цилиндра № 6 составило 52,90° п.к.в., а впускных — 34,40° п.к.в., что соответствует норме.

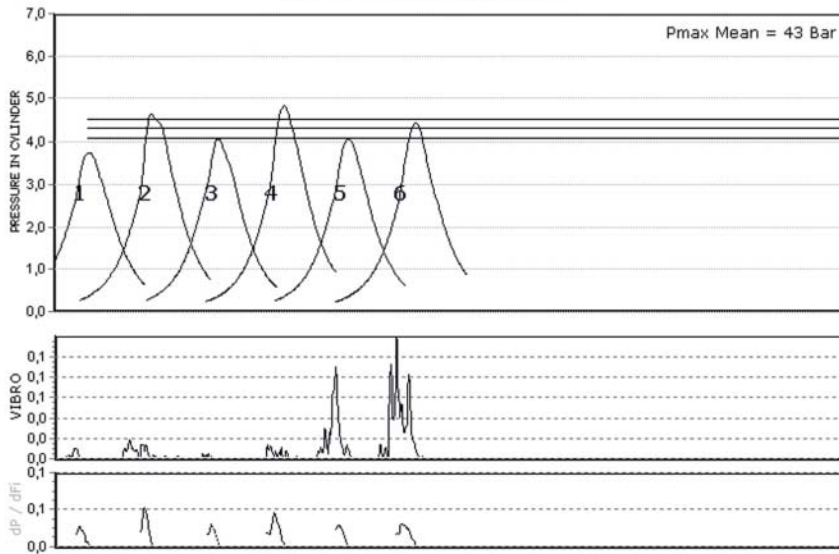
После проведенных регулировок тепловоз прошел полный комплекс реостатных испытаний, в процессе которых на максимальной позиции контроллера получена нормативная эффективная мощность дизеля. Зафиксирована устойчивая работа дизеля и бесцветный выхлоп.

#### Тепловоз М62-1625

Диагностирование дизеля тепловоза М62-1625 проводилось на режиме холостого хода (по условиям локомотивного депо).

**6ЧН31/36 (ЧМЭЗТ-6461)  
после регулировки**

27.10.2007 17:34:55



CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
1	341	37,4	31,1	1,63	12,6	6,3	0,93	1,2	low	33,9°	52,9°
2	340	46,4	33,4	2,64	20,4	7,5	1,72	1,39	28,8°	35,7°	low
3	335	40,8	33,5	1,42	10,8	6,6	1,09	1,22	low	38,4°	53,9°
4	346	48,4	34,9	2,69	21,0	7,8	1,36	1,38	15,8°	33,7°	51,2°
5	340	40,6	33,5	1,40	10,7	6,6	1,06	1,21	28,1°	37,4°	56,4°
6	341	44,3	32,8	2,46	19,0	7,2	1,17	1,35	30,6°	34,4°	52,9°
Mean Parameters:											
	341	43,0	33,2	2,04	15,8	7,0	1,2	1,3	25,8	35,6	53,5

**Рис. 36.** Сводная диаграмма всех цилиндров дизеля, снятая на 4 позиции контроллера после регулировки

В ходе испытаний системы было установлено следующее:

- полученные значения давления сжатия на всех цилиндрах находятся в допустимом диапазоне номинальных значений;
- по показателям максимального давления сгорания на режиме холостого хода зафиксирована неравномерность в 0,55 МПа, что не выходит за пределы допуска (0,784 МПа);
- цилиндры дизеля 1л, 2л, 4л, 5л, 6л, 1пр имеют незначительные отклонения по углу опережения впрыска топлива.

**Технико-экономическая  
эффективность  
применения СМД**

Обусловливается 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; снижением затрат на ремонт за счет выявления потенциальных отказов на ранней стадии их возникновения; сокращением расхода топлива путем своевременного обнаружения разрегулировки топливной аппарату-

ры высокого давления и фаз газораспределения.

**Общие выводы**

Анализ результатов проведенных испытаний свидетельствует о следующем:

- СМД является эффективным средством оценки технического состояния тепловозных дизелей и позволяет сделать заключение о качестве рабочего процесса в цилиндрах дизеля, выявлять отклонения в работе топливной аппаратуры высокого давления и механизме газораспределения;
- СМД выгодно отличается от других подобных систем диагностирования дизелей оперативностью, надежностью и точностью получения требуемой информации.

Область применения системы достаточно широка. СМД может быть использована для оценки технического состояния дизелей как в процессе эксплуатации, когда требуется оперативно определить причины ухудшения показателей работы тепловоза и дизеля, так и при проведении послеремонтной настройки оборудования на реостате.

**Параметры рабочего процесса дизеля, контролируемые СМД**

Параметры	Базовые	Дополнительные
Среднее индикаторное давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	+	
Цилиндровая индикаторная мощность, кВт	+	
Частота вращения коленчатого вала двигателя, мин <sup>-1</sup>	+	
Максимальное давление сжатия, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	+	
Максимальное давление сгорания, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	+	
Давление на линии расширения, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	+	
Угол, соответствующий максимальному давлению сгорания, градус	+	
Максимальная скорость нарастания давления при сгорании (жесткость процесса), МПа/град (кгс/см <sup>2</sup> градус)	+	
Степень повышения давления	+	
Давление начала сгорания, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	+	
Угол опережения начала сгорания, градус	+	
Действительный угол начала подачи топлива, градус	+	
Угол продолжительности подачи топлива, градус		+
Оценка технического состояния форсунки		+
Определение фаз газораспределения, градус		
➤ выпускного клапана		+
➤ впускного клапана		+
Оценка технического состояния механизма газораспределения		+
Давление в любой точке диаграммы, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )		+
Угол и время задержки воспламенения топлива, градус, с		+