

**ВИБРАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА КОМПОНЕНТАХ
ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ COMMON RAIL В СОСТАВЕ
ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**
**VIBRATION MEASUREMENT FUEL SYSTEM COMPONENTS
COMMON RAIL AS PART OF DIESEL ENGINE**

Кухаренко Г.М., доктор технических наук, профессор;
Жарнов М.В., доктор технических наук, профессор
Kukharenok G.M., Doctor of Technical Sciences, professor;
Zharnov M.V., Doctor of Technical Sciences, professor

Аннотация. *Приведены результаты вибрационных измерений на компонентах топливной системы Common Rail в составе дизельного двигателя.*

Abstract. *The results of vibration measurements on a component fuel system as part Common Rail diesel engine.*

На сегодняшний день большинство современных дизельных двигателей автомобильного, внедорожного и промышленного применений оснащены топливной системой Common Rail с электронным управлением. Высокотехнологичные компоненты этой системы работают нормально при определенных условиях. Одним из таких условий является то, что значение вибрационной нагрузки компонентов, установленных на двигателе меньше значения, полученного в ходе стендовых испытаний этого компонента на виброустойчивость. Таким образом, целью вибрационных измерений являлась проверка данного соответствия, а задачей – определение виброускорений компонентов установленных непосредственно на двигателе.

Объектом исследования являлась топливная система Common Rail установленная на дизельном двигателе Д-245.7Е4 производства ОАО «Минский моторный завод» предназначенного для автомобилей ГАЗ-3309 ОАО «Горьковский автомобильный завод».

Технические характеристики дизельного двигателя ММЗ Д245.7Е4 указаны в таблице 1.

Топливная система Common Rail двигателя Д-245.7Е4 (рисунок 1) состоит из: топливного насоса высокого давления (ТНВД) СВ28, аккумулятора топлива HFRN16, форсунок CRIN2, датчиков частоты вращения DG6 (коленчатого вала и кулачкового вала ТНВД), датчиков состояния рабочей среды (давления и температуры топлива и воздуха), электромагнитных исполнительных механизмов (регулятора давления, электромагнитных клапанов форсунок), электронного блока управления, топливопроводов низкого давления, топливопроводов высокого давления, фильтра тонкой очистки топлива, фильтра предварительной (грубой) очистки топлива, топливного бака.

Таблица 1 – Характеристика двигателя Д245.7Е4

Наименование параметров	Единица измерения	Значение
Тип дизеля		Четырехтактный, с турбонаддувом и охлаждением наддувочного воздуха
Экологический уровень		Евро 4
Способ смесеобразования		Объемное смесеобразование
Число и расположение цилиндров	шт.	4
Расположение цилиндров		рядное, вертикальное
Рабочий объем цилиндров	л	4,75
Порядок работы цилиндров		1-3-4-2
Диаметр цилиндра	мм	110
Ход поршня	мм	125
Степень сжатия (расчетная)		17
Мощность номинальная	кВт	95,6
Мощность полезная	кВт	91,8
Минимальная частота вращения	мин ⁻¹	800
Номинальная частота вращения	мин ⁻¹	2200
Максимальная частота вращения	мин ⁻¹	2550
Удельный расход топлива при эксплуатационной мощности	г/кВт·ч	225
Максимальный крутящий момент в комплектации дизеля для определения номинальной мощности	Н·м	422
Частота вращения при максимальном значении крутящего момента, не менее	мин ⁻¹	1100-2100
Масса дизеля, не заправленного горюче-смазочными материалами и охлаждающей жидкостью, в комплектации по ГОСТ 18509 для определения номинальной мощности	кг	430

Вибрационные измерения проводились на компонентах топливной системы представленных в таблице 2.

Двигатель был установлен на моторном стенде на четырех резинометаллических амортизаторах.

При помощи двухкомпонентного клея НВМ Х60 акселерометры крепились на компоненты в определенных точках в соответствии с технической документацией. Необходимо было определить ориентацию датчиков отно-

сительно компонента (рисунки 2, 3, 4) для дальнейшего анализа результатов. Каждой точке присваивалось имя, которое вместе с ориентацией датчика, вводилось в программу ПК (EdasWin 12.94) для записи сигнала.

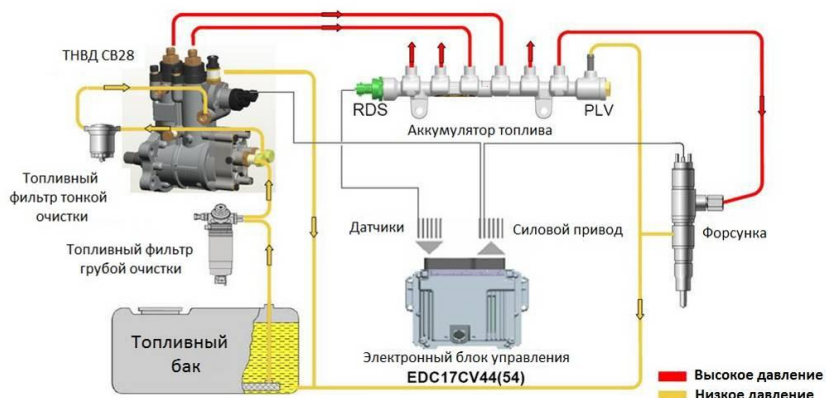


Рисунок 1 – Схема топливной системы Common Rail с ТНВД СВ28 для двигателя Д-245.7Е4

Таблица 2 – Компоненты топливной системы на которых проводились измерения

Компонент	Точки замера
1. ТНВД (СВ28):	
	фланец насоса
	подкачивающий насос (VP)
	регулятор давления (ZME)
2. Форсунка (CRIN2)	+
3. Топливный аккумулятор (HFRN16):	
	датчик давления топлива (RDS)
	предохранительный клапан (PLV)
4. Датчик температуры и давления масла (DS-K-TF)	+

Перед измерениями двигатель прогрели до рабочей температур охлаждающей жидкости и масла в соответствии с ГОСТ 14846-81.

Вибрационные измерения на элементах топливной системы дизеля Д-245.7Е4 проводились на моторном стенде во всем диапазоне внешней

скоростной характеристики двигателя, т.е. при работе двигателя на режиме ускорения от холостого хода до номинальных оборотов коленчатого вала при полной нагрузке за время равное двум минутам и при плавном непрерывном повышении оборотов коленчатого вала двигателя.

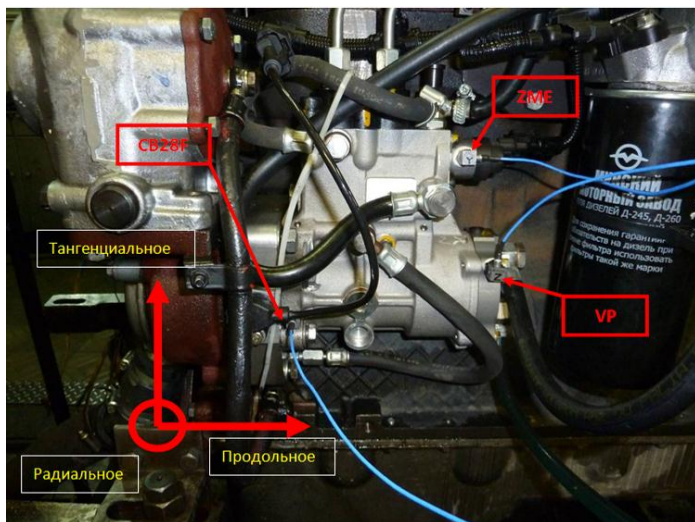


Рисунок 2 – Установка вибрационных преобразователей на ТНВД СВ28

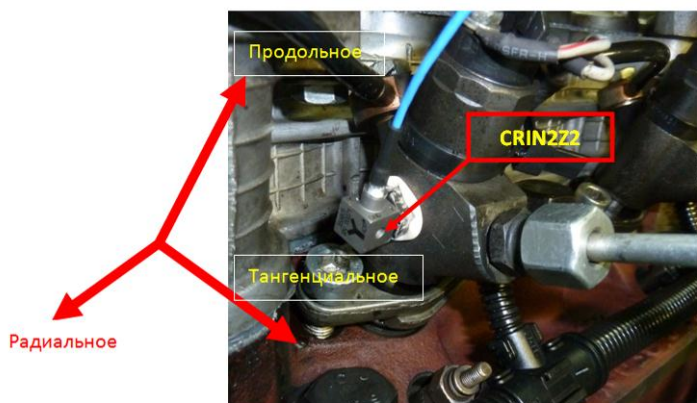


Рисунок 3 – Установка вибрационного преобразователя на форсунку

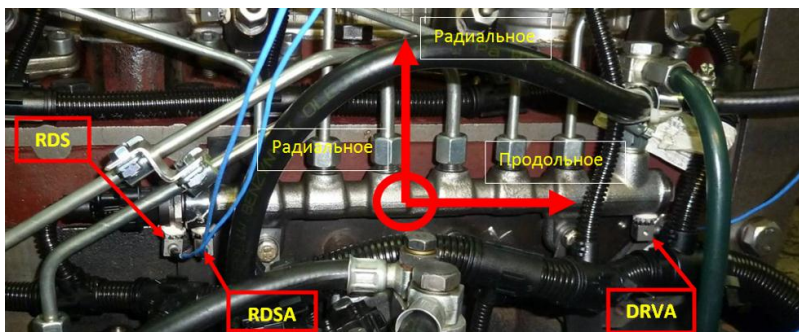


Рисунок 4 – Установка вибрационных преобразователей на топливном аккумуляторе

Для вибрационных измерений использовалось следующее оборудование:

- трехкомпонентный вибрационный преобразователь (акселерометр);
- преобразователь сигналов DATaRec с блоком питания;
- блок разрывов (Breakout Box);
- персональный компьютер со специальным программным обеспечением (ПО).

Схема подключения оборудования представлена на рисунке 5.

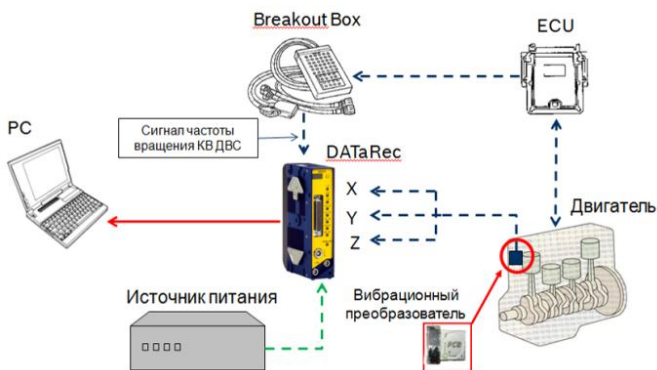


Рисунок 5 – Схема подключения оборудования для вибрационных измерений

Трехкомпонентные вибрационные преобразователи (акселерометры) фирмы PCB Piezotronics модели 356B11 являются пьезоэлектрическими. Преобразователи созданы на основе пьезоэлектрических интегральных микросхем (ICP) и содержат встроенные микроэлектронные схемы форми-

рования сигнала. Такие схемы работают по двухпроводной системе и требуют постоянного питания током возбуждения и превращают высокоомный сигнал заряда, генерируемый в пьезоэлектрическом кристалле, в низкоомный сигнал напряжения, который легко использовать для передачи и анализа. Вибрационные преобразователи ICP могут работать в грязных условиях промышленного производства или в жидкостях.

Технические характеристики акселерометра PCB 356B11 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики акселерометра PCB 356B11

Наименование параметров	Единицы измерения	Значение
Динамические характеристики		
Чувствительность по напряжению ($\pm 10\%$)	мВ/мс ²	1.02
Диапазон измерений	м/с ²	± 4905
Частотный диапазон (ось Y или Z)	Гц	2÷10000
Частотный диапазон (ось X)	Гц	2÷7000
Резонансная частота установленного акселерометра	кГц	55
Нелинейность	%	≤ 1
Поперечная чувствительность	%	≤ 5
Характеристики окружающей среды		
Максимальный неразрушающий удар (пиковое значение)	м/с ²	98100
Рабочий температурный диапазон	°C	-54÷+121
Электрические характеристики		
Напряжение возбуждения (напряжение постоянного тока)	В	18÷30
Ток источника питания	мА	2÷20
Выходное полное сопротивление	Ом	≤ 200
Выходное напряжение смещения	В	7÷11
Физические характеристики		
Чувствительный элемент		керамика
Материал корпуса		титан
Размеры (высота × длина × ширина)	мм	10.2 × 10.2 × 10.2
Вес (без кабеля)	г	4
Длина кабеля	м	1.5

Модуль HEIM DATARec DIC24 с 24-мя каналами выполняет функции сбора данных. Модуль работает с программой пользовательского интерфейса EdasWin 12.94 (подключение к ПК через USB 2.0). Каждый входной канал является полностью независимым и состоит из усилителя, преобра-

зователя и фильтра защиты от наложения спектров. Особенностью модуля является то, что один из входных каналов может быть использован для записи частоты (1/мин).

Технические характеристики модуля HEIM DATaRec DIC24 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики модуля HEIM DATaRec DIC24

Наименование параметров	Единицы измерения	Значение
Количество каналов	шт.	24
Частота дискретизации	Гц	350÷50000 Гц с шагом 10 Гц
Полоса пропускания	кГц	макс. 20
Аналогово-цифровой преобразователь	бит	24
Динамический диапазон	дВ	> 90
Суммарное значение коэффициента нелинейных искажений	дВ	< -90
Входное полное сопротивление	МОм	1
Мощность ICP (напряжение постоянного тока, сила тока)	В	22
	мА	4
потребляемая мощность	Вт	15
Входное напряжение (постоянного тока)	В	17÷28

Блок разрыва цепей (breakout box) предназначен для параллельного подключения к электронному блоку управления (ECU) с целью контроля входных и выходных сигналов, а также поиска неисправностей в системах автомобиля. В данном случае он используется для снятия и передачи сигнала частоты вращения коленчатого вала двигателя от ЭБУ к модулю HEIM DATaRec DIC24.

Результатом вибрационных измерений является запись общего значения виброускорения по времени в трех направлениях с каждого акселерометра (рисунок 6).

Анализ результатов вибрационных измерений сводится к сравнению пиковых значений виброускорений компонентов топливной системы при испытаниях на двигателе и вибрационных стендах, так называемых профайлов (предельно допустимых значений). Если максимальные значения виброускорений компонента измеренные на моторном стенде превышают профайл, то применение данного компонента на двигателе такой конструкции недопустимо, т.к. возможен выход его из строя. Каждый элемент топливной системы имеет свой собственный профайл.

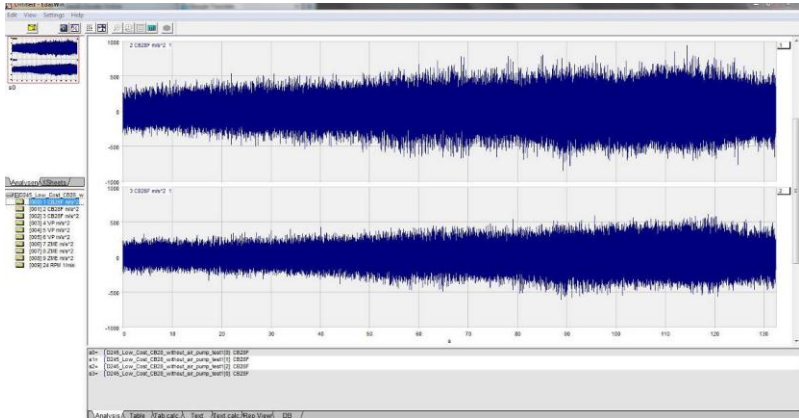


Рисунок 6 – Запись общих значений виброускорения по времени с акселерометра, установленного на фланце ТНВД СВ28

Сравнение проходит на графиках зависимостей пиковых значений виброускорений компонента от частот колебаний системы, полученных при помощи FFT-анализатора и от частоты вращения коленчатого вала двигателя (рисунок 7).

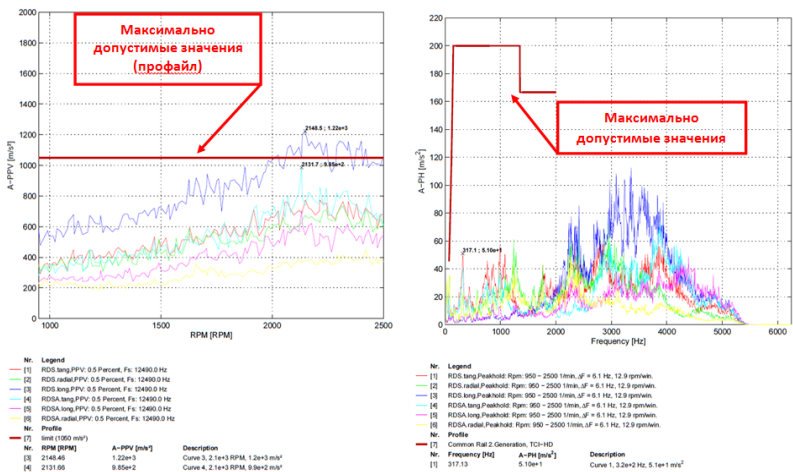


Рисунок 7 – Графики зависимостей пиковых значений виброускорений датчика давления топливного аккумулятора от частоты вращения коленчатого вала двигателя и частоты колебаний системы

Для примера рассмотрены вибрационные измерения на датчике давления топливного аккумулятора (RDS).

Как видно из графиков (рисунок 7), были превышены максимально допустимые пиковые значения виброускорения при частотах вращения коленчатого вала двигателя в диапазоне от $n = 2000$ об/мин до $n = 2400$ об/мин. Так как полученные значения находились выше максимально допустимых (профайлов), то был сделан вывод о невозможности применения этого датчика давления на двигателе данной конструкции. Требовалась доработка конструкции крепления топливного аккумулятора, что и было сделано перед выпуском двигателя в серию.

Литература

1. Дизели Д-245.7Е4, Д-245.9Е4. Технические условия: ТУ ВУ 101326441.193-2010. – Введ. 07.06.10. – Минск: Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, 2010. – 27 с.
2. DATaRec 4Dic24: Technical Specification : Document No.: 54054106 / ZODIAC Data Systems GmbH. – 2 p.
3. Accelerometer ICP, Triaxial 356B11: Technical Specification : Document No.: 32784 / PCB Piezotronics, Inc. – 1 p.

УДК 621.436

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАЗНОГО ВПРЫСКА ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ MULTI-PHASE INJECTION FOR WORK ON COMPOSITE PROPELLANT

Петрученко А.Н., кандидат технических наук, доцент;

Гершань Д.Г., аспирант

Petruchenko A.N., Candidate of Technical Sciences, associate professor;

Gershan D.G., graduate student

Аннотация. *Выполнен анализ возможности применения многофазного впрыска при работе на смеси топлива.*

Abstract. *An analysis of the possibility of applying multiphase injection for work on composite propellant.*

Многофазный впрыск топлива можно получить с помощью систем аккумуляторного типа, имеющим электронное управление движением иглы форсунки, а также топливным системам укомплектованным насос-форсунками с