

СТЕНД ДЛЯ ВИБРОДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ю. В. Прилепский^а, к.т.н., доцент; А. Д. Бумага^б, к.т.н., доцент; Л. В. Целуйко^б, С. А. Ткачев^а

^а) ОО ВПО «Донецкая академия транспорта»,

^б) ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. В статье рассмотрена возможность создания специализированного стенда для вибродиагностики автомобильных двигателей внутреннего сгорания с учетом специфических требований, предъявляемых к оборудованию подобного класса. Проанализированы конструкции существующих стендов для холодной и горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания, представлены их достоинства и недостатки. Выбраны материалы для каркаса стенда с учетом повышенной демпфирующей способности, осуществлен расчет усилий в стенде, разработан эскизный проект, выбрано основное технологическое оборудование.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, диагностика, стенд технологический, обкатка холодная, обкатка горячая, рама опорная, датчик вибрационный, осциллограмма вибросигнала.



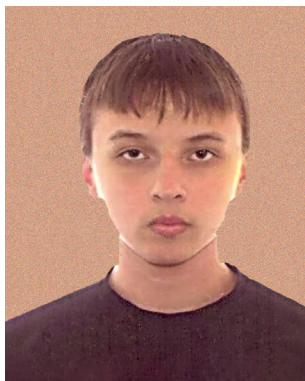
**Прилепский
Юрий Валентинович**



**Бумага
Александр Дмитриевич**



**Целуйко
Лариса Владимировна**



**Ткачев
Сергей Анатольевич**

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Комплексная диагностика автотранспортных средств – залог качественного планирования и проведения обслуживания и ремонтов с наименьшими затратами [1]. Современные автомобили оснащены бортовыми системами диагностики, которые регистрируют основные технологические параметры и их изменения в процессе эксплуатации. Бортовые средства диагностики дополняются стационарным диагностическим оборудованием автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания. Одним из самых сложных агрегатов автомобиля является двигатель внутреннего сгорания. Вместе с тем, многие процессы, происходящие в двигателях внутреннего сгорания, остаются неконтролируемыми средствами бортовой диагностики и могут быть исследованы на сложных диагностических комплексах в условиях АТП и СТО. В частности, это касается процессов сгорания топлива и формирования рабочего тела в цилиндрах двигателя.

Существующие конструкции стендов для холодной и горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания проблематично использовать для вибродиагностики, поскольку стальной каркас предопределяет устойчивый резонанс упругих колебаний в элементах каркаса, а на стендах с жестким бетонным основанием создает наводки (шумы) от работающего технологического оборудования. Все это в значительной мере искажает показания вибродатчика и снижает точность результатов анализа.

В настоящее время коллективами кафедры «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры и кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» Донецкой академии транспорта

создается стенд, специализированный под вибрационную диагностику автомобильных двигателей внутреннего сгорания.

Основная цель создания стенда – детальное изучение физической природы возникновения упругих колебаний в цилиндрах двигателя при формировании рабочего тела и реализации энергии в такте расширения, а также изучения влияния различных факторов на параметры вибросигнала.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

При выборе компоновки стенда для вибродиагностики исходили из следующих предпосылок:

- стенд должен обеспечивать холодную и горячую обкатку автомобильных двигателей, прошедших капитальный ремонт;
- горячую и холодную обкатку должны проходить разные типы автомобильных двигателей;
- двигатель внутреннего сгорания должен крепиться на станине, изготовленной из материала, обладающего повышенными демпфирующими свойствами в частотном диапазоне упругих колебаний 2000 ... 8000 Гц. Повышенная демпфирующая способность необходима для устранения посторонних упругих колебаний;
- конструкция стенда должна обеспечивать быструю переналадку на определённый тип автомобильного двигателя.

При выборе материала станины было определено, что с точки зрения демпфирующей способности в диапазоне частот 2000 ... 8000 Гц и механических характеристик наиболее приемлемой оказалась древесина. Вместе с тем, древесина – пожароопасный материал. Для снижения пожароопасности древесину предполагается обрабатывать специальными растворами, предотвращающими возгорание.

Для предотвращения непосредственного упругого контакта с напольным покрытием помещения, опорная часть станины стенда должна иметь демпфирующую прослойку.

Два варианта кинематической схемы привода стенда приведены на рис. 1.

Как следует из приведенного рисунка, стенд должен обеспечивать обкатку и вибродиагностику двигателей внутреннего сгорания с передачей крутящего момента от выпуска коленчатого вала непосредственно на вал электрического генератора (двигателя) и иметь возможность передачи крутящего момента через

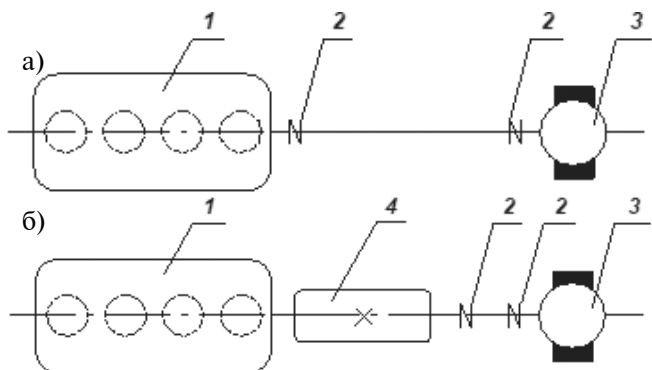


Рис. 1. Кинематические схемы привода, реализуемые на стенде:

- 1 – двигатель внутреннего сгорания, 2 – муфты карданные (либо с эластичными вставками), 3 – генератор (двигатель) электрический, 4 – коробка переменных передач

а) схема с непосредственной передачи крутящего момента от ДВС к электрическому генератору (двигателю), б) схема передачи крутящего момента через коробку переменных передач

штатную коробку переменных передач. Последний вариант позволяет оценить с помощью вибродиагностики качество работы передач зацеплением в коробке переменных передач.

За прототип проектируемого стенда взят стенд холодной и горячей обкатки КС-276-032, позиционируемый как универсальный стенд для обкатки всех типов двигателей внутреннего сгорания – ДВС (дизельных, бензиновых) легковых и грузовых автомобилей, автобусов, тракторов, специальной и строительной техники.

Стенд позволяет выполнять приработку и испытание ДВС различных марок грузовых и легковых автомобилей, автобусов, тракторов:

- в холодном режиме;
- в горячем без нагрузки;
- в горячем под нагрузкой.

Для проектируемого стенда полностью подходят технические параметры, состав и компоновка технологического оборудования. Вместе с тем, наличие стальной каркасной рамы может вызывать резонанс упругих колебаний на повышенных частотах, что вызовет искажения и «шум» при вибродиагностике ДВС.

Определение энергосиловых параметров стенда осуществляли на основании принятых методик холодной и горячей обкатки. Рекомендуемые режимы холодной обкатки ДВС приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Типовые режимы холодной обкатки ДВС

Продолжительность обкатки (мин)	Частота вращения коленчатого вала	
	мин ⁻¹	с ⁻¹
2	600	10
2	800	13,3
3	1000	16,7
5	1200	20
5	1400	23,3

Таблица 2.

Пример режимов горячей обкатки ДВС *

Продолжительность обкатки двигателя (мин)	Частота вращения коленчатого вала			Нагрузка, Н*м
	в % от номинальных	мин ⁻¹	с ⁻¹	
30	48-57	2688-3192	44,8-53,2	0
30	57-67	3192-3752	53,2-62,5	16
30	67-75	3752-4200	62,5-70	33
30	75-90	4200-5040	70-84	50
30	90-95	5040-5320	84-88,7	65
30	95-100	5320-5600	88,7-93,3	80

* режимы приведены для ДВС 21011

Для горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания, как правило, используются режимы без нагрузки и под нагрузкой. Пример режимов горячей обкатки представлен в таблице 2.

Основным силовым показателем, определяющим дополнительную нагрузку на раму стенда в процессе обкатки, является крутящий момент между ДВС и электрической машиной. В процессе холодной обкатки этот момент будет определяться в основном моментом сопротивления кручению коленчатого вала при неработающем ДВС:

$$M_c = 390 \cdot V_h \left(\varepsilon + 6\sqrt{\delta_h} + k_m \left(1 + \frac{\delta_h^2}{8} \right) \sqrt{2\pi \cdot v \cdot n_{np}} \right), \quad (1)$$

где V_h - рабочий объем цилиндров ДВС, м³;

ε - степень сжатия;

δ_h - коэффициент неравномерности вращения коленчатого вала;

k_m - коэффициент, равный 3,8 для бензиновых двигателей и 2,8 для дизельных;

v - кинематическая вязкость масла двигателя в начале обкатки, Ст;

n_{np} - средняя частота вращения коленчатого вала в режиме установившегося прокручивания, с⁻¹.

Коэффициент неравномерности вращения коленчатого вала в режиме установившегося прокручивания принимаем равным $\delta_h = 1,3$.

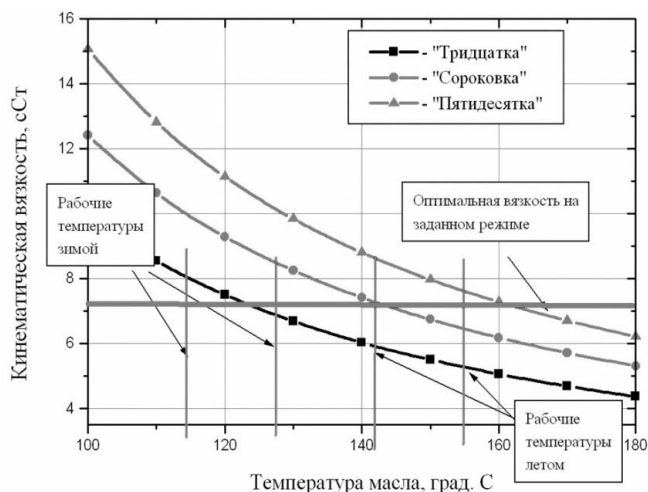


Рис. 2. Зависимость кинематической вязкости моторного масла от температуры

Для определения кинематической вязкости моторного масла использовали графическую зависимость, представленную на рис. 2.

При определении вязкости моторного масла исходили из того, что холодная обкатка ДВС осуществляется в производственном помещении, где температура не опускается ниже +10 °С. Для расчетов использовали моторное масло 10W40 (на графике – «сороковка», см. рис. 2).

С помощью редактора «Excel» перестроили представленную зависимость в виде отдельного графика (см. рис. 3), определили линию тренда и полиномиальную зависимость вязкости моторного масла от температуры.

С помощью полученной полиномиальной зависимости методом экстраполяции определили, что при температуре окружающей среды +10 °С, вязкость моторного масла 10W40 составляет $\nu_{Ст} \approx 0,34$ Ст.

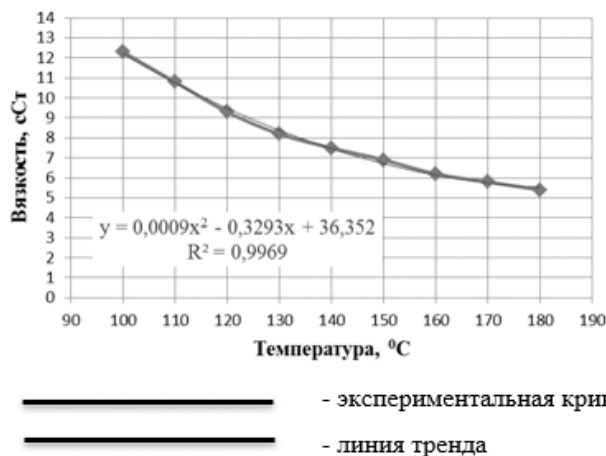


Рис. 3. Зависимость вязкости моторного масла 10W40 от температуры

Используя скоростные режимы холодной обкатки по формуле 1, определили крутящий момент, передаваемый от электрического двигателя стенда на коленчатый вал испытуемого двигателя внутреннего сгорания.

Необходимую мощность для обеспечения крутящего момента на показанных частотах коленчатого вала определяли по формуле:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T, \quad \text{Вт}, \quad (2)$$

где n – частота вращения коленчатого вала ДВС;
 T – крутящий момент, подводимый к коленчатому валу ДВС, Н*м.

Величины крутящего момента и мощности при различных частотах холодной обкатки ДВС:

частота вр. колен. вала, мин ⁻¹	600	800	1000	1200	1400
крутящий момент, Н*м	18,71	20,38	21,85	23,17	24,4
мощность, кВт	1,18	1,71	2,29	2,91	3,58

Определение силовых и энергетических параметров при горячей обкатке осуществляли на основании данных таблицы 2. Мощность нагрузочного (тормозного) момента рассчитывали по формуле 2. Результаты расчетов энергетических параметров привода стенда при горячей обкатке ДВС приведены в таблице 3.

Габаритные размеры и масса выбранной электрической машины приведены в таблице 5 и на рисунке 4.

Эскиз опорной рамы для проектируемого стенда приведен на рис. 5.

На основании предложенной конструкции рамы стенда была разработана схема силового воздействия от масс испытуемого двигателя внутреннего сгорания, электрической машины и от крутящего момента между ДВС и электрической машиной. Схема силового воздействия в вертикальной плоскости представлена на рисунке 6 а. На рисунке 6 б представлена расчетная схема силовых воздействий в горизонтальной плоскости рамы стенда.

Расчетами показано, что возникающие в раме стенда силовые нагрузки недостаточны для реализации эффекта опрокидывания, а запас прочности балок рамы на изгиб составляет 853.

Результаты расчетов энергетических параметров привода стенда при горячей обкатке ДВС *

Таблица 3.

Частота вращения коленчатого вала, с ⁻¹	Тормозной (нагрузочный) момент, Н*м	Мощность	
		Вт	кВт
53,2	0	0	0
62,5	16	6283	6,28
70	33	14514	14,51
84	50	26389	26,39
88,7	65	36226	36,23
93,3	80	46898	46,9

* режимы приведены для ДВС 21011

Технические характеристики электрического двигателя постоянного тока 4ПФ180М

Таблица 4.

Наименование параметра	Един. изм.	Значение параметра
Мощность	кВт	60
Напряжение питания	В	440
Номинальная частота вращения якоря	мин ⁻¹	4000
Тип возбуждения	—	независимое

Габаритные размеры и масса электрического двигателя постоянного тока 4ПФ180М

Таблица 5.

Размеры, мм																	Масса, кг		
l10	l20	l30	l31	l38	b1	b10	b30	b31	d1	d10	d20	d22	d25	h	h1	h5		h10	h31
450	5	1340	121	745	10	279	420	235	55	15	300	19	230	180	10	59	15	495	359

В качестве электрической нагрузочной машины для стенда выбираем двигатель (генератор) постоянного тока. Выбор машины постоянного тока вызван следующими причинами: электрические машины постоянного тока не имеют самоограничения по току ввиду отсутствия индуктивного сопротивления и могут кратковременно выдерживать значительные токовые перегрузки, что важно для реализации высокودинамичных переходов на различные режимы; легкость реализации фазоимпульсного и широтно-импульсного управления; относительно малые по сравнению с машинами переменного тока энергетические потери. На основании проведенного анализа выбор остановили на электрическом двигателе постоянного тока 4ПФ180М. Характеристики выбранной электрической машины приведены в таблице 4.

Из трех типов датчиков вибрации (смещения, скорости и ускорения) были выбраны датчики ускорения (акселерометры) для фиксации вибросигнала на частотах 2000 – 8000 Гц. При опробовании акселерометров наилучшие показатели были выявлены у датчика 18.3855 [2], внешний вид которого представлен на рисунке 7. Помимо приемлемых технических характеристик, датчик широко распространен и используется в качестве индикатора детонации в автомобильных двигателях внутреннего сгорания [3].

Опробование датчика на работающем двигателе внутреннего сгорания GM20E (см. рис. 8 а) позволило записать с использованием USB осциллографа VDS1022I вибросигнал (см. рис. 8 б, в).

Как следует из осциллограмм, на них четко видны два колебательных процесса: относительно

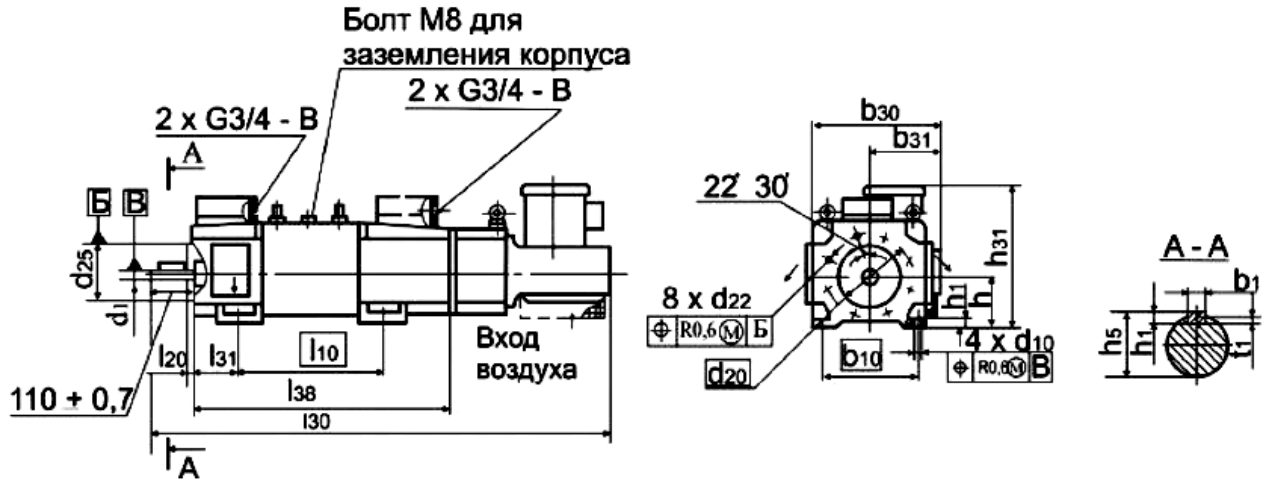


Рис. 4. Технологические размеры электрической машины 4ПФ180М

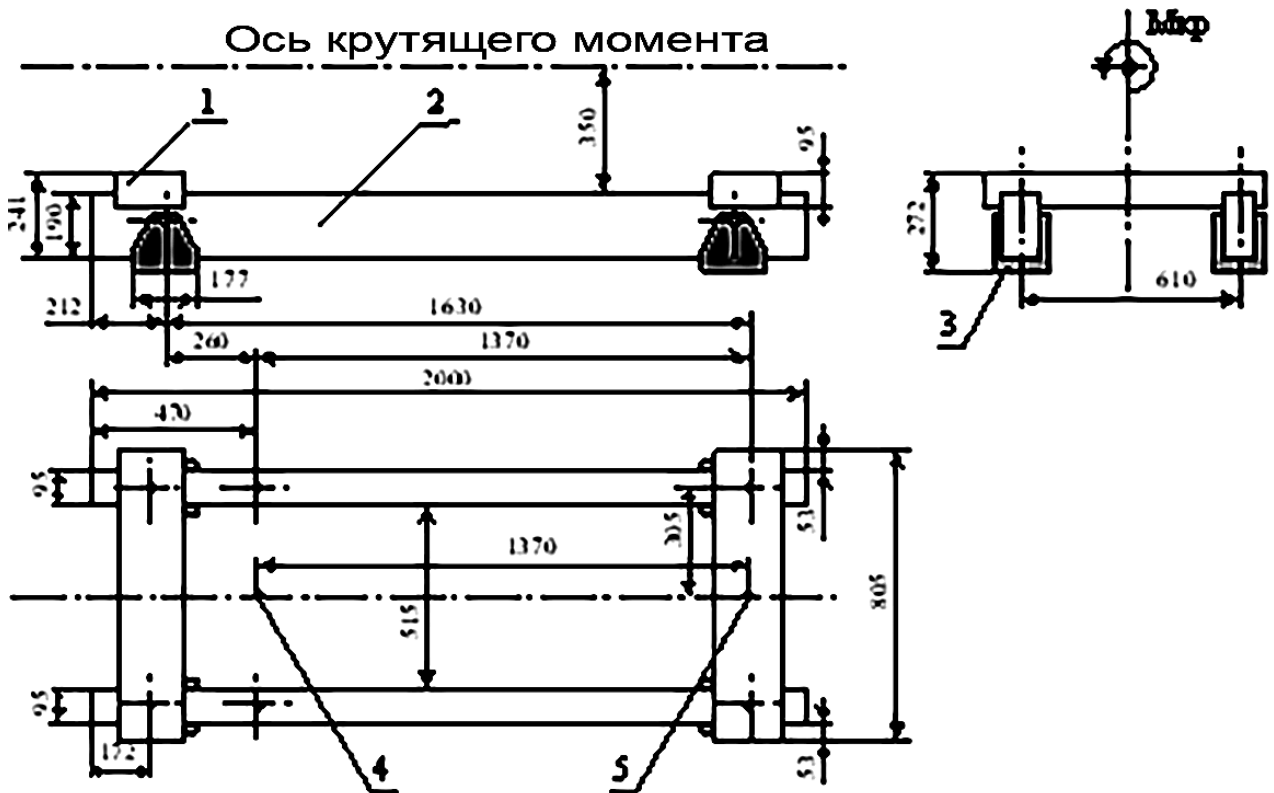


Рис. 5. Эскиз опорной рамы вибродиагностического стенда

1 – поперечный брус рамы, 2 – продольный брус рамы, 3 – демпфирующая резиновая опора, 4 – проекция центра массы ДВС, 5 – проекция центра массы электрической машины

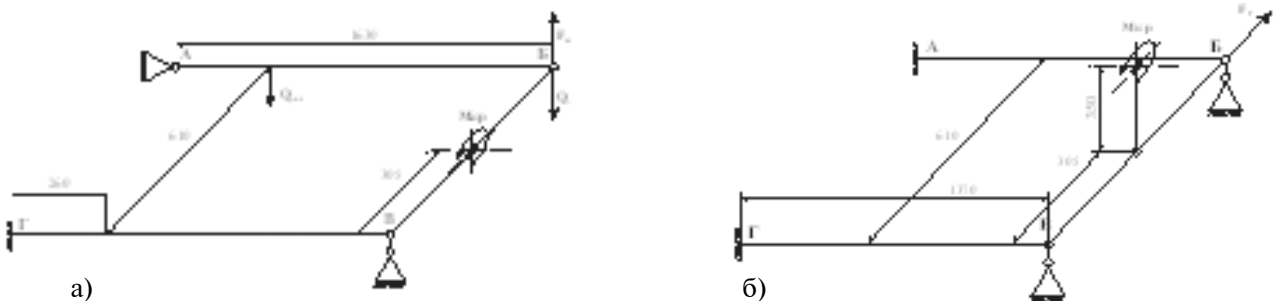
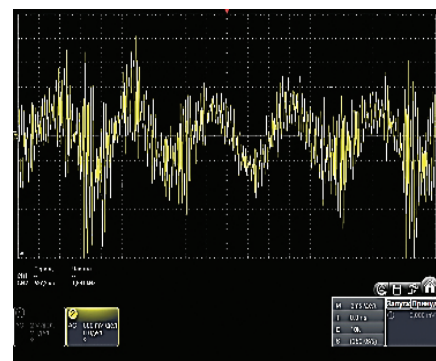
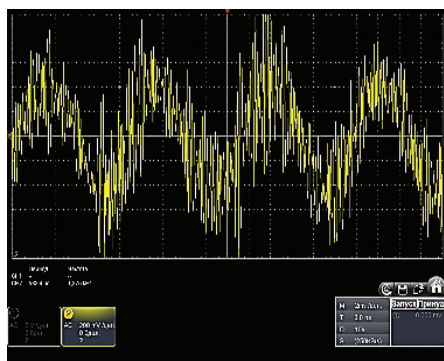


Рис. 6. Расчетная схема усилий в вертикальной (а) и горизонтальной (б) плоскости в опорной раме стенда



Рис. 7. Внешний вид датчика 18.3855



а)

б)

в)

Рис. 8. Вид датчика 18.3855, закрепленного на головке блока цилиндров ДВС GM20E (а) и осциллограммы вибрационного сигнала на частоте вращения коленчатого вала 3000 об/мин.: 2 В/дел.; 2 мс/дел (б) и 4000 об/мин.: 5 В/дел.; 2 мс/дел (в)

низкочастотный от раскачивания двигателя на опорах из-за неуравновешенности масс и более высокочастотный от процессов в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ возможности диагностики с помощью регистрации упругих колебаний при работе двигателей внутреннего сгорания позволил рассчитать параметры стенда для обкатки автомобильных двигателей, специализированного под виброанализ.

Для обеспечения высокой демпфирующей способности в качестве материала рамы стенда решено использовать древесину, а для исключения посторонних акустических наводок от технологического оборудования между рамой и основанием решено поместить резиновую прослойку.

Опробование вибродатчиков позволило выбрать в качестве основного датчик ускорения (акселерометр) 18.3855.

В настоящее время изготовлена рама стенда, приобретено технологическое и измерительное оборудование, осуществляется компоновка и наладка стенда. Стенд позволит детально изучить влияние технологических факторов работы двигателя на параметры вибросигнала и включить виброанализ в систему управления двигателем.

На основании полученных с помощью стенда данных предполагается создание бортовых систем контроля технического состояния автомобильных двигателей в процессе их эксплуатации с возможностью экстраполяции качественных показателей на последующие периоды, что даст возможность планировать сроки технического обслуживания и ремонтов и снизит затраты на их проведение.

Список литературы

1. А.Н. Борисенко. Современные информационно-измерительные системы вибродиагностики ДВС [Текст] / П.С. Обод, О.В. Лавриненко // Вестник Харьковского ХПИ. – 2010. – № 39. – С. 132-137.
2. Прилепский Ю.В. Опробование датчиков для вибродиагностики на бензиновом двигателе внутреннего сгорания [Текст] / Ю.В. Прилепский, А.С. Маренич, С.А. Ткачев // М-лы IV Международной науч.-практической конференции «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса». – Донецкая академия транспорта, г. Донецк, 2018. – С. 147-152.
3. Измерительная и анализирующая аппаратура [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2006/mech/bychkov/library/rab6/index.htm>.