

УДК 629.11

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ, УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ****Ролич О.Ч.<sup>1</sup>**, к.т.н., доцент, **Тарасенко В.Е.<sup>2</sup>**, к.т.н., доцент<sup>1</sup>БГУИР, <sup>2</sup>БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь

Основные механические, молекулярные и электродинамические процессы, протекающие в системах, узлах и механизмах дизельных двигателей, сопровождаются излучением спектра частот, как правило, звукового (в том числе, и прилегающих к нему инфра и ультразвука) и теплового диапазонов. Анализ сигналов дизельной аппаратуры в указанных частотных диапазонах позволяет в реальном времени проводить её контроль и диагностику, судить о текущем состоянии, оценивать остаточный ресурс отдельных узлов и элементов.

Виброакустический и тепловой контроль осуществляется как контактными, так и бесконтактными способами. В первом случае уровень вибраций и распределение температурного поля измеряются установкой вибродатчиков (акселерометров и гироскопов) и датчиков температуры в местах непосредственного съёма данных. Второй (бесконтактный) вариант подразумевает получение звуковых сигналов с помощью распределённой системы микрофонов и измерение температуры посредством тепловизионных камер (цифровых болометров), установленных дистанционно [1]. Объединение контактных и бесконтактных способов формирует целостную картину пространственно-временного распределения звукового давления и температуры отдельных узлов и механизмов при работе дизельного двигателя в масштабе реального времени. Целью настоящей статьи является обоснование архитектуры интегрированной системы виброакустической и тепловой диагностики, позволяющей в последующем проводить оценку остаточного ресурса систем, узлов и механизмов дизельных двигателей в масштабе реального времени.

Предлагаемая архитектура многоканальной системы представлена на рисунке 1. Центральным её блоком выступает современный микроконтроллер STM32F407VGT6 с ядром ARM Cortex-M4. Микроконтроллер имеет в составе все базовые интерфейсы связи (I2C, SPI, I2S, UART/USART, 1-WIRE), присущие цифровым акселерометрам, гироскопам, датчикам температуры, тепловым сенсорам, и как минимум, по два порта каждого интерфейса [2-7]. Благодаря блоку DMA прямого доступа к памяти можно дополнительно построить высокоскоростные программные интерфейсы, например, SWSPI (SoftWare SPI) и значительно расширить аппаратную периферию системы. Для ускорения работы с вещественными числами и быстрого автоматизированного анализа массивов данных в ядро ARM Cortex-M4 встроен сопроцессор плавающей точки.

Считанные с датчиков отчёты поступают на микроконтроллер с модуля данных. Модуль данных интегрирует:

- контактный датчик DS18B20 температуры с выходным интерфейсом 1-WIRE;
- вибродатчик MPU6050 и тепловой сенсор AMG8833 разрешением 8x8 пикселей с интерфейсом I2C;
- MEMS-микрофон с частотно-импульсно модулированным выходным сигналом, передаваемым по шине I2S;
- тепловизионный сенсор Lepton FLIR разрешением 160x120 пикселей и интерфейсами I2C для настройки, и SPI для передачи кадров в формате VoSPI [8].

В предлагаемой авторами архитектуре присутствуют две независимые шины I2Cx и I2Cy. К одной из них (I2Cx) подключен контроллер устройства ввода пользовательских данных, т.е. сенсорной панели, и контроллер заряда аккумуляторной батареи. Вторая шина I2Cy служит для подключения модулей данных, а именно, датчиков вибрации и тепловых сенсоров.

Полученные выборки, массивы данных, файлы могут быть сохранены для последующего анализа либо на SD-карту, соединённую с центральным микроконтроллером интерфейсом SDIO, либо на внешний USB-накопитель, подключенный к системной шине USBу через microUSB-порт связи посредством переходного OTG-кабеля.

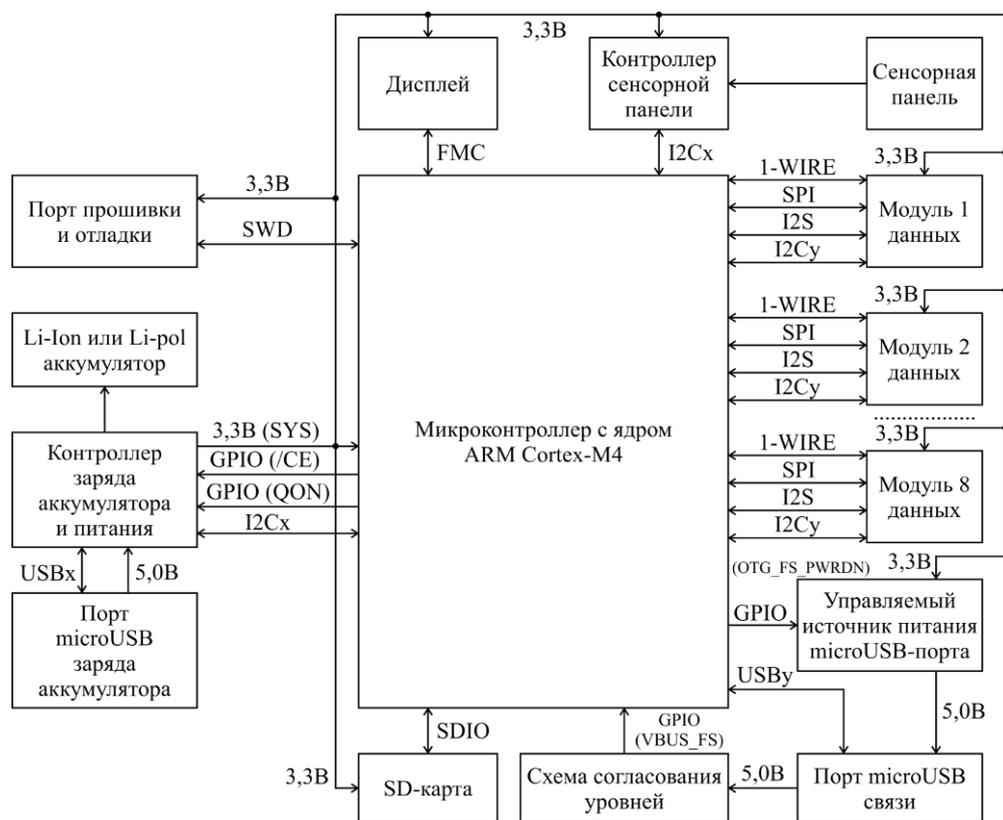


Рисунок 1 – Архитектура многоканальной системы виброакустической и тепловой диагностики

Благодаря управляемости источника питания USB-порта связи, система может выступать как «ведущим» USB HOST для подключения к ней стандартных внешних носителей информации, так и в качестве «ведомого» USB DEVICE для связи с компьютером и передачи ему накопленных файлов и выборок. В случае «ведомого» центральный микроконтроллер, приняв высокий уровень напряжения на линии питания USB<sub>y</sub>, когда VBUS\_FS = 1 (см. рисунок 1), посредством сигнала OTG\_FS\_PWRDN оставляет выключенным «Управляемый источник питания microUSB-порта», т.е. неактивным повышающий преобразователь напряжения 3,3В → 5,0В. «Схема согласования уровней» при этом служит для понижения входного, стандартного для USB-шины напряжения 5,0В до значения 3,3В, являющегося рабочим для центрального микроконтроллера и, соответственно, номинальным напряжением для его портов ввода-вывода. В роли «ведущего» центральный микроконтроллер, путём управления линией OTG\_FS\_PWRDN и, в свою очередь, повышающим источником 3,3В → 5,0В подаёт 5,0В на microUSB-порт связи, позволяя запитать таким образом внешнее устройство, в частности, USB FLASH-диск с целью записи в него данных, следующих по шине USB<sub>y</sub>.

Предложенная система позволяет диагностировать неисправности и вычислять остаточный ресурс узлов и механизмов дизелей в масштабе реального времени, параллельно отображая на дисплее динамику изменения сигналов (спектрограммы и/или скейлограммы), обрабатывая пользовательские запросы и формируя протокол изменения картины состояния дизеля.

#### Литература

1. Ролич, О.Ч. Тепловой контроль работы двигателя на основе статистического анализа сигналов болометра / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко, В.С. Ивашко // Изобретатель. – 2019. – №2-3. – С. 40 – 44.
2. Жмудь, В.А. Акселерометр и гироскоп MPU6050: первое включение на STM32 и исследование показаний в статике / В.А. Жмудь, К.А. Кузнецов, Н.О. Кондратьев [и др.] // Автоматика и программная инженерия. – 2018. – №3(25). – С. 9 – 22. – Режим доступа: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-3-2018-1.pdf>.

3. Инфракрасная камера AMG8833 IR 8x8 MLX90640 32x24 [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://expresscoupon.ru/i/33007682212.html#>.
4. Infrared Array Sensor Grid-EYE (AMG88) [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/477934/PANASONIC/AMG8832.html>.
5. DS18B20 Programmable resolution 1-wire digital thermometer [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: [http://tec.org.ru/\\_bd/4/497\\_DS18B20-MAXIM.pdf](http://tec.org.ru/_bd/4/497_DS18B20-MAXIM.pdf).
6. INMP621 wide dynamic range microphone with PDM digital output [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://belchip.by/sitedocs/30127.pdf>.
7. SparkFun KIT-14654 FLIR radiometric Lepton® development kit [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://ru.mouser.com/new/sparkfun/sparkfun-kit-14654-lepton-dev-kit/>.
8. FLIR LEPTON® Engineering Datasheet [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-lepton-engineering-datasheet.pdf>.

УДК 631.3

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Капустин В.П., д.т.н., профессор, Брусенков А.В., к.т.н.

ТГТУ, г. Тамбов, Российская Федерация

Улучшение продовольственного обеспечения населения во многом связано с повышением эффективности работы всех сельскохозяйственных производителей независимо от форм собственности, внедрения прогрессивного оборудования и использования цифровых технологий [1, 2].

Исходя из задач сельскохозяйственного производства в растениеводстве и животноводстве необходимо обеспечить, с одной стороны, систематическое совершенствование технологий за счёт постоянного внедрения достижений науки и опыта передовиков, с другой – эффективное использование сельскохозяйственной техники [3, 4], своевременно и правильно отрегулированной и настроенной на оптимальные режимы работы, то есть проводить технологическое обслуживание.

Проверка уровня организации и технологий выполнения полевых механизированных работ и массовое обследование состояния различных машинно-тракторных агрегатов и комбайнов в условиях рядовой эксплуатации показали существенные отклонения значений регулировок от нормативных показателей. Так, по данным ВНИИТиН, 80% пропашных культиваторов работали с отклонениями регулировочных параметров, часто превышающих допуск в 5 раз. Так, например, при затуплении рабочих органов плуга, культиваторов и культиваторов-плоскорезов расход топлива из-за повышения их тягового сопротивления увеличивается на 15...20%. При угле заточки лап культиваторов 25...30° вместо 10°, увеличивается неравномерность обработки почвы по глубине, недостаточно подрезаются сорняки, что приводит к погектарному перерасходу топлива на 5...8% и более на единицу продукции. Установлено, что снижение давления в шинах ведущих колёс трактора МТЗ-80 при посеве зерновых культур с 0,13 до 0,09МПа позволило снизить буксование в среднем с 20 до 14% и погектарный расход топлива на 7%, при этом также уменьшилась глубина колеи, а следовательно и уплотнение почвы [3]. Низкое качество вспашки приводит к снижению производительности зерноуборочных комбайнов на 40%, увеличению потерь зерна в 2...3 раза и перерасходу топлива на 30%. При работе исправных и правильно настроенных машин с помощью приспособлений и регулировочной площадки производительность повышается до 12%, расход топлива снижается до 8% [3].

Одной из причин такого положения является то, что не проводится техническое обслуживание сельскохозяйственной техники по ГОСТ 20793-86. В этом ГОСТ проверка, регулировка и настройка сельскохозяйственных машин включены в перечень ежедневного технического обслуживания (ЕТО). Однако ЕТО не регламентирует всех технических и технологических регулировок и настройку сельскохозяйственных машин в течение смены ли су-