

УДК 681.5.08

БЛОК РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ**Шураев Олег Петрович¹**, к.т.н., доцент*e-mail:* solwrk@inbox.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Выполнен анализ опыта построения измерительных систем для применения в опытных стендах. Приведены аргументы в пользу выбора микроконтроллера. Описана работа с часами реального времени. Обоснованы формат записи результатов измерений в файл и привязка файлов к дате измерений. Описаны особенности подключения датчиков к микроконтроллеру. Особое внимание уделено отображению информации: локальному и обобщенному, а также ее передаче на персональный компьютер. Приведены примеры применения блоков измерения в составе экспериментальных стендов.

Ключевые слова: блок регистрации измерений, Arduino, выполнение измерений, запись результатов, отображение информации.

**MEASUREMENT REGISTRATION UNIT
FOR EXPERIMENTAL STANDS****Oleg P. Shurayev¹**, Candidate of Technical Science, Associate Professor*e-mail:* solwrk@inbox.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The analysis of the experience of building measuring systems for use in experimental stands has been carried out. The arguments in favor of choosing a microcontroller are given. The work with a real-time clock is described. The format of recording measurement results in a file and linking files to the date of measurements are justified. The features of connecting sensors to a microcontroller are described. Special attention is paid to the display of information: local and generalized, as well as its transfer to a personal computer. Examples of the use of measurement units as part of experimental stands are given.

Keywords: measurement recording unit, Arduino, performing measurements, recording results, displaying information.

Введение

Начав в 2019 г. разработку измерительной системы для многофункционального экспериментального стенда [1, 2], к настоящему времени накоплен большой опыт построения таких систем и их применения в составе различных экспериментальных установках. Основную задачу таких систем мы видим в обеспечении с приемлемой

точностью измерений различных физических величин, характерных для судового энергетического оборудования, отображении в реальном времени в удобном для оператора виде, их привязку ко времени, и запись на носитель для постэкспериментального анализа. Указанная задача решена в блоках регистрации измерений БРИЗ.

Структура измерительного комплекса

Модули

Микроконтроллер. Интеллектуальную основу модулей БРИЗ составляют контроллеры серии Arduino: Arduino Nano и Arduino Mega. Выбор этих микроконтроллеров, с одной стороны, обусловлен их огромной популярностью в системах автоматики и робототехники [1, 3 - 6], что позволяет в необходимых случаях обратиться к опыту сообщества. С другой стороны, работа с этими микроконтроллерами имеет весьма низкий порог вхождения, что позволяет идти «от простого к сложному», постепенно добиваясь построения достаточно сложных измерительных систем и систем управления [7]. Кроме того, и сам микроконтроллер, и используемая периферия обладают весьма низкой стоимостью, что также положительно сказывается на стоимости всего проекта.

Часы реального времени (ЧРВ). Привязка ко времени играет первостепенную роль в постэкспериментальной обработке данных, особенно при синхронизации измерений, выполненных различными измерительными системами, поэтому точное измерение как временных интервалов, так и реального времени необходимо при проведении экспериментальных исследований. Первая задача может быть решена средствами самого микроконтроллера, имеющего тактовый генератор. А для решения второй задачи используются ЧРВ на базе модуля DS3231. При первом запуске программное обеспечение микроконтроллера запрашивает текущее время и записывает его во внутреннюю память модуля. В дальнейшем оператору предлагается либо согласиться с текущими датой и временем, либо ввести их скорректированные значения. Дата и время используются как в идентификации записанных данных, так и в формировании имени файла и установке его атрибутов.

Запись результатов. Для записи результатов измерений используются карты памяти объемом 2...4 ГБ, устанавливаемые в специальные модули, подключаемые по интерфейсу SPI.

Формат записи – текстовый, по структуре представляющий собой таблицу, аналогичен формату CSV, в качестве разделителей использована точка с запятой. Такой формат может быть открыт в Excel, блокнотах или используется для обмена данными между системами. Для однозначной идентификации измеряемых величин первая строка файла, формируемая в процедуре setup(), содержит заголовки столбцов.

Измерительные модули. В работе судовой энергетической установки наиболее часто возникает необходимость контроля температуры и давления. Для измерения температуры использованы гильзованные термопары типа К [8], обеспечивающие после калибровки [9] относительную погрешность порядка 1...2 %. Аналоговый сигнал от термопар оцифровывается в модулях на базе микросхемы MAX 6675, которые объединены в блоки из 1, 2, 4, 6 и 12 модулей в одном корпусе (рис 1). Такие термопары производятся с длиной гильзы 50, 100, 150 и 200 мм, и имеют присоединительную резьбу М8, что обеспечивает их гидроплотную установку. Также в ряде проектов использован цифровой датчик температуры DS18B20.

Измерение давления осуществляется датчиками с выходным сигналом 0...5 В и 0,5...4,5 В, что делает возможным их подключение непосредственно к аналоговым пинам микроконтроллера. Для измерения перепада давления используются дифференциальные датчики ELDPT500. Они требуют для работы напряжение +12 В, однако выходной сигнал



находится в диапазоне 0...5 В, что также позволяет подключить их выход к аналоговому входу Arduino.

Кроме того, в составе стенда термического обезвреживания судовых нефтесодержащих вод и многофункционального экспериментального стенда на базе двигателя 2 Ч 10.5/13 для измерения расхода топлива весовым способом использованы тензометрические датчики (тензометрический мост) с подключением к модулю HX711.

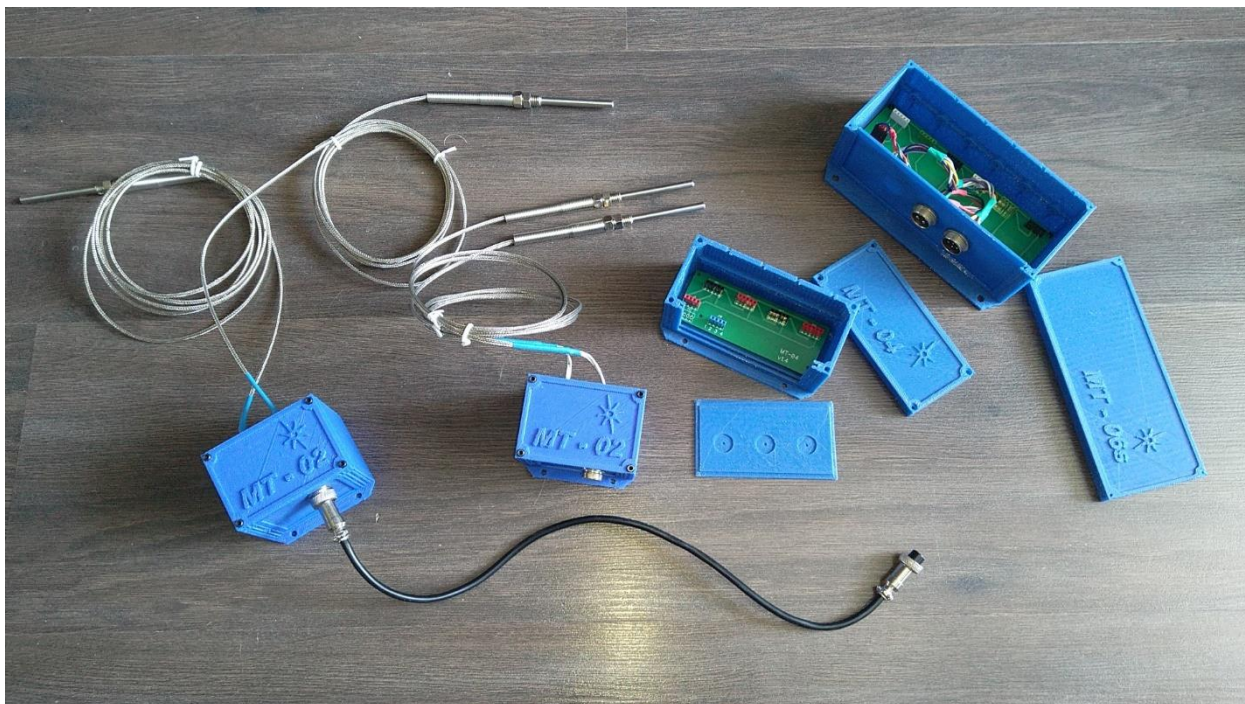


Рисунок 1 – Блоки для подключения термопар

Измерение частоты вращения коленчатого вала двигателя 2 Ч 10.5/13 производится оптическим способом с использованием инфракрасного излучателя и фотоприемника на базе компаратора LM393.

При проведении испытаний необходимо учитывать условия окружающей среды. Для их определения использован термогигробарометрический модуль ВМЕ280.

Отображение информации

Основным устройством отображения информации стали текстовые жидкокристаллические дисплеи LCD2004. Они позволяют разместить достаточное количество информации для формирования ситуационной осведомленности о работе объекта, а для сложных и составных объектов возможна организация переключаемых страниц. Использование шины I2C дает возможность в случае необходимости подключить несколько дисплеев, причем возможна их установка в том числе на децентрализованных (локальных) постах управления, что позволяет довести оперативную информацию до обслуживающего персонала.

Наиболее важная информация, например, частота вращения коленчатого вала, может отображаться на отдельных цифровых индикаторах на базе четырехразрядных модулей TM1637. Такие модули также могут размещаться на отдельных постах контроля и информации.

И, конечно, вся измерительная информация может передаваться на персональный компьютер через его СОМ-порт. Принимающей программой может служить сама среда

разработки Arduino IDE (базовый функционал), или Мониторы порта от сторонних разработчиков с расширенным функционалом.

Управление

Практика использования модулей БРИЗ в различных измерительных системах показала, что для функционального и надежного управления этими модулями достаточно трех управляющих кнопок. При этом правая кнопка (красная) используется для утверждения введенного состояния (аналог клавиши <Enter> на компьютере), а левая и средняя – для уменьшения и увеличения вводимого значения соответственно. Для более сложных систем мониторинга, например, для мониторинга параметров систем двигателя может применяться четырехкнопочная клавиатура и/или один или несколько энкодеров.

Питание

Как известно, микроконтроллеры Arduino могут быть запитаны разными способами. В большинстве случаев в качестве источника выступает блок питания компьютера с подключением через USB-кабель, что связано с одной стороны с необходимостью передачи информации на компьютер, а с другой – с достаточно коротким временем работы испытательных стендов при проведении испытаний. В некоторых случаях достаточно даже шестивольтового аккумулятора или повербанка.

При необходимости долгосрочных измерений (несколько суток и более) предпочтительно подключение микроконтроллера Arduino через стабилизированный блок питания к сети 220 В.

Корпус для монтажа

Для штучного и мелкосерийного производства могут быть использованы корпуса, напечатанные на 3D принтере. В этом случае обеспечивается некоторая стандартизация в размещении внутренних модулей с сохранением гибкости в подключении модулей внешних, разъемы которых выполняются на съемной пластине.

Применение блоков регистрации измерений

Исторически первым модулем БРИЗ стал комплекс мониторинга температуры в газовой полости котла-утилизатора новой конструкции [10]. Он позволяет отслеживать изменение температуры в 12-ти точках котла утилизатора, в том числе в подводящем и отводящем газоходе. С периодичностью 6 с осуществляется запись на карту памяти. Выбор интервала записи синхронизирован с периодом записи информации газоанализатором АГМ-510МВ [11], что облегчает последующие обработку и сопоставление данных.

Другой модуль БРИЗ (рис. 2) составил ядро измерительной системы на стенде термического обезвреживания нефтесодержащих вод [12]. Здесь контролируются шесть температур (5 в газоходе и одна в баке), масса газа в баллоне и масса НСВ в баке, а также манометрическое давление в баке НСВ. Информация с периодичностью 2 с отображается на LCD экране и выводится в СОМ-порт, и с периодичностью 6 с (также для синхронизации с газоанализатором АГМ-510МВ) записывается на карту памяти.

Следующий модуль БРИЗ использован для мониторинга температуры и давления на входе в электрический бойлер, и температуры на выходе из него. Характер его работы отличается тем, что он настроен на длительную и непрерывную работу в автономном режиме. Это потребовало включения в программный код команд, обходящих диалог с оператором по прошествии некоторого времени. При этом применяются настройки по умолчанию. Также ведется контроль рабочего диапазона параметров, в том числе и на



соответствие здравому смыслу. Если какой-либо параметр вышел из указанного диапазона, то запускается процедура принудительной перезагрузки.

Еще один модуль БРИЗ использован для измерения температуры отработавших газов двигателя 4Ч8, 5/11 (рис. 3). Для этого в каждый патрубок, выходящий в выпускной коллектор, были вварены бобышки с соответствующей резьбой. Первое же применение измерительной системы позволило выявить неисправности в работе топливной аппаратуры отдельных цилиндров.



Рисунок 2 – Модуль БРИЗ в составе экспериментального стенда термического обезвреживания нефтесодержащих вод



Рисунок 3 – Модуль БРИЗ при измерении температуры отработавших газов двигателя 4 Ч 8,5/11

Выводы

1. Создание измерительной системы на современной электронной базе позволяет получить достаточно полную диагностическую информацию о происходящих процессах в испытательных стендах.
2. Большинство интеллектуальных датчиков могут быть построены на недорогих комплектующих, тем не менее позволяющих измерять необходимые физические величины с вполне приемлемой точностью. Корпуса для монтажа модулей измерительной системы могут быть напечатаны на 3D-принтере.
3. Вся собираемая информация может быть выведена на компьютер, что открывает широкие возможности по ее обработке и представлению, анализу и архивированию.

Список литературы:

1. Разработка интеллектуальных датчиков и алгоритмов для системы мониторинга объектов судовой энергетической установки / В. И. Абрамов, Н. С. Иванов, Н. Е. Ступин, Т. В. Гордяскина, С. В. Перевезенцев, О. П. Шураев // Великие реки-2019 : Труды 21-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 14–17 мая 2019 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2019. – С. 69. – EDN KBONXF.
2. Разработка многофункционального экспериментального стенда на базе двигателя 2 Ч 10.5/13 / Д. И. Бевза, О. П. Шураев, К. А. Толпекин, И. А. Вакула // Труды 19-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2018": Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и

студентов, Нижний Новгород, 15–18 мая 2018 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2018. – EDN ZBYYYX.

3. Анализ платформы Arduino как аппаратно-программной базы для создания интеллектуальных датчиков системы управления судном / В. И. Абрамов, В. Я. Бычков, А. В. Рубцов [и др.] // Труды 19-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2018": Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов, Нижний Новгород, 15–18 мая 2018 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2018. – EDN ZCDZJR.

4. Пономаренко, В. И. Использование платформы Arduino в измерениях и физическом эксперименте / В. И. Пономаренко, А. С. Караваев // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2014. – Т. 22, № 4. – С. 77-90. – DOI 10.18500/0869-6632-2014-22-4-77-90. – EDN TNVRLN.

5. Огородников, И. А. Измеритель-регулятор температуры на основе микроконтроллера / И. А. Огородников // Перспективы науки. – 2022. – № 8(155). – С. 63-68. – EDN NAAKQX.

6. Журакулов, Т. Т. Принцип работы Ардуино и его использование как инструмент для изучения и исследования / Т. Т. Журакулов, З. Х. Нарзуллаева, А. И. у. Хамроев // Universum: технические науки. – 2023. – № 12-1(117). – С. 36-39. – EDN LNNHVI.

7. Разработка программно-аппаратного комплекса сбора и хранения данных термометрии / Ш. А. Оцоков, Э. А. Челышев, Д. В. Шибитов, М. В. Раскатова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 2(86). – С. 63-71. – EDN QFPUWN.

8 MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter. – URL: <https://robotchip.ru/download/datasheet/MAX6675-datasheet.pdf> (дата обращения: 23.12.2023)

9. Шураев, О. П. О калибровке термопар для измерения температуры жидких и газовых сред в системах судовой энергетической установки / О. П. Шураев, Г. О. Шураев // Транспорт. Горизонты развития: Труды 4-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород-Новосибирск-Владивосток-Самара, 23–26 апреля 2024 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2024. – С. 52. – EDN XBQCSK.

10. Шураев, О. П. Котел-утилизатор в составе многоцелевого испытательного стенда на базе двигателя 2Ч 10.5/13 / О. П. Шураев, Д. И. Бевза // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 71. – С. 85-97. – DOI 10.37890/jwt.vi71.263. – EDN TXKWCF.

11. Газоанализатор АГМ-510. Руководство по эксплуатации. ДКИН.413411.001 РЭ. – Н.Новгород: НПЦ «Аналитех», 2010. – 49 с.

12. Доводочные испытания стенда термического обезвреживания судовых нефтесодержащих вод / В. А. Чернов, О. П. Шураев, А. Г. Чичурин, Ю. Р. Гуро-Фролова // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. – № 80. – С. 77-88. – DOI 10.37890/jwt.vi80.513. – EDN LMDEDR.

