

УДК 621.5.06

**Шураев Олег Петрович**<sup>1</sup>, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок, к.т.н., доцент  
e-mail: solwrk@inbox.ru

**Сторонкин Юрий Владимирович**<sup>1</sup>, студент 3-го курса  
e-mail: io090@bk.ru

<sup>1</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

## ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ О ТЕМПЕРАТУРЕ ВОДЫ И ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ НА ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПОСТ УПРАВЛЕНИЯ

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы сбора и передачи значений температуры воды и отработавших газов от термопар, установленных на крышках цилиндров двигателя к блоку регистрации измерений. Сравниваются протоколы проводной и беспроводной передачи данных. Описаны сложности, возникшие при беспроводной передаче данных и показаны возможные пути их решения.

*Ключевые слова:* мониторинг параметров двигателя, измерение температуры, передача данных

### Введение

В условиях быстро развивающейся электроники и всевозможных систем управления и контроля, основанных на ней, на судах речного и морского флота развивается тенденция сокращения численности экипажа. В перспективе развитие таких систем может привести к созданию полностью безэкипажного судна, что соответствует популярной идее создания беспилотных транспортных средств. Безусловно, безэкипажное судно по умолчанию должно быть оснащено соответствующими системами управления: внешней - навигационной, и внутренней - контроль и управление судовой энергетической установкой, а также общесудовыми системами. Разработка таких систем, процесс достаточно длительный, однако уже сейчас возможна реализация некоторых элементов таких систем, способных облегчить труд экипажа и существенно повысить безопасность эксплуатации объектов СЭУ, а также снизить аварийность работы флота в целом. Элементы подобных систем могут быть не только реализованы в новых судах, но и установлены на уже существующем флоте.

На данный момент большинство судов, эксплуатируемых на внутренних водных путях России, построены до 90-х годов прошлого века. В связи с этим приборное обеспечение энергетического оборудования этих судов является устаревшим и оставляет желать лучшего. Например, не редкость ситуация, когда контроль работы главного двигателя производится лишь при по тахометру и манометру в системе смазывания. Естественно, что регулировка такого двигателя не выполняется и машинная команда имеет весьма смутное представление о его действительном состоянии [1].

В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения системы мониторинга параметров СЭУ в реальном времени для судов ранней постройки. Такая система позволит повысить информированность экипажа и тем самым предотвратить отказы двигателей и другого энергетического оборудования. Разумеется, размещение всех элементов системы мониторинга в машинном помещении, в непосредственной близости

от двигателей, может привести к выходу из строя электронного оборудования, поскольку электроника весьма чувствительна к вибрации. Поэтому пункт наблюдения за параметрами (в отсутствие центрального поста управления) целесообразно размещать или в наиболее удаленной части машинного отделения или на мостике. Для этого система мониторинга должна быть достаточно компактной, т.к. не на всех эксплуатируемых судах есть возможность дополнительно размещать большие станции наблюдения. Эти два условия можно выполнить, разработав беспроводную систему передачи параметров с датчиков на станцию слежения, в роли которой может выступать обычный компьютер, способный сохранять, анализировать и отображать полученные данные.

#### **Постановка задачи**

Разработка систем передачи параметров судовых дизелей выполняется на базе кафедры эксплуатации судовых энергетических установок (ЭСЭУ) Волжского государственного университета водного транспорта. Двигатели 6NVD48AU (6ЧРН 32/48), 6L275 Rг/PN (6ЧРН 27,5/36), 2Ч 10,5/13 и др. (рисунок 1) находятся в работоспособном состоянии и вполне подходят для целей учебного процесса [1]. Однако, выполнение научных исследований затрудняется в том числе из-за нехватки, неудобства использования, неточности имеющегося комплекта приборов, который, тем не менее, значительно больше из-за специфики использования, чем комплекты, имеющиеся в штатных комплектациях на судах. Поэтому было принято решение разработать испытательный стенд беспроводной системы передачи параметров двигателя 2Ч10,5/13 (рисунок 1, слева), на базе которой в дальнейшем будет возможна разработка систем мониторинга для более крупных и мощных двигателей. Создание системы на базе интеллектуальных датчиков для дизелей, установленных в лабораториях кафедры ЭСЭУ, позволяет решить следующие задачи:

- развитие приборной базы двигателей кафедры ЭСЭУ;
- разработка интеллектуальных датчиков с возможностью передачи данных по беспроводным каналам, пригодных для использования в судовых условиях;
- создание системы дистанционного мониторинга параметров судовых дизелей в реальном времени;
- разработка программного обеспечения для анализа, обработки и хранения данных, полученных датчиками.

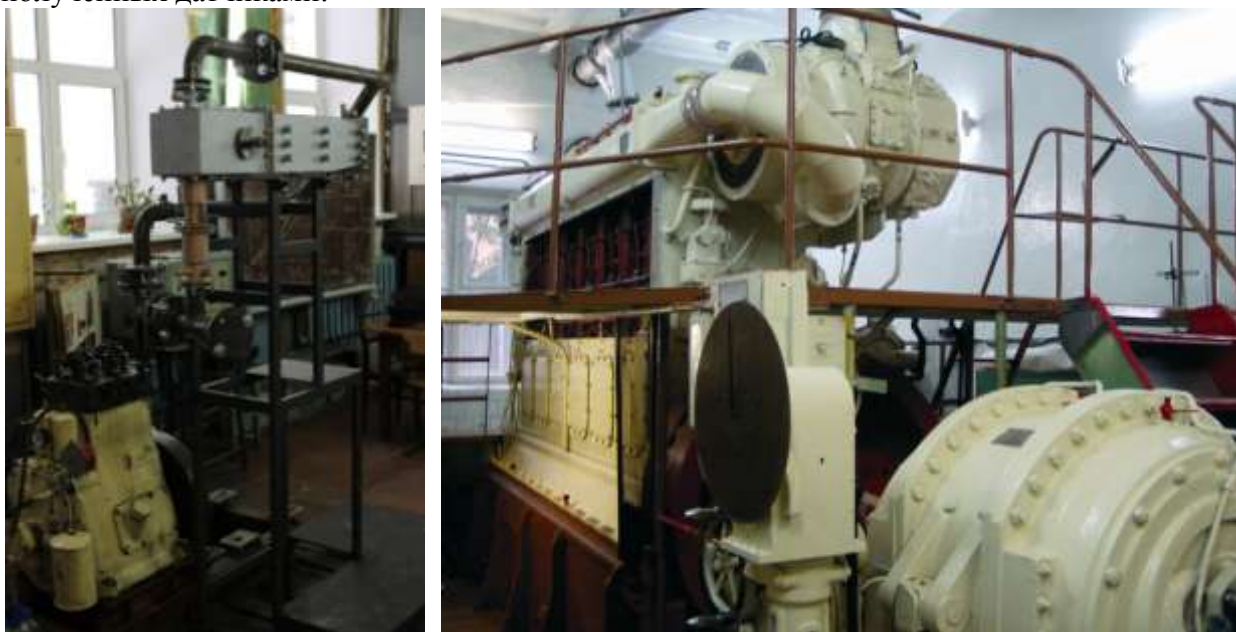


Рисунок 1 – Двигатели в лаборатории кафедры ЭСЭУ

В качестве аппаратно-программной базы, на которой будет реализована система, был выбран микроконтроллер Arduino, который пользуется большой популярностью при

создании систем автоматики и в робототехнике, обладая практически неограниченным набором подключаемых к нему модулей, что позволяет создать на его базе устройство для любых задач. Помимо своей многозадачности, Arduino обладает невысокой стоимостью, что положительно сказывается на цене проекта. В отличие от известных систем мониторинга западных фирм [2, 3, 4], весьма дорогостоящих, и часто закрытых для модернизации, такая система открыта для развития.

Для получения полной информации о работе судового дизеля система мониторинга должна измерять следующие параметры:

- частоту вращения коленчатого вала;
- крутящий момент на валу (и, следовательно, мощность двигателя);
- расход топлива;
- распределение температуры отработавших газов по цилиндрам двигателя;
- температуру и давление в системах охлаждения, смазывания, топливоподдачи, наддува и газовойпуска двигателя;
- частоту вращения ротора турбокомпрессора.

Перечисленные выше параметры предлагается измерять при помощи интеллектуальных датчиков. Эти датчики представляют аппаратно-программный комплекс, реализуемый на микроконтроллерах Arduino NANO, Arduino UNO и Arduino MEGA, к которым подключаются: тензодатчик TD-5, инфракрасный датчик FC-51 и термопары TP-02 и др. Программы написанные для каждого измерительного аппарата производят обработку полученных данных, сохраняют их и выдают готовую информацию для системы управления. Эта информация передаётся по беспроводным каналам при помощи модулей беспроводной связи на базе микроконтроллера ESP8266.

В данной статье сосредоточимся на вопросах измерения температуры воды в внутреннем контуре охлаждения на выходе из крышек цилиндров двигателя и температуры отработавших газов.

### **Измерение температуры**

Измерение температуры проводится с помощью хромель-копелевых термопар, подключаемых к модулю АЦП на базе микросхемы MAX 6675. Диапазон рабочих температур составляет от  $-60$  до  $+700$  °С, что позволяет применять его для измерения температуры во всех представляющих интерес точках двигателя. Код, написанный для этого интеллектуального датчика, позволяет проводить фильтрацию сигналов, их обработку и дальнейшую передачу на блок сбора информации БРИЗ-АТ (рисунок 2).

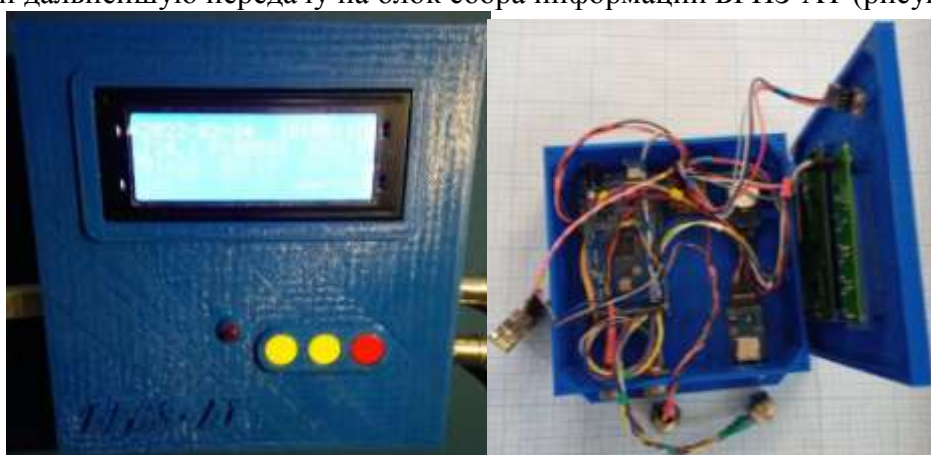


Рисунок 2 – Блок регистрации измерений БРИЗ – АТ

На текущий момент к двигателю 6ЧРН 27,5/36 подключено 12 датчиков измерения температуры: 6 для измерения температуры воды в охлаждающем контуре и 6 для измерения температуры отработавших газов. Информация с датчиков поступает на БРИЗ-АТ, где происходит обработка полученных данных, их хранение и дальнейшая передача на пост управления, построенный на базе персонального компьютера. Кроме того,



информация с датчиков выводится на дисплей БРИЗ-АТ, таким образом становится возможно наблюдение за изменением температур в двух различных точках лаборатории. Поскольку одновременно с измерением температуры при помощи 12 датчиков производится измерение прочих параметров двигателя, для обработки информации могут использоваться два и более блока БРИЗ-АТ. В связи с этим возник вопрос о синхронизации передачи данных, поскольку для получения достоверной информации о состоянии двигателя необходимо одновременно получать информацию со всех датчиков. Задержки могут привести к искажению результатов наблюдений и их неправильной трактовке при анализе. Для этого был добавлен ещё один блок, выполняющий функцию синхронизатора и частично дублирующий функции двух других блоков. Схема системы представлена на рисунке 3.

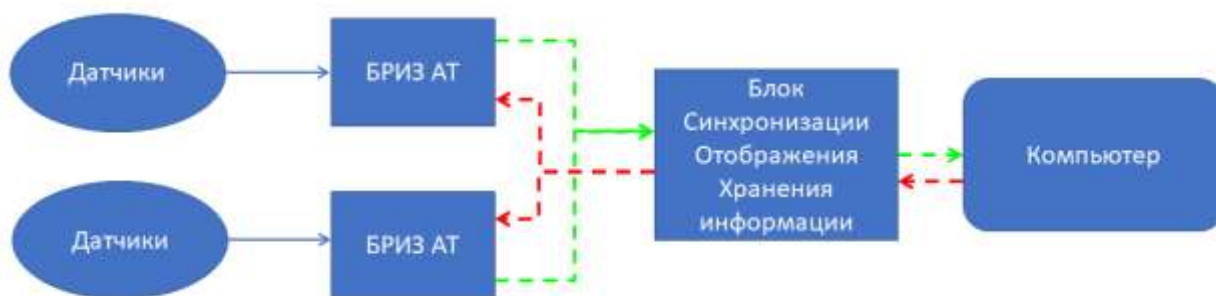


Рисунок 3 - Схема системы сбора данных

Как видно из схемы синхронизирующий блок выступает посредником между пунктом управления и блоками сбора данных. Его внедрение позволило не только синхронизировать блоки, но и сделать систему более надёжной за счёт разделения функции хранения информации. Таким образом, информация хранится на каждом из блоков сбора данных, синхронизирующем блоке и пункте управления (компьютере), что делает практически невозможной потерю данных. Данные, собираемые с датчиков, записываются в таблицы в каждом узле системы. Пример сохранения данных о температуре газов представлен на рисунке 4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Nurr	Date	Time	TAS, HMS	TAS, ms	T1	T2	T3	T4	T5	T6
2	5	29.02.2020	21:53:56	0:05.291	5291	2,88	2,9	2,85	2,8	2,9	2,9
3	6	29.02.2020	21:53:57	0:06.284	6284	5,49	5,51	5,41	5,35	5,56	5,51
4	7	29.02.2020	21:53:58	0:07.282	7282	7,86	7,78	7,7	7,66	7,93	7,86
5	8	29.02.2020	21:53:59	0:08.281	8281	10	9,91	9,78	9,74	10,09	9,97
6	9	29.02.2020	21:54:00	0:09.282	9282	11,93	11,79	11,68	11,62	11,98	11,9
7	10	29.02.2020	21:54:01	0:10.285	10285	13,63	13,46	13,36	13,31	13,65	13,61
8	11	29.02.2020	21:54:02	0:11.287	11287	15,17	15,01	14,85	14,8	15,21	15,17
9	12	29.02.2020	21:54:03	0:12.290	12290	16,53	16,41	16,21	16,15	16,57	16,58
10	13	29.02.2020	21:54:04	0:13.292	13292	17,75	17,65	17,44	17,38	17,84	17,8
11	14	29.02.2020	21:54:05	0:14.294	14294	18,88	18,73	18,52	18,44	19	18,92
12	15	29.02.2020	21:54:06	0:15.315	15315	19,84	19,68	19,5	19,42	20,08	19,95
13	16	29.02.2020	21:54:07	0:16.318	16318	20,78	20,62	20,42	20,31	20,97	20,86
14	17	29.02.2020	21:54:08	0:17.319	17319	21,6	21,45	21,23	21,05	21,8	21,7

Рисунок 4 - Формат хранения данных о температуре отработавших газов

### Беспроводная передача данных

На начальных этапах разработки системы все датчики и блоки были соединены при помощи различных кабелей. Однако в ходе первых испытаний системы было выявлено, что действие сильных вибраций, возникающих при работе двигателя, приводит к повреждению контактов и искажению передаваемой информации. Кроме того, дальнейшее развитие и усложнение системы потребовало бы использования большего

количества кабеля, который не всегда есть возможность проложить от блока к блоку, к тому же необходимое количество кабеля значительно увеличило бы стоимость системы. Авторами было принято решение о минимизации количества проводных соединений и переход к использованию беспроводной связи между блоками. Такой тип связи имел большое множество преимуществ перед использованием кабеля.

Во-первых, это повышение мобильности системы. Блоки БРИЗ-АТ, оснащённые модулем беспроводной связи, можно размещать в практически в любой удобной точке, поскольку нет необходимости соединять разные блоки между собой вереницей проводов.

Во-вторых, экономия средств, за счёт того, что стоимость одного модуля беспроводной связи значительно ниже стоимости необходимого количества проводов, и экономия времени за счет отказа от монтажных работ по прокладке кабелей.

В-третьих, увеличение стабильности передачи данных за счёт того, что вибрация двигателя не влияет на передачу информации посредством радиоволн. Кроме того, в перспективе, открывается большое количество возможностей по повышению эффективности сбора информации за счёт широкого спектра функций, которые способен выполнять модуль беспроводной связи.

В качестве модуля беспроводной связи в ходе анализа имеющихся на рынке продуктов был выбран модуль ESP01 на базе микроконтроллера ESP8266 (рисунок 5).



Рисунок 5 - Модуль беспроводной связи ESP01

После написания кода, модули ESP01 были внедрены в систему и подключены к микроконтроллерам Arduino, являющимся основой каждого блока БРИЗ-АТ.

На текущий момент модули образуют сеть с тремя клиентами и одним сервером. Модули-клиенты на блоках сбора информации получают обработанную информацию с Arduino и отправляют её на модуль-сервер. Сервер принимает информацию и передаёт её в двух направлениях:

- 1) На Arduino Mega, к которой он подключен.
- 2) На модуль-клиент, подключенный к компьютеру.

Получаемая компьютером информация сохраняется и отображается в виде графика в среде разработки Arduino. Однако отображение графиков в таком формате неудобно и не подходит для изучения происходящих внутри двигателя процессов, поэтому нами начата разработка программного обеспечения в программном пакете LabView, которое позволит одновременно отслеживать все необходимые параметры в режиме реального времени и в удобном формате. Стоит отметить, что за счёт возможности подключения к серверу большого числа клиентов, открывается возможность собирать данные о всех необходимых параметрах работы судна. Кроме того, в перспективе, планируется создание системы дистанционного управления работой двигателя на базе разрабатываемой системы сбора информации.

При интеграции беспроводной связи возникла проблема с ограниченностью размера буфера, что не позволило передавать данные сразу со всех датчиков на сервер. Решить проблему возможно было двумя способами. Первый – увеличить объём буфера за счёт замены оперативной памяти на модулях, но этот весьма труден и требует больших затрат времени. Поэтому нами был выбран второй способ – написание кода для клиентов, позволяющего отправлять информацию тремя пакетами с очень коротким интервалом между отправкой, а также для блока синхронизации, который объединяет три полученных пакета и записывает в файл.

Таким образом, на сегодняшний день система представляет собой локальную сеть, включающую в себя устройства сбора, архивации и отображения информации о состоянии судовых дизелей. Ведется непрерывное улучшение системы и повышение её надёжности.

### **Выводы**

1. Мобильность системы позволит оснастить интеллектуальными датчиками судовые дизели, выпущенные в «доэлектронную эпоху», что предоставит экипажу достаточно полную диагностическую информацию о происходящих в них процессах и позволит снизить аварийность на флоте.

2. Вся собираемая информация может передаваться на компьютер в любую часть судна благодаря модулям беспроводной связи, что открывает широкие возможности по ее обработке и представлению, анализу и архивированию, а также, в перспективе, позволит уменьшить количество экипажа судна, приближая время безэкипажных судов.

### **Список литературы:**

1 Абрамов В.И., Иванов Н.С., Ступин Н.Е., Гордяскина Т.В., Перевезенцев С.В., Шураев О.П. Разработка интеллектуальных датчиков и алгоритмов для системы мониторинга объектов судовой энергетической установки. // // 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 Волошин В.Н., Миська А.Р. Сравнительный анализ современных систем управления и мониторинга главных судовых двигателей // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – № 2. – с. 134-137. – EDN TSIWYN.

3 Бордюг А.С. Повышение надежности судовых газодизельных двигателей путем использования специализированных программно-аппаратных систем. // Рыбное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 88-94. – EDN WMZOFB.

4 Соловьёв А.В. Системы мониторинга судовых дизелей в эксплуатации. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 1. – С. 87-92. – DOI 10.24143/2073-1574-2018-1-87-92. – EDN YOQFCW.

## **TRANSMISSION OF WATER AND EXHAUST GAS TEMPERATURE DATA TO THE CENTRAL CONTROL STATION**

Oleg P. Shurayev, Yury V. Storonkin

*Abstract.* The issues of collecting and transmitting water and exhaust gas temperature values from thermocouples installed on engine cylinder covers to the measurement registration unit are considered. The protocols of wired and wireless data transmission are compared. The difficulties encountered during wireless data transmission are described and possible solutions are shown..

*Keywords:* monitoring of engine parameters, temperature measurement, data transmission

