

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).15](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).15)
УДК 681.518.22

USING THE ARDUINO PLATFORM IN DEVELOPMENT OF AN INFRARED PULSE-ECHO INSPECTION METHOD

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ИНФРАКРАСНОЙ ЭХО-ИМПУЛЬСНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Serhii V. Rahulin
ragulin_s@ukr.net
ORCID:0000-0001-8955-0380

Vladyslav V. Ushakov
vvuu24.26@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4441-4830

С. В. Рагулин,
канд. техн. наук, доцент

В. В. Ушаков,
преподаватель

Flight academy of the National aviation university, Kropyvnytskyi
Летная академия Национального авиационного университета, г. Кропивницкий

Abstract. The article deals with the creation of an automated measuring complex used in experimental studies of the infrared pulse-echo inspection method of aviation constructions. The analysis of existing automated systems was carried out, their lack of versatility, ease in operation, and the absence of low-budget complexes were revealed. The requirements for an automated measuring complex and the basic functions performed by it are determined. Based on the requirements, a reasonable choice of the Arduino microprocessor platform as a base element in the creation of the mentioned measuring complex was made. Previous studies of the capabilities of the Arduino platform have been analyzed. It has been established that the capabilities of the platform are used not fully. Based on the research analysis, the algorithms of the Arduino platform were developed for the management of laboratory equipment, the receiving and processing of experimental data, as well as the procedures for data exchange between the platform and the personal computer. Based on the developed algorithms software was created that allows to perform parallel control of several processes during experiments using a laboratory bench. Such processes are: the management of auxiliary laboratory equipment from a personal computer and control panel; receiving and processing of experimental data; transfer of experimental data to a personal computer with the possibility of saving it. The scientific novelty is to formulate a reasonable hypothesis about the possibility of simultaneous execution of several tasks by the Arduino microprocessor platform when conducting experimental studies using it, as well as to confirm this hypothesis when creating an automated measuring complex on the basis of this platform. Practical importance lies in the development and implementation of software created on the basis of these algorithms and used in the design of a laboratory bench for the study of the infrared pulse-echo inspection method.

Key words: automated measuring complex; experimental data processing; microprocessor platform.

Анотація. У статті розглядаються питання створення автоматизованого вимірювального комплексу, використовуваного в експериментальних дослідженнях методу інфрачервоної ехо-імпульсної дефектоскопії склопластикових авіаційних конструкцій. Проведено аналіз існуючих автоматизованих комплексів, виявлено їх недостатню гнучкість і відсутність простих і малобюджетних комплексів. Визначено вимоги, що пред'являються до автоматизованого вимірювального комплексу, і основні функції, виконувані ним. На підставі сформуованих вимог проведено обґрунтований вибір мікропроцесорної платформи Arduino як базового елемента під час створення згаданого вимірювального комплексу. Проаналізовано проведені раніше дослідження можливостей платформи Arduino. Встановлено, що можливості платформи використовуються не в повному обсязі. З урахуванням проведеного аналізу досліджень розроблені алгоритми роботи платформи Arduino для управління лабораторним обладнанням, прийому і обробки експериментальних даних, а також процедури обміну даними між платформою і персональним комп'ютером. Керуючись розробленими алгоритмами, створено програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати паралельне управління декількома процесами під час проведення експериментів з використанням лабораторного стенду. Такими процесами є управління допоміжним лабораторним обладнанням; прийом та обробка експериментальних даних; передача експериментальних даних на персональний комп'ютер. Наукова новизна полягає в формуванні обґрунтованої гіпотези про можливість одночасного виконання декількох задач мікропроцесорною платформою Arduino під час проведення

експериментальних досліджень з її використанням, а також підтвердження даної гіпотези під час створення автоматизованого вимірювального комплексу на базі цієї платформи. Практична значимість полягає в розробці та впровадженні програмного забезпечення, створеного на основі зазначених алгоритмів і використовуваного під час конструювання лабораторного стенда дослідження методу інфрачервоної ехо-імпульсної дефектоскопії.

Ключові слова: автоматизований вимірювальний комплекс; обробка експериментальних даних; мікропроцесорна платформа.

Аннотація. В статье рассматриваются вопросы создания автоматизированного измерительного комплекса, используемого в исследованиях метода инфракрасной эхо-импульсной дефектоскопии. Выявлены недостатки существующих автоматизированных комплексов. Определены требования, предъявляемые к автоматизированному измерительному комплексу и основные функции, выполняемые им. Предложено использование платформы Arduino для создания такого комплекса. Проанализированы проведенные ранее исследования платформы Arduino, установлено, что возможности платформы до сих пор использовались не в полном объеме. С учетом проведенного анализа исследований разработаны алгоритмы для управления лабораторным оборудованием, приема и обработки экспериментальных данных, а также процедуры обмена данными между платформой и персональным компьютером. Создано программное обеспечение, позволяющее осуществлять параллельное управление несколькими процессами при проведении экспериментов с использованием лабораторного стенда.

Ключевые слова: автоматизированный измерительный комплекс; обработка экспериментальных данных; микропроцессорная платформа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проведение экспериментов с целью подтверждения и уточнения эксплуатационных характеристик метода инфракрасной эхо-импульсной дефектоскопии [1, с. 47] требует построения автоматизированного измерительного комплекса, который обеспечивал бы сбор экспериментальных данных, их предварительную обработку и отображение в удобной для оператора форме. Кроме того, необходимо обеспечить автоматизированное управление используемым при проведении экспериментов лабораторным стендом.

Современная номенклатура готовых измерительных устройств и отдельных электронных компонентов дает возможность создания такого автоматизированного комплекса. Однако это требует высокой инженерно-технической квалификации разработчиков, а также значительной затраты материальных ресурсов и времени. Готовые же универсальные измерительные платформы недостаточно гибки, дорогостоящи и требуют для своего размещения значительных площадей, а зачастую и специально обученного персонала.

Перечисленным выше требованиям к аппаратной платформе наиболее полно, на наш взгляд, отвечает платформа Arduino. Arduino – открытая электронная платформа, отличающаяся простотой в использовании, универсальностью и относительной дешевизной по сравнению с ее аналогами. Открытое программное обеспечение и архитектура данной платформы дает возможность использовать ее для приема и передачи аналоговых и цифровых сигналов, преобразования сигналов при помощи встроенных цифро-аналоговых (ЦАП) и аналого-цифровых (АЦП) преобразователей, управления различными устройствами и обмена данными с компьютером при помощи различных

интерфейсов. Более подробно структура и интерфейс данной платформы описаны в [2; 3].

В рамках разработки метода инфракрасной эхо-импульсной дефектоскопии создано экспериментальное устройство отработки метода и лабораторный стенд для проведения неразрушающего контроля стеклопластиков данным методом. Лабораторный стенд состоит из шасси с кронштейном для крепления измерительной головки устройства, подвижной платформы с зубчатоременным приводом от шагового двигателя, схемы управления и пульта управления. На кронштейне устанавливаются инфракрасный излучатель, детектор и экран, образующие узел измерительной головки устройства. На подвижной платформе закрепляется исследуемый образец [1].

Задачи автоматизированного измерительного комплекса в рамках исследований метода инфракрасной эхо-импульсной дефектоскопии с использованием лабораторного стенда сводятся к следующему:

1. Управление лабораторным стендом, в частности обеспечение перемещения исследуемого образца вдоль измерительной головки с точностью не менее $\pm 0,1$ мм, надежную фиксацию подвижной платформы в любой момент при проведении контроля и возврат ее в исходную точку, принятую за «0» координат по командам с пульта управления стендом либо с персонального компьютера.

2. Прием, обработка, сохранение и передача на компьютер диагностического сигнала от инфракрасного эхо-импульсного дефектоскопа. Данная задача разделяется на несколько составляющих, а именно: прием и преобразование аналогового сигнала в цифровой, вычисление среднего уровня диагностического сигнала с целью фильтрации посторонних шумов, сохранение и передача уровня диагностического сиг-

нала с привязкою к текущей координате по длине исследуемого образца, выдача полученного пакета данных на персональный компьютер.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

К сожалению, несмотря на то, что платформа Arduino создана около 20 лет назад и получила широкую популярность около 15 лет назад, применение ее для проведения научных исследований все еще ограничено. На сегодняшний день данная платформа используется в основном в учебном процессе в качестве симуляторов простейших процессов и систем. Немногочисленные примеры использования платформы Arduino в научном эксперименте являются скорее исключением, нежели правилом. Так, в [2, с. 83] предложено использование платформы для приема и обработки информации с аналоговых датчиков, а также для создания экспериментальной радиофизической установки. В [3, с. 29] рассмотрен интерфейс платформы Arduino, проанализированы ее возможности по выполнению задач приема, обработки и передачи экспериментальных данных. В [4, с. 149] разработано программное обеспечение, облегчающее связь платформы Arduino с персональным компьютером для обмена данными.

ВЫДЕЛЕНИЕ НЕ РЕШЕННЫХ РАНЕЕ ЧАСТЕЙ ОБЩЕЙ ПРОБЛЕМЫ

В упомянутых выше работах платформа Arduino рассматривалась лишь в качестве преобразователя аналогового сигнала в цифровой с последующей передачей последнего на персональный компьютер, либо в качестве генератора сигналов. В то же время возможности микроконтроллера AVR128/328, на базе которого построена платформа Arduino, намного больше. Так, данная платформа в состоянии осуществлять одновременное управление некоторыми исполнительными устройствами и прием информации в цифровом или аналоговом виде. Указанные возможности Arduino в перечисленных выше работах раскрыты и реализованы недостаточно.

Цель исследования. Целью исследования является разработка автоматизированного измерительного комплекса для сбора и обработки экспериментальных данных в рамках разработки метода инфракрасной эхо-импульсной дефектоскопии на базе платформы Arduino.

Методы, объект и предмет исследования. Для решения поставленных выше задач применялись методы наблюдения, сравнения, анализа и синтеза, а также материального моделирования.

Предметом исследования является автоматизированный измерительный комплекс для сбора и обработки экспериментальных данных в рамках разработки метода инфракрасной эхо-импульсной дефектоскопии.

Объектом исследования является микропроцессорная платформа Arduino, используемая для управления автоматизированным измерительным комплексом для сбора и обработки экспериментальных данных.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Разработка системы управления лабораторным стендом на базе платформы Arduino.

При разработке системы управления лабораторным стендом учтены следующие требования:

1. Возможность контроля образцов материалов различных линейных размеров.
2. Автоматическая остановка подвижной платформы при достижении ею крайних положений при любом режиме работы стенда.
3. Возможность задания начальной точки перемещения подвижной платформы в любом месте в пределах диапазона перемещения платформы с обеспечением последующего автоматического возврата платформы в начальную точку.
4. Возможность задания скорости перемещения подвижной платформы.
5. Обеспечение двойного управления работой стенда (с пульта управления и непосредственно с персонального компьютера).
6. Обеспечение защиты от подачи некорректных команд стенду.

Для управления шаговым двигателем использован подключаемый программный модуль Stepper (разработчик Ryan Orendorff). Управление шаговым двигателем осуществлено через транзисторные ключи. Для ограничения диапазона перемещения подвижной платформы использованы бесконтактные концевые выключатели (герконы), подключенные к цифровым входам модуля Arduino UNO. Пульт управления стендом представляет собой клавиатуру, состоящую из 8 кнопок, также подключенных непосредственно к цифровым входам модуля Arduino UNO. Клавиатура обеспечивает:

- выдачу команд стенду на перемещение подвижной платформы в двух режимах («грубо» – со скоростью 50 мм/сек и «точно» – со скоростью 5 мм/сек);
- выдачу команды на сохранение в оперативной памяти текущей координаты подвижной платформы (установка условного «0» координат), относительно которой впоследствии будут отсчитываться координаты по длине исследуемого образца;
- выдачу команды на возврат подвижной платформы в точку, принятую за «0» координат;
- выдачу команды дефектоскопу на замер диагностического параметра «на месте» (без перемещения подвижной платформы);
- выдачу команд дефектоскопу на проведение контроля при перемещении подвижной платформы (режим «рабочего прохода») в двух направлениях (вправо и влево) по выбору оператора.

Для обеспечения связи с персональным компьютером используется интерфейс параллельного порта Arduino IDE. При помощи данного интерфейса обеспечена возможность выдачи стенду перечисленных выше команд, а также задания текущей длины исследуемого образца. Блок-схема управления лабораторным стендом приведена на рис.1.

Разработка системы обработки и передачи экспериментальных данных

Особенностью созданного экспериментального устройства отработки метода инфракрасной эхо-импульсной дефектоскопии является то обстоятельство, что диагностическая информация, выдаваемая устройством, представляет собой аналоговый сигнал, а именно – напряжение постоянного тока, изменяющееся в диапазоне от 0,1 В до 4,9 В. Таким образом, для приема и последующей обработки диагностического сигнала необходимо преобразовать его в цифровую форму. Встроенный в платформу Arduino аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с 10-битным разрешением и базовой скоростью опроса аналогового входа с частотой 500 Гц позволяет выполнять данную задачу с достаточной точностью.

Блок-схема работы лабораторного стенда совместно с платформой Arduino в режиме обработки

и передачи экспериментальных данных приведена на рис. 2.

Программный код приема, обработки и передачи данных реализован в бесконечном цикле “loop” скетча Arduino [2, с. 85].

Для предварительной фильтрации диагностического сигнала производится вычисление среднего значения сигнала за 10 последних измерений. Полученные значения записываются в динамический массив в оперативной памяти платформы Arduino, который впоследствии передается на персональный компьютер и обрабатывается при помощи интерфейса PLX-DAQ, что дает возможность представления диагностической информации в табличной и графической форме, а также сохранения файла данных.

Фрагмент составленной программы, содержащий процедуры приема, обработки и передачи экспериментальных данных, приведен ниже (листинг 2).

Листинг 2

```
else if ((digitalRead(WRK) == HIGH) &&
(digitalRead(R) == HIGH)) {
//нажатие одной кнопки, рабочий проход вправо
cycle0: // цикл движения и приема диагностической информации
```

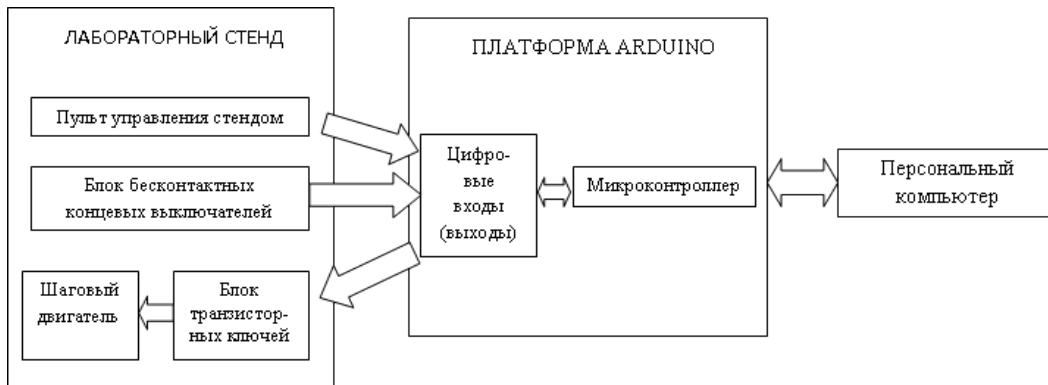


Рис. 1. Блок-схема управления лабораторным стендом

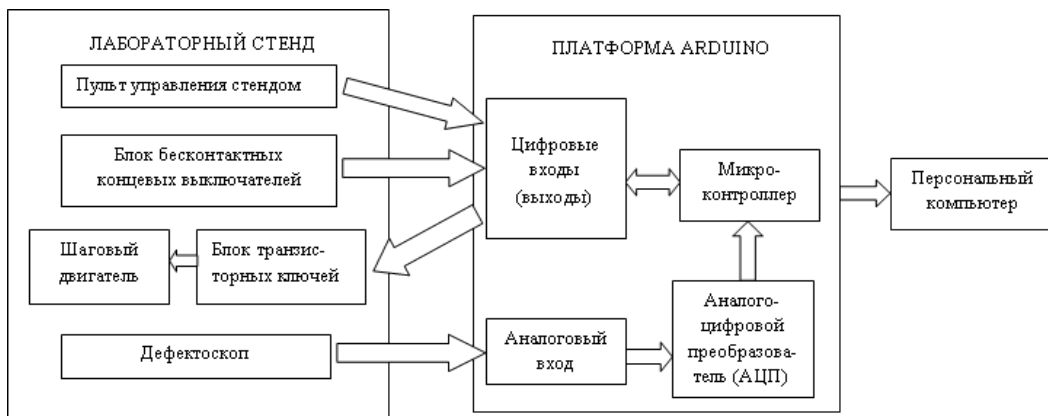


Рис. 2. Блок-схема работы системы в режиме обработки и передачи данных

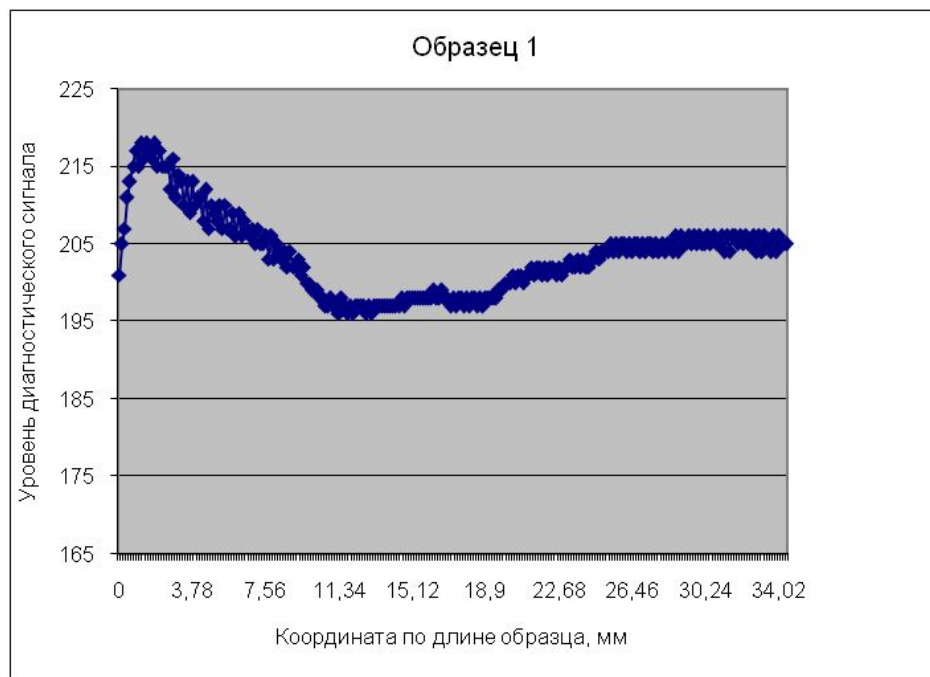


Рис. 3. Графическое представление экспериментальных данных при помощи интерфейса PLX-DAQ

```

onlyone (); // обращение к подпрограмме определе-
ления нажатия только одной кнопки на пульте
limiters (); // обращение к подпрограмме опроса
концевиков
if (only_one==true && limiters==false) {
myStepper.step(-1); //команда шаговому двигателю
count--; // обновление счетчика шагов
for (int i = 0; i < 10; i++) {
sig_i = sig_i + analogRead(SIG);} // прием сигнала
с аналогового входа
sr_sig = sig_i / 10; // вычисление среднего уровня
диагностического сигнала
arr_sig[s] = sr_sig; // запись среднего значения в
массив
if ((s < (step_t_go) && (digitalRead(R_f) == LOW)))
{ // если проход не окончен, перемещение каретки на
1 шаг
s++;
goto cycle0;}}
elseif (s >= (step_t_go)) { // если проход выполнен,
выводим данные в порт
s = 0;
Serial.println("CLEARDATA");
Serial.println("LABEL,Point,signal");// команда
PLX-DAQ начать прием информации
int j = 0;
cycle1: // цикл передачи данных в параллельный
порт ПК
sig_t_out = arr_sig[j];

```

```

Serial.print(j);
Serial.print(" ");
Serial.println(sig_t_out);
if (j < step_t_go) {
j++;
goto cycle1;}
Serial.write("DELAY",CR); // команда PLX-DAQ
окончить прием информации и подготовиться к сле-
дующему приему
}}

```

Пример отображения полученной диагностической информации представлен на рисунке 3.

ВЫВОДЫ

Использование платформы Arduino при создании автоматизированного измерительного комплекса в рамках исследования метода инфракрасной эхо-импульсной дефектоскопии позволяет решить задачи управления лабораторным оборудованием, а также обработки и передачи экспериментальных данных с минимальными затратами материальных ресурсов и времени. Существенным преимуществом применения платформы Arduino является также простота окончательного монтажа оборудования.

Продемонстрирована возможность осуществления двойного управления лабораторным оборудованием, разработаны алгоритмы управления оборудованием и обработки экспериментальных данных с обеспечением необходимой точности.

REFERENCES

- [1] Pusyryov.O.L. (2016). Razrabotka metoda kontrolya elementov konstruktсии planera samoleta v usloviyakh ekspluatatsii [Development of Airframe Design Elements Control Technique under Operational Conditions]. *Electronics and control systems*, no. 4, pp. 46–49.
- [2] Ponomarenko V.I. (2014). Ispol'zovaniye platformy ARDUINO v izmereniyakh i fizicheskom eksperimente [Using ARDUINO platform in the measurements and the physical experiment] *Visnyk vuzov «PND»*, vol. 22, no. 4, pp. 77–90.
- [3] Omelchenko E.Ya.(2013). Kratkiy obzor i perspektivy primeneniya mikroprotsessornoy platformi Arduino [Summary and prospects of applications of microprocessor platform ARDUINO] *Elektrotekhnicheskiye sistemy i komplekсы*, no. 21, pp. 28–33.
- [4] Protasov A.G. (2015). Universal'noye ustroystvo dlya sbora dannykh s analogovykh i tsifrovyykh preobrazovateley [Universal device for collecting data from analogue and digital converters] *Visnyk NTUU «KPI»* no. 49 (1), pp. 145-152.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Pusyryov, O. L. (2016). Development of Airframe Design Elements Control Technique under Operational Conditions / O.L. Pusyryov, V.O. Volkogon, O.M. Alekseev, V.V. Ushakov. *Electronics and control systems*, №4 (50). С. 46–49.
- [2] Пономаренко, В. И. (2014). Использование платформы Arduino в измерениях и физическом эксперименте/ В.И. Пономаренко, А.С. Караваев. Изв. вузов «ПНД», т. 22, № 4, С. 77–90.
- [3] Омельченко, Е. Я. (2013). Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino / Е.Я. Омельченко, В.О. Танич, А.С. Маклаков, Е.А. Карякина. *Электротехнические системы и комплексы*. №. 21. С. 28–33.
- [4] Протасов, А. Г. (2015). Универсальное устройство для сбора данных с аналоговых и цифровых преобразователей / А.Г. Протасов, А.С. Корогод, Е.Ф. Суслов. *Вестник НТУУ «КПИ». Серия Приборостроение*. Вып. 49(1). С. 145–152.