

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ

УДК 615.849.19

В. В. ШЛЫКОВ, В. А. ДАНИЛОВА, М. ДИДЕНКО

ПИРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Разработана и реализована система бесконтактного измерения температуры сердца на основе пирометра. В системе используется пирометр спектрального отношения, так как в отличие от пирометров полного или частичного излучения, показывают действительную температуру объектов (сердца) и их показания не зависят от излучательной способности тела.

В среде разработки приложений LabVIEW 2010 разработана система визуального управления пирометрической системой бесконтактного измерения температуры, которая реализована на основе микропроцессора Arduino Uno Rev3 и пирометра Optris MS Plus. Полученные с помощью пирометрической системы распределения температуры в миокарде дадут дополнительную диагностическую информацию о наполнении сосудов сердца кровью, а также позволят оценить степень ишемии сосудов в условиях искусственного кровообращения.

Ключевые слова: пирометр, миокард, контроль температуры, микропроцессор Arduino Uno Rev3, LabVIEW.

Розроблено та реалізовано систему безконтактного вимірювання температури серця на основі пирометра. В системі використовується пирометр спектрального відношення, так як на відміну від пирометрів повного або часткового випромінювання, показують дійсну температуру об'єктів (серця) і їх показники не залежать від випромінювальної здатності тіла.

У середовищі розробки додатків LabVIEW 2010 розроблена система візуального управління пирометричною системою безконтактного вимірювання температури, яка реалізована на основі мікропроцесора Arduino Uno Rev3 і пирометра Optris MS Plus. Отриманий за допомогою пирометричної системи розподіл температури в міокарді дає додаткову діагностичну інформацію про наповнення судин серця кров'ю, а також дозволить оцінити ступінь ішемії судин в умовах штучного кровообігу.

Ключові слова: пирометр, миокард, контроль температуры, микропроцессор Arduino Uno Rev3, LabVIEW.

A non-contact heart temperature measurement system based on a pyrometer was developed and implemented. In the system, a pyrometer of the spectral ratio is used, since, in contrast to pyrometers of full or partial radiation, they show the actual temperature of the objects (the heart) and their indications do not depend on the emissivity of the body.

In the LabVIEW 2010 application development environment, a visual control system for a pyrometric non-contact temperature measurement system was developed, which is implemented on the basis of the Arduino Uno Rev3 microprocessor and the Optris MS Plus pyrometer. The temperature distribution in the myocardium obtained with the help of the pyrometric system will provide additional diagnostic information on the filling of the blood vessels of the heart with blood, and will also make it possible to assess the degree of vascular ischemia under conditions of artificial circulation.

Keywords: pyrometer, myocardium, temperature control, microprocessor Arduino Uno Rev3, LabVIEW.

Введение. Методы бесконтактного измерения температуры (методы пирометрии) находят широкое применение в медицинской практике, особенно там, где прямой контакт измерительного оборудования с пациентом либо невозможен, либо затруднен или нежелателен. Использование таких методов предполагает определение температуры на основе измеренных неинвазивно значений интенсивности теплового излучения с поверхности тканей. Среди существующих пирометров широко используются яркостные, радиационные, частичного излучения, спектрального отношения. С точки зрения сведений о температуре объекта, информативность регистрируемого сигнала зависит от чувствительности элементов на оптическом входе и алгоритма обработки данных прибором. В общем случае погрешности пирометров спектрального отношения меньше, чем у пирометров полного или частичного излучения. Показания этих пирометров не зависят от расстояния до объекта, а также от поглощения излучения в промежуточной среде между объектом и пирометром, если излучательная способность на всех длинах волн одинакова.

При проведении измерений в условиях искусственного кровообращения интенсивность падающего инфракрасного излучения на приемную площадку пирометра сильно зависит от влияния переменных внешних факторов (в основном, от параметров среды распространения излучения), что приводит к появлению значительной погрешности [1].

Перспективным методом бесконтактного измерения температуры в хирургии является термография. Применение способа сканирования 3D поверхности биологического объекта [2] и последующего построения формы кривой спектрального распределения для плотности мощности электромагнитного излучения объекта в инфракрасном диапазоне, позволит реализовать систему бесконтактного измерения температуры сердца на основе пирометра с наименьшей погрешностью.

Пирометрические методы измерений температуры. Пирометрические методы измерения температуры основаны на законах, которые устанавливают связь между излучением абсолютно черного тела (АЧТ) и его температурой. Известно, что полная энергия, которая излучается с единицы поверхности АЧТ в единицу времени, определяется законом Стефана-Больцмана:

$$M_T^0 = \sigma T^4 \varepsilon,$$

где $\varepsilon < 1$ – излучательная способность, зависящая от материала (тканей миокарда) и от состояния и температуры его поверхности, $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ – постоянная Стефана-Больцмана, T – температура биологического объекта (сердца), K .

© В. В. Шлыков, В. А. Данилова, М. Диденко. 2017

Положение максимума излучения определяется из закона смещения Вина

$$\lambda_{\max} = 2,8978 \cdot 10^{-3} \cdot T^{-1}.$$

Примерно три четверти энергии приходится на область $\lambda > \lambda_{\max}$.

Для контроля температуры в условиях искусственного кровообращения целесообразно использовать пирометры спектрального отношения. Эти пирометры показывают температуру миокарда T_m , при которой АЧТ имеет такое же относительное спектральное распределение мощности электромагнитного излучения, что и исследуемый объект с действительной температурой T_i (для всех длин волн).

Показания спектрального отношения пирометра для АЧТ (или серого тела) соответствуют действительной температуре или излучательной способности тканей сердца. Если излучательная способность ε зависит от длины волны, то связь между действительной и измеряемой температурой определяется выражением:

$$\frac{1}{T_{\text{изм}}} = \frac{1}{T} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda C_2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} \ln \frac{\varepsilon_{\lambda 1}}{\varepsilon_{\lambda 2}},$$

где $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ – вторая константа излучения, $\varepsilon_{\lambda 1}$ и $\varepsilon_{\lambda 2}$ – коэффициенты излучательной способности сердца на длинах волн λ_1 и λ_2 .

Таким образом, пирометры спектрального отношения, в отличие от пирометров полного или частичного излучения, показывают действительную температуру объектов (сердца) и их показания не зависят от излучательной способности тела при условии, что $\varepsilon_{\lambda 1} = \varepsilon_{\lambda 2}$.

При измерении температурных полей важно учитывать участок площади и расстояние до объекта, свойства оптической системы пирометра. В общем случае, расчет доли излучаемой объектом энергии, входящей в телесный угол оптической системы выполняется по формуле:

$$\Delta\Phi = \varepsilon_{\lambda} \cdot \left[\frac{D^2}{4l^2} \right] \cdot \Delta A \cdot \tau_c \cdot \sigma \cdot T^4,$$

где ΔA – участок площади объекта, D – диаметр входного зрачка объектива, l – расстояние до объекта, τ_c – коэффициент пропускания оптической системы, величина, зависящая от телесного угла Ω , в направлении которого вырезается угол.

При измерении пирометром (Optris MS Plus) температуры предметов на расстоянии до объекта $l \approx 14$, диаметр области измерения будет 13 мм, что дает возможность провести точные замеры температуры различных участков миокарда (рис. 1).

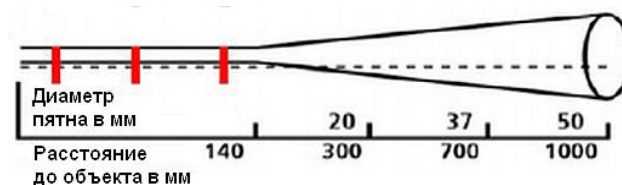


Рис. 1 – Зависимость размеров пятна визирования от расстояния до объекта

Если пирометр показывает температуру на поверхности тканей $T_m = 298K (25^\circ C)$, а излучательная способность тканей миокарда $\varepsilon = 0,95$ на длине волны $\lambda = 0,65$, вычисленная температура миокарда составляет:

$$T_i = \frac{1}{(1/298) + (\log 0,95/9613)} = 298,2,$$

Следовательно, при низких температурах $T_m = 10 - 40^\circ C$ в условиях искусственного кровообращения и погрешности измерения температуры термовизором $\pm 0,7^\circ C$ (для пирометра Optris MS Plus) измеряемую температуру миокарда можно считать действительной $T_m \approx T$.

Влияние материалов на контроль температуры. Основная конструкция инфракрасного термометра (пирометр Optris MS Plus) представлена на рисунке 2. С помощью входной оптики, излучаемые инфракрасные лучи фокусируются на инфракрасный сенсор. Детектор генерирует электрический сигнал соответствующий излучению, который затем усиливается и может быть использован после аналого-цифрового преобразования (АЦП) для дальнейшей обработки. Цифровая обработка сигнала на основе микропроцессора обеспечивает преобразование сигнала в выходное значение, пропорциональное температуре объекта, которое затем либо отображается на дисплее цифрового интерфейса, либо предоставляется после цифро-аналогового преобразования (ЦАП) как аналоговый сигнал.

Инфракрасный сенсор в подавляющем большинстве пирометров спектрального отношения использует двухслойные фотодиодные структуры, верхний слой которых имеет максимальную чувствительность в коротковолновой области спектра, нижний – в длинноволновой. Полосы спектральной чувствительности этих приемников составляют десятки и сотни нанометров, что исключает погрешность, которая обусловлена непостоянством $\varepsilon_{\lambda 1}$ и $\varepsilon_{\lambda 2}$ [4].

Излучательная способность представляет интегральную степень черноты серого тела. Величина ε зависит от длины волны излучения λ , температуры T и обобщенного параметра состояния поверхности миокарда – шероховатость, наличие жировых отложений и т.п. В таблице 1 представлены значения ε для некоторых материалов [5], применяемых при искусственном кровообращении.

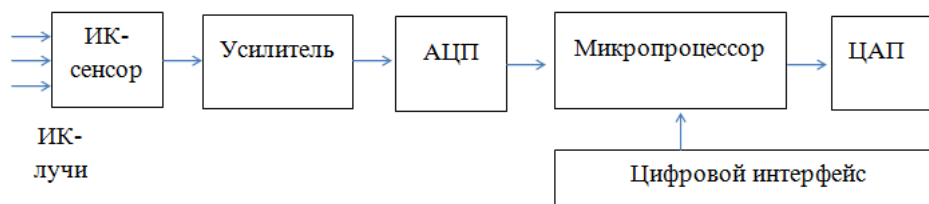


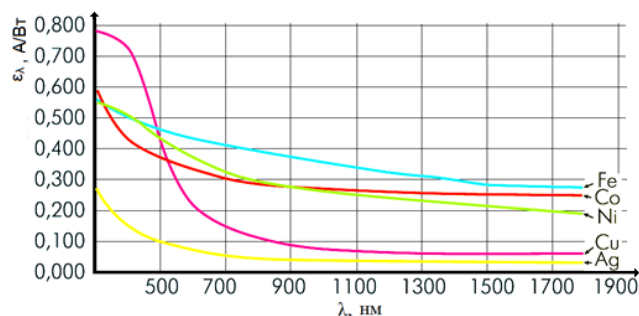
Рис. 2 – Блок-схема инфракрасного пирометра

Таблица 1 – Излучательная способность ε для материалов, применяемых при искусственном кровообращении

Материал	T °	ε
Пластик (ПЭ, ПП, ПВХ)	20	0,94
Резина мягкая	23	0,94
Стекло	90	0,94
Золото	130	0,02
Серебро	20	0,02
Железо полированное	424 – 1020	0,147 – 0,377
Железо обработанное	20	0,24
Шелк	20	0,78
Кожа человеческая	36	0,98
Лед гладкий	0	0,97
Лед неровный	0	0,99
Кровь	36	0,95
Вода	38	0,67

Результат измерения пирометра спектрального отношения зависит не столько от абсолютного значения излучательной способности объекта, сколько от спектральной зависимости $\varepsilon = f(\lambda)$ [6]. Для примера на рис. 2 (Optris MS Plus) приведены спектральные зависимости излучательной способности $\varepsilon_{\lambda 1}$ и $\varepsilon_{\lambda 2}$ для некоторых металлов: Fe, Ni, Cu, Ag, Co. Следует отметить, что они характеризуют большинство материалов.

Кровь отдает накопленное тепло в коже и подкожных слоях кровеносных сосудов и капиллярах, и аккумулирует тепло преимущественно в сердце, печени и почках за счет обменных процессов во внутренних органах [7]. Этим процессом теплообмена обусловлено неоднородное поверхностное распределение температуры тела человека при неизменных окружающих условиях. Поскольку кожа и кровь человека имеет высокий коэффициент излучения $\varepsilon_{\lambda} \geq 0,95$, изменение её температуры приводит к значительному изменению мощности испускаемого инфракрасного излучения, которая регистрируется пирометром. Низкий коэффициент излучения хирургических инструментов из металла минимизирует их влияние на определение температуры тканей органов и крови. Это позволяет с высоким разрешением регистрировать точечную температуру сердца, статичное распределение температуры и динамику температурного распределения в миокарде. Характер распределения температуры в миокарде свидетельствует о наполнении сосудов кровью, а также позволяет судить о сосудистых расстройствах и ишемии, позволяет определить глубину и степень охлаждения и прогрева сердца в условиях искусственного кровообращения.

Рис. 3 – Спектральные зависимости излучательной способности ε_{λ} от длины волны λ для некоторых металлов

Спектральные зависимости показывают, что все зависимости $\varepsilon = f(\lambda)$ имеют односторонний характер – с ростом длины волны спектральная излучательная способность ε_{λ} снижается. Поэтому, по измеренному положению максимума спектра можно определить температуру объекта.

В соответствии с законом Кирхгофа, спектральный коэффициент излучения $\varepsilon(\lambda, T)$ равен спектральному коэффициенту поглощения $\alpha(\lambda, T)$. Поэтому спектральная зависимость излучательной способности тканей миокарда должна коррелировать при гипотермии и гипертермии в условиях искусственного кровообращения. В общем случае, оценка теплового состояния миокарда в зависимости от условий проведения кардиохирургической операции может осуществляться: по нормированным температурам нагрева (превышениям температуры), избыточной температуре, динамике изменения температуры во времени, путем сравнения измеренных значений и т.п.[8]. Температурный рельеф поверхности миокарда зависит от уровня наполненности тканей сердца кровью, от перераспределения крови при изменении просвета сосудов в условиях искусственного кровообращения, от степени её охлаждения при гипотермии и нагревания при гипотермии сердца, а также от тепловых свойств миокарда (теплопроводности, теплоемкости).

Пирометрическая система бесконтактного контроля температуры. Бесконтактные средства измерения температуры базируются на восприятии термодатчиком (инфракрасным оптическим сенсором) спектра энергии электромагнитной излучения, которое излучает любое тело с температурой выше абсолютного нуля, в частности сердце в условиях искусственного кровообращения. Поскольку значение показателя излучательной способности миокарда ε_{λ} при одной и той же температуре не меняется с

длиной волны, применение пирометра спектрального отношения Optris MS Plus не вносит дополнительной инструментальной погрешности и является оптимальным по оценке влияния хирургических материалов на спектральную зависимость излучательной способности в условиях искусственного кровообращения.

Система бесконтактного контроля температуры построена на основе микропроцессора Arduino Uno Rev3 [9] и инфракрасного пирометра Optris MS Plus, который имеет следующие отличительные особенности [10]:

- Прецизионная оптика для точного неконтактного измерения температуры;
- Диапазон измерения от -32 до 530°C ;
- Спектральный диапазон $8-14\text{ мкм}$;
- Погрешность измерения температуры $\pm 0,5\%$ или $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$;
- Время отклика $0,3$ секунды для быстрого сканирования объекта и нахождения точек перегрева;
- Точное измерение объекта диаметром 13 мм на любом расстоянии, меньшем 140 мм;
- Время отклика составляет не более $0,3$ с.;
- Регулируемый коэффициент теплового излучения (эмиссии) в диапазоне от $0,1$ до $1,1$;
- Оптическое разрешение $20:1$;
- Лазерное прицеливание на объект измерения;
- Интерфейсы подключения – USB, тип входа термодпары К.

Система визуального управления микропроцессором Arduino Uno Rev3 и инфракрасным пирометром Optris MS Plus реализована в среде разработки приложений LabVIEW 2010 National Instruments [11]. Среда разработки LabVIEW позволяет использовать стандартные средства коммуникации из пакета виртуальных инструментов National Instruments VISA и дополнительные из пакета VI Package Manager 2016 с интерфейсом для Arduino, которые позволяют реализовать управление системой с персонального компьютера посредством USB интерфейса.

Блок-схема пирометрической системы бесконтактного контроля температуры, представленная на рисунке 4, включает следующие функциональные элементы:

микропроцессор Arduino Uno Rev3, схема управления шаговыми двигателями, система позиционирования на основе шаговых двигателей, инфракрасного пирометра Optris MS Plus. Микропроцессор Arduino Uno Rev3 программируется в среде Arduino Integrated Development Environment на языке C++ и обеспечивает автоматическое управление шаговыми двигателями и системой позиционирования пирометра в заданной области миокарда. Схема управления шаговыми двигателями реализована на основе трех драйверов шагового двигателя ULN2003, которая позволяет работать с электропитанием моторов от 5В и от 12В . Драйвер ULN2003 совместим со стандартной библиотекой Arduino Stepper и имеет 4 канала установления режимами работы моторов. Система позиционирования реализована на основе трех шаговых двигателей 28BYJ-48 5В и трех прецизионных

приводных валов THSL-300-8D для 3D принтера длиной 150 мм, с шагом резьбы 8 мм и диаметром 8 мм.

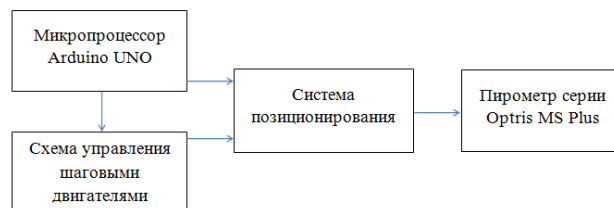


Рис. 4 – Блок-схема пирометрической системы бесконтактного контроля температуры

Микропроцессор Arduino Uno Rev3 подключен к драйверам шагового двигателя ULN2003 по стандартной схеме включения в соответствии со спецификацией и техническим описанием [9]. Фрагмент принципиальной электрической схемы для микропроцессора Arduino Uno Rev3 представлен на рис. 5. Коммуникация с персональным компьютером осуществляется посредством USB интерфейса, а питание микропроцессора и драйверов шаговых двигателей от источника 5В или от USB порта компьютера.

Для синхронизации вращения шаговых двигателей 28BYJ-48 применяется привязка единичного шага вращения мотора к встроенному таймеру микропроцессора Arduino Uno Rev3. Представленный фрагмент исполняемого модуля программы показывает способ реализации управления направлением и шагом вращения двигателей:

```

int steps_0;
int steps_Y=1024; // число шагов при вращении по оси Y
int steps_left=4095; // число шагов при вращении влево по оси X
int steps_right=4095; // число шагов при вращении вправо по оси X

long time;
unsigned long last_time;
unsigned long currentMillis;
boolean DirectionX = true; // направление вращения по оси X
boolean DirectionY = true; // направление вращения по оси Y

for(;;) // бесконечный цикл исполняемого модуля
{
while(steps_left>0){
currentMillis = micros(); // значение встроенного таймера
if(currentMillis-last_time>=1000){
stepperX(7); // режим работы при вращении по оси X
time=time+micros()-last_time; // синхронизация по таймеру
last_time=micros(); // чтение таймера
steps_left--;
}
}
}
  
```

```

}
}
steps_0=steps_right-steps_Y;
while(steps_right>steps_0){
currentMillis = micros();
if(currentMillis-last_time>=1000){
stepperY(7); // режим работы при враще-
нии по оси Y
time=time+micros()-last_time; // синхрони-
зация по таймеру
last_time=micros(); // чтение таймера
steps_right--;
}
}

```

```

if(steps_left<=0) {
steps_left=4095; // восстано-
вление счетчика шагов
DirectionX=!DirectionX; // изменение направ-
ления вращения
}

if(steps_right<=0) {
steps_right=4095; // восстано-
вление счетчика шагов
DirectionY=!DirectionY; // изменение направ-
ления вращения
}
}
}

```

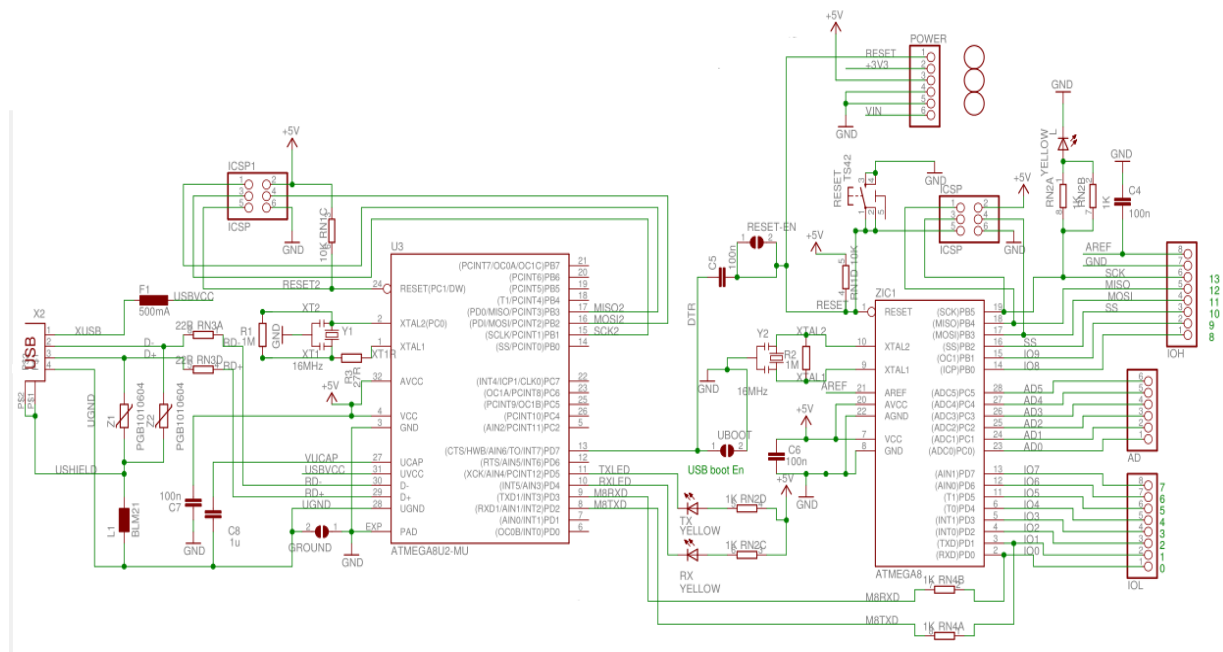


Рис. 5 – Принципиальная электрическая схема микропроцессора Arduino Uno

Система позиционирования реализована на основе трех шаговых двигателей 28BYJ-48 5В и трех прецизионных приводных валов THSL-300-8D для 3D принтера имеет вид, представленный на рисунке 6. Технические параметры этого двигателя соответствуют национальному электронному стандарту SJ/T10689-95. Шаговый двигатель 28BYJ-48 имеет напряжение питания 5В, класс энергобезопасности А и уровень шума <40dB, что позволяет использовать его в энергосберегающих системах с малым уровнем шума. При разработке программного обеспечения были учтены следующие параметры двигателя 28BYJ-48: количество шагов: 64, количество микрошагов 4096, каждый шаг 5,625 градусов, вращающий момент 34,3 Н/м, номинальная тяга 3500 г/см.

Приводной вал THSL-300-8D для 3D принтера имеет латунную приводную втулку. При позиционировании один оборот вала соответствует прохождению расстояния в 8мм. Вал изготовлен из закаленной стали,

что обеспечивает прочность конструкции и общую массу приводного вала не более 105 г.

В среде разработки приложений LabVIEW 2010 разработана система визуального управления пирометрической системой бесконтактного измерения температуры, которая реализована на основе микропроцессора Arduino Uno Rev3 и пирометра Opttris MS Plus. Блок-схема системы визуального управления, представленная на рис. 7, состоит из следующих программных блоков:

визуального интерфейса управления, модулей настройки портов персонального компьютера (ПК) для подключения инфракрасного пирометра Opttris MS Plus и микропроцессора Arduino Uno Rev3, модуля синхронизации включения и выключения пирометра, модулей управления движением пирометра на валу THSL-300-8D, визуальных компонентов LabVIEW отображения и сохранения регистрируемой температуры.

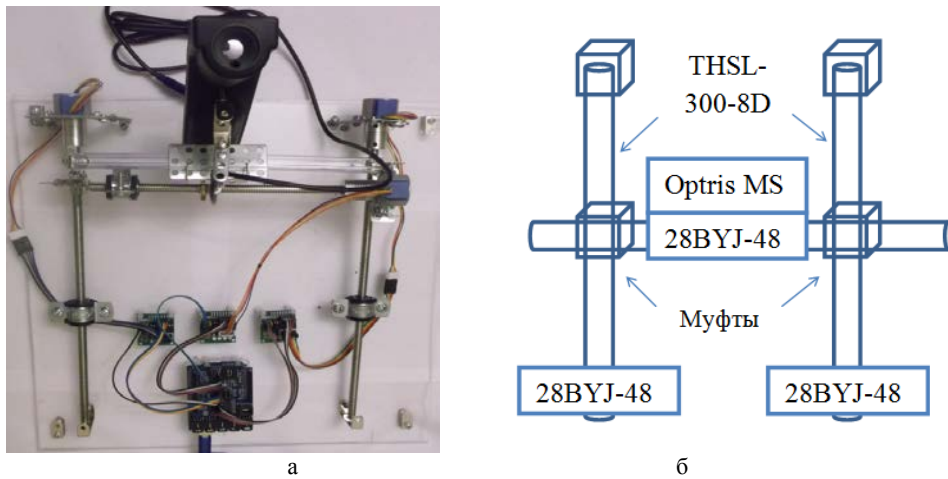


Рис. 6 – Система позиціонування: а – реалізована; б – схематичне зображення

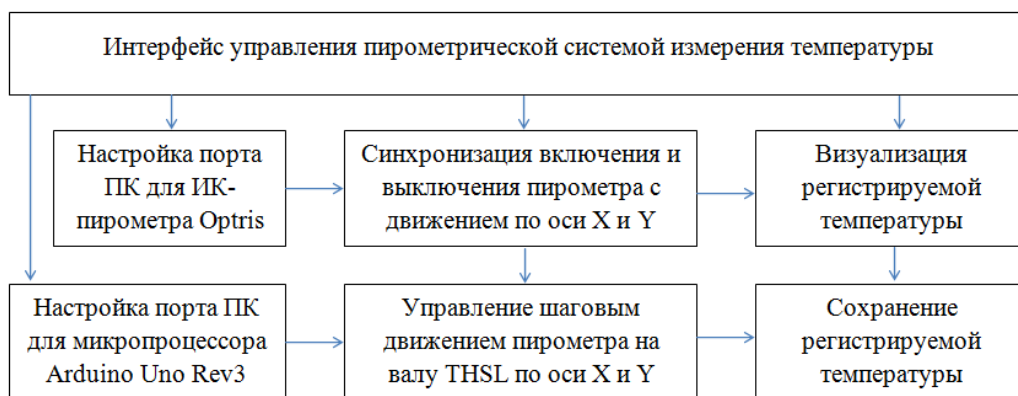


Рис. 7 – Система візуального управління пірометричною системою безконтактного вимірювання температури

Інтерфейс управління для системи безконтактного контролю температури в середі розробки LabVIEW представлений на рис. 8. Візуальний компонент Waveform Amplitude дозволяє в кольорі предста

вити динаміку змінення температури від 0°C (“синій”) до 40°C (“червоний”) по русу градації кольорів відносно установленного максимального значення температури.

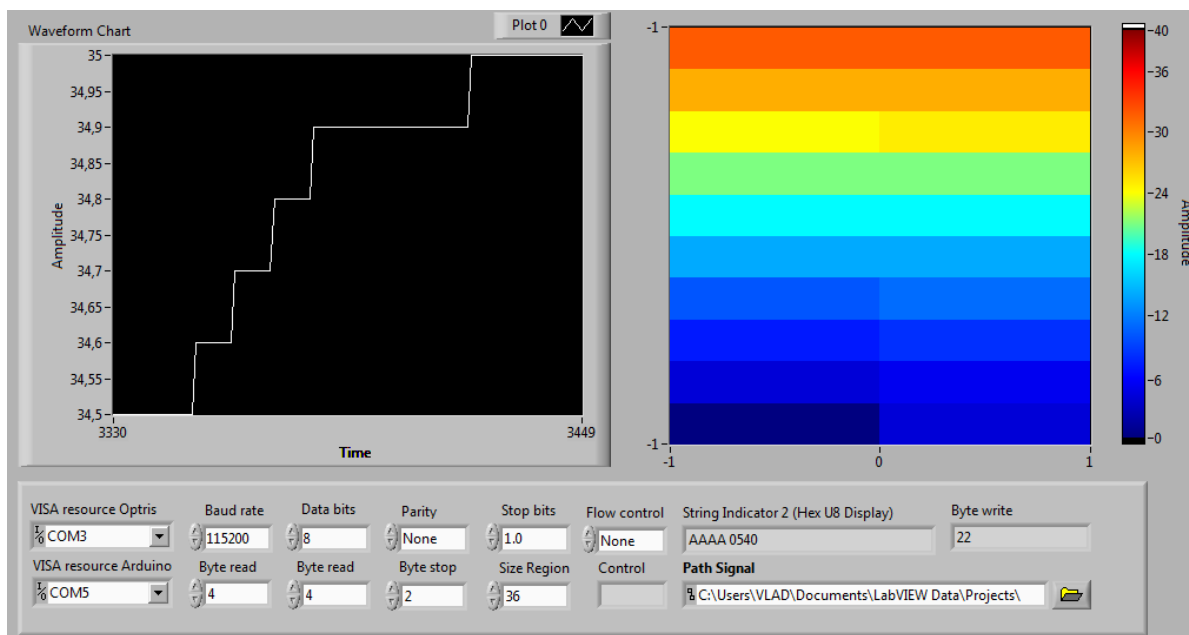


Рис. 8 – Інтерфейс управління в LabVIEW для системи безконтактного контролю температури

Фрагмент программного кода для системы бесконтактного контроля температуры в среде разработки LabVIEW представлен на рисунке 9. Программная реализация в виде виртуального устройства в среде LabVIEW обеспечивает выполнение следующих функций:

1. Подключение микропроцессора Arduino Uno Rev3 и пирометра Optris MS Plus через USB интерфейс к персональному компьютеру;
2. Управление микропроцессором Arduino Uno Rev3 и чтение данных температуры в цикле While Loop из пирометра Optris MS Plus с помощью компонента VISA;

3. Управление шаговым движением пирометра на валу THSL-300-8D по оси X (Y) путем синхронизации вращения двигателей 28BYJ-48 в моменты времени включения ("R") и выключения ("S") пирометра Optris MS Plus;

4. Отображение в компоненте Waveform и сохранение регистрируемой температуры в текстовый файл по заданному пути Path Signal.

Пирометрическая система бесконтактного контроля температуры позволяет визуализировать распределение температуры на поверхности миокарда (рис. 10) и определить области на поверхности миокарда с неравномерными градиентами температуры.

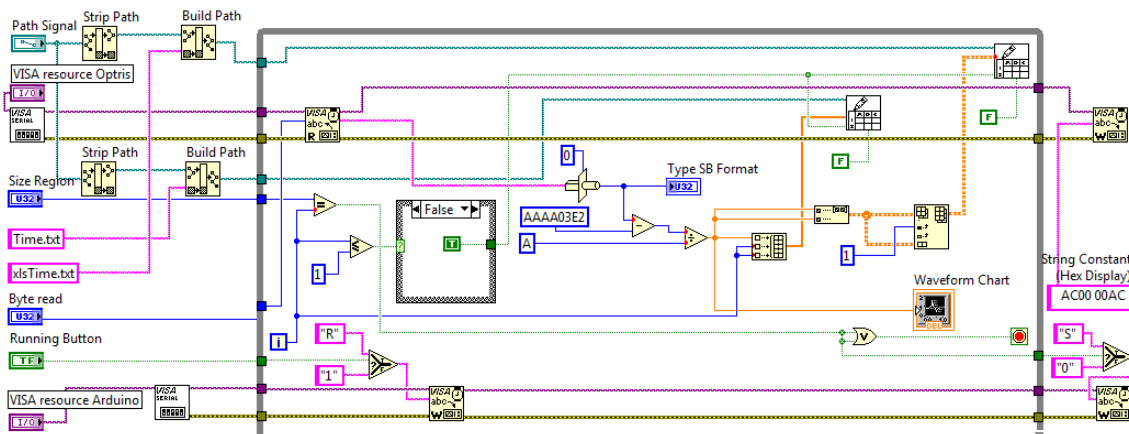


Рис. 9 – Фрагмент программного кода в LabVIEW для системы бесконтактного контроля температуры

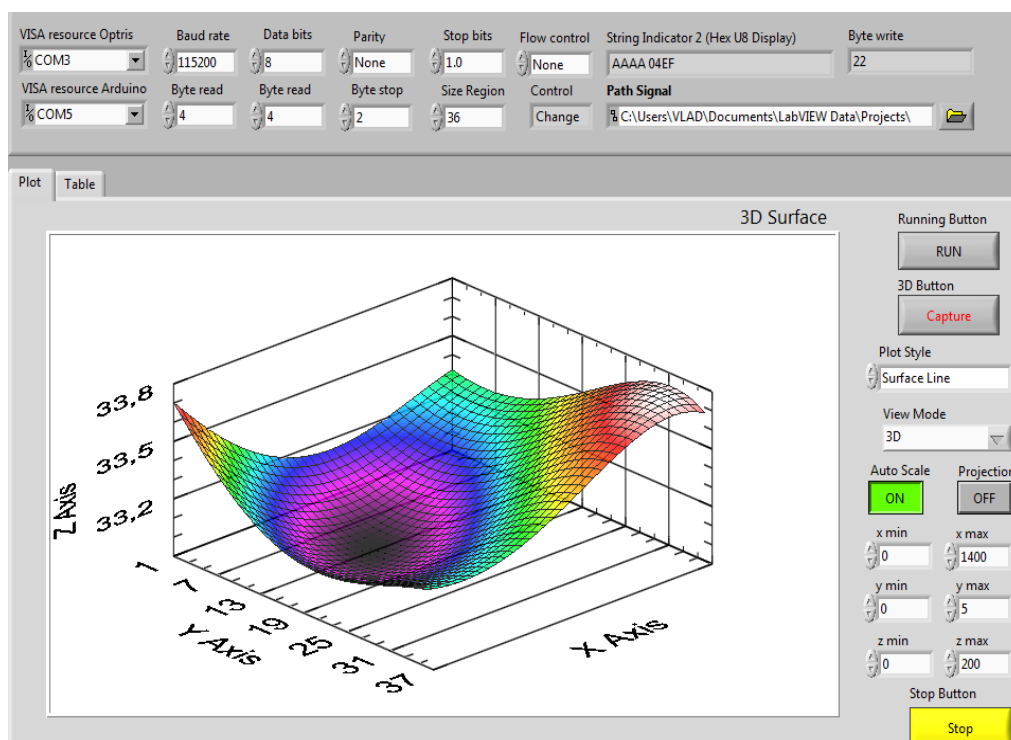


Рис. 10 – Распределение температуры на поверхности миокарда

П

ирометрическая система бесконтактного контроля температуры на основе микропроцессора

Arduino Uno Rev3 и пирометра Optris MS Plus имеет следующие основные технические характеристики:

Таблица 2 – Технические характеристики пирометрической системы бесконтактного контроля температуры

1.	Диапазон измерения температуры	от -5 до 40 °C
2.	Спектральный диапазон	8–14 мкм
3.	Погрешность измерения температуры	±0,5% или ±0,7 °C
4.	Расстояние до объекта	не более 140 мм
5.	Коэффициент теплового излучения	0,1 до 1,1
6.	Оптическое разрешение	20:1
7.	Область сканирования	70 x 70 мм
8.	Время отклика	0,3 секунды
9.	Время сканирования	36 секунд
10.	Напряжение питания	5 В, от USB
11.	Уровень шума	не более 40 dB
12.	Интерфейсы подключения к ПК	2 x USB

Для уменьшения погрешности измерения температуры угол визирования пирометра Optris MS Plus должен быть минимален, поскольку при большом угле визирования пирометр будет измерять некоторую среднюю температуру, складывающуюся из температуры контролируемого объекта и температуры фона, который попадает в поле зрения пирометра. При этом

если температура операционного поля будет меньше температуры миокарда, пирометр будет занижать реальную температуру объекта и наоборот, если температура операционного поля будет выше температуры миокарда, – завышать температуру объекта.

Исходя из приведенных технических характеристик, пирометрическую систему бесконтактного измерения температуры можно рекомендовать для измерения температур биологических объектов в хирургии, которые имеют размер не более 5 – 9 см на расстояниях 1 – 15 см, что обеспечивает высокую точность измерений и визуализации температурного поля.

Выводы. Таким образом, дальнейшая разработка и практическая реализация системы бесконтактного измерения температуры сердца на основе пирометра является целесообразной, поскольку ее применение позволит значительно повысить точность измерения температуры, особенно в условиях искусственного кровообращения и сложных внешних дестабилизирующих факторов.

Полученные с помощью пирометрической системы распределения температуры в миокарде дадут дополнительную диагностическую информацию о наполнении сосудов сердца кровью, а также позволят оценить степень ишемии сосудов в условиях искусственного кровообращения.

Список литературы:

1. Статут залізниць України [Текст]. – Кабінет Міністрів України, 1998. – № 457.
2. Rock Engineering Research Foundation Stiftelsen Bergteknisk Forskning. Practical Application of 3D Laser Scanning Techniques to Underground Projects, phase 2-3. Quanhong Feng: MultiInfo 3D Laser Scan Solution AB [Text]. – Stockholm, 2012. – 67 p. – Available at: http://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/250/Rapport__114_NY_G5.pdf
3. Шестаков, К. М. Лабораторный практикум по курсу «Промышленная электроника» [Текст]: уч. пос. / К. М. Шестаков, Ю. К. Бобко. – Минск: Белгосуниверситет, 1999. – 60 с.
4. Фрунзе, А. Пирометры спектрального отношения. Преимущества, недостатки, пути их устранения [Текст] / А. Фрунзе // Фотоника. – 2009. – № 4. – С. 32–37.
5. Пирометры Dwyer: на гребне прогресса. СВ АЛ'ТЕРА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.svaltera.ua/upload/press-center/articles/pirometry_dwyer.pdf
6. Магунов, А. Н. Спектральная пирометрия (обзор) [Текст] / А. Н. Магунов // Приборы и техника эксперимента. – 2009. – № 4. – С. 5–28.
7. Скрипаль, А. В. Тепловизионная биомедицинская диагностика [Текст]: уч. пос. / А. В. Скрипаль, А. А. Сагайдачный, Д. А. Усанов. – Саратов, 2009. – 118 с. – Режим доступа: http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/_2014/07/04/teploviz._diagnostika_ves_tekst_2009_13.pdf
8. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Текст]. – 6-е изд. с изм. и доп. – Москва, 2004.
9. Arduino. Arduino UNO Reference Design [Electronic resource]. – Available at: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-uno-schematic.pdf>
10. Optris GmbH. Optris Infrared thermometers. Data Sheet Optris MS LT Series [Electronic resource]. – Available at: <http://www.optris.ru/ms>
11. LabVIEW 2010 National Instruments. LabVIEW Documentation Resources [Electronic resource]. – Available at: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371361g.zip>

Bibliography (transliterated):

1. Statut zaliznyts Ukrainy (1998). Kabinet Ministriv Ukrainy, No. 457.
2. Rock Engineering Research Foundation Stiftelsen Bergteknisk Forskning. Practical Application of 3D Laser Scanning Techniques to Underground Projects, phase 2-3. Quanhong Feng: MultiInfo 3D Laser Scan Solution AB (2012). Stockholm, 67. Available at: http://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/250/Rapport__114_NY_G5.pdf
3. Shestakov, K. M., Bobko, Yu. K. (1999). Laboratornyy praktikum po kursu «Promyshlennaya elektronika». Minsk: Belgouniversitet, 60.
4. Frunze, A. (2009). Pirometry spektral'nogo otnosheniya. Preimushchestva, nedostatki, puti ih ustraneniya. Fotonika, 4, 32–37.
5. Pirometry Dwyer: na grebne progressa. SV AL'TERA. Available at: http://www.svaltera.ua/upload/press-center/articles/pirometry_dwyer.pdf
6. Magunov, A. N. (2009). Spektral'naya pirometriya (obzor). Pribyori i tekhnika eksperimenta, 4, 5–28.
7. Skripal', A. V., Sagaydachnyi, A. A., Usanov, D. A. (2009). Teplovizionnaya biomeditsinskaya diagnostika. Saratov, 118. Available at: http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2014/07/04/teploviz._diagnostika_ves_tekst_2009_13.pdf
8. RD 34.45-51.300-97. Ob'em i normy ispytaniy elektrooborudovaniya (2004). Moscow.
9. Arduino. Arduino UNO Reference Design. Available at: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-uno-schematic.pdf>
10. Optris GmbH. Optris Infrared thermometers. Data Sheet Optris MS LT Series. Available at: <http://www.optris.ru/ms>
11. LabVIEW 2010 National Instruments. LabVIEW Documentation Resources. Available at: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371361g.zip>

Поступила (received) 06.07.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Пирометрическая система контроля температуры/ Шлыков В. В., Данилова В. А., Диденко М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 20(1242). – С.11–19. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Пірометрична система контролю температури/ Шликов В. В., Данілова В. А., Діденко М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 20(1242). – С.11–19. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Pyrometric system of temperature control/ Shlykov V., Danilova V., Didenko M. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242).– P.11–19. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шликов Владислав Валентинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Данілова Валентина Анатоліївна – асистент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056; e-mail: valnaa@ukr.net.

Діденко Мирослав – студент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056;

Шлыков Владислав Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», пр. Победы, 37, Киев, Украина, 03056, e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Данилова Валентина Анатольевна – ассистент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», проспект Победы, 37, Киев, Украина, 03056, тел.: +380(44) 204-96-83, e-mail: valnaa@ukr.net.

Диденко Мирослав – студент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», проспект Победы, 37, Киев, Украина, 03056.

Shlykov Vladyslav – PhD, associate Professor of Biomedical Engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056,

Danilova Valentyna – assistant of Biomedical engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail: valnaa@ukr.net.

Didenko Miroslav –student of Biomedical engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056.

УДК 681.513.3

Я. А. КУЛИК, Б. П. КНИШ, М. В. ШКУРАН, О. В. ЧЕРНОВОЛИК

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СТЕЖЕННЯ ЗА РУХОМ СОНЦЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ККД СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Обґрунтовано вибір типу реалізації структурної схеми для 2-хосьового поворотного механізму для сонячної панелі. Розроблено функціональну схему слідкування за рухом сонця через фотодатчики на цифровій елементній базі та програмне забезпечення на базі пристрою Arduino. Обґрунтоване розміщення фотодатчиків, яке дозволяє виконувати незалежне спостереження по 2-м осям. Розроблений пристрій збільшує вартість лише на 10 %, дозволяє підвищити ККД з 10–15 % до 40–55 % і має термін окупності 5–6 років.

Ключові слова. 2-хосьвий сонячний трекер, схема стеження за рухом сонця через фотодатчики.

Обоснован выбор типа реализации структурной схемы для 2-хосьового поворотного механізму для сонячної панелі. Розроблена функціональна схема слєження за движением солнца через фотодатчики на цифровой элементной базе и программное обеспечение на базе устройства Arduino. Обоснованное размещение фотодатчиков, которое позволяет выполнять независимое наблюдение по 2-м осям. Разработанное устройство увеличивает стоимость всего на 10%, позволяет повысить КПД с 10–15% до 40–55% и имеет срок окупаемости 5–6 лет.

Ключевые слова. 2-хосьвий сонячний трекер, схема слєження за движением солнца через фотодатчики.

Solar energy is environmentally friendly, independent of fossil sources, autonomous, does not require high cost for development and maintenance. The choice of the type of implementation of the structural scheme for the 2-hand rotary mechanism for the solar panel is substantiated. The functional scheme of monitoring the motion of the sun through photoconductors on a digital element base and software on the basis of the Arduino device, which controls 2 servo drives depending on the angle of inclination of the sun relative to the solar panel, is developed. Grounded posting of photo sensors, which allows you to perform independent observation on the 2nd axes. The developed device increases the cost by only 10%, allows you to increase the efficiency of 10–15% to 40–55% and has a payback period of 5–6 years when using the "green tariff".

Keywords. 2-track solar tracker, tracking the sun's motion through photosensors.

© Я. А. Кулик, Б. П. Книш, М. В. Шкуран, О. В. Черноволик. 2017