

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»
ПО ПРОФИЛЮ «ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО»**

--

*регистрационный
номер*

Секция: Радиоэлектроника, лазерная и медицинская техника

Название работы:

**ФИКСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ БИОНИЧЕСКОГО
ПРОТЕЗА**

Автор:

Якимова Любовь Андреевна,
ГБОУ “Школа №1502 “Энергия”

Научный руководитель:

Ячук Владимир Аркадиевич,
учитель физики в ГБОУ Школа №1502
Аспирант кафедры ОФиЯС ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,

Москва-2024

Аннотация

Данная тема актуальна в наше время, так как многие люди получают травмы конечностей. Бионические протезы играют большую роль в реабилитации после травм. При этом пациенты не имеют возможности чувствовать и взаимодействовать с окружающим миром. На данный момент проблема реализации чувствительности бионического протеза к температурным изменениям не решена. Однако существуют разработки приборов, которые смогут повысить чувствительность бионических протезов. **Основным вопросом** при разработке проекта было создание модели устройства, демонстрирующего реализацию чувствительности бионического протеза к температуре ощущаемого предмета. **Задачи проекта:** 1) Изучить, как решается проблема чувствительности бионических протезов в зависимости от температуры. 2) Создать собственную модель, позволяющую человеку с протезом чувствовать температуру предметов, к которым он прикасается. 3) Провести исследование, подтверждающее работоспособность устройства.

Мой **прибор** состоит из: микроконтроллера, жидкокристаллического индикатора, датчика температуры, элемента Пельтье, преобразователя напряжений, отклика, смещения. **Предметом моего исследования** было определение работоспособности данной модели. В исследовании участвовало 14 человек. Участникам нужно было определить, в каком сосуде находится горячая, а в каком холодная вода. Они опускали датчик температуры в разные ёмкости, и, прикладывая палец к элементу Пельтье, все участники эксперимента смогли безошибочно определить, какая вода находится в конкретной чашке. Таким образом, прикладывая элемент Пельтье к предплечью, можно также почувствовать температуру предмета. **Выводы:** 1. Изучили, как решается данная проблема. 2. Создали собственную модель, позволяющую понять принцип работы устройства, определяющего температуру тел. 3. Опытным путём проверили работоспособность нашего устройства.

Оглавление

Аннотация	2
Введение.....	4
Основное содержание	5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	5
1. Протезирование и бионические протезы [1].....	5
2. Датчики, их свойства и принцип работы.	6
Принцип работы	9
Элемент Пельтье [6].....	12
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	13
Использование результатов.....	22
Заключение.	25
Список литературы	26

Введение

Актуальность В наше время бионические протезы играют большую роль в реабилитации после травм. Они соединяют в себе большое количество наук, что позволяет таким приборам полностью функционировать как здоровый орган. Это является существенным отличием от других видов протезов. Благодаря развитию современных технологий, такие устройства улучшаются и становятся более доступными.

Главная цель проекта заключается в создании модели устройства, демонстрирующего реализацию чувствительности бионического протеза к температурным изменениям. Это будет осуществляться с помощью датчика температуры, подключённого к элементу Пельтье через схему управления.

Я предполагаю, что человеку, использующему такой прибор, будет более комфортно взаимодействовать с окружающим миром. Данное изобретение даёт возможность людям, у которых отсутствует конечность, иметь яркую и насыщенную жизнь.

Чтобы добиться поставленных целей, выделим конкретные **задачи**:

- 1) Изучить, как решается проблема чувствительности бионических протезов в зависимости от температуры.
- 2) Изучить данные о новых разработках в этой области.
- 3) Создать собственную модель, позволяющую человеку с протезом чувствовать температуру предметов, к которым он прикасается.
- 4) Провести исследование, подтверждающее работоспособность устройства.

Моя работа делится на теоретическую и практическую части. В свою очередь теория будет представлена в двух блоках: 1. Протезирование и бионические протезы; 2. Датчики, их свойства и принцип работы (**теоретический метод**). В практической части будет описан процесс создания прибора (**практический метод и анализ результатов**), а также проведение

исследования о функционировании прибора для подтверждения жизнеспособности предложенного метода.

Основное содержание

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Организм человека представляет собой сложную систему, где все процессы протекают по определённым законам и имеют ряд специфических особенностей. Внешние воздействия могут нарушить его работу. К сожалению, в результате травм разного происхождения врачи часто вынуждены прибегнуть к ампутации конечностей. Но если ранее такой пациент уже не мог вернуться к полноценной жизни, то теперь наука дает возможность вернуть этим людям движение и радость, значительно улучшив качество их жизни.

1. Протезирование и бионические протезы [1].

Протезирование – это возмещение утраченных частей тела человека с помощью искусственных средств – протезов. Целью протезирования является восстановить утраченный орган, тем самым, вернуть работоспособность человеку.

Возможности и перспективы современного протезирования.

В настоящее время получили активное развитие биопротезы (рисунок 1).


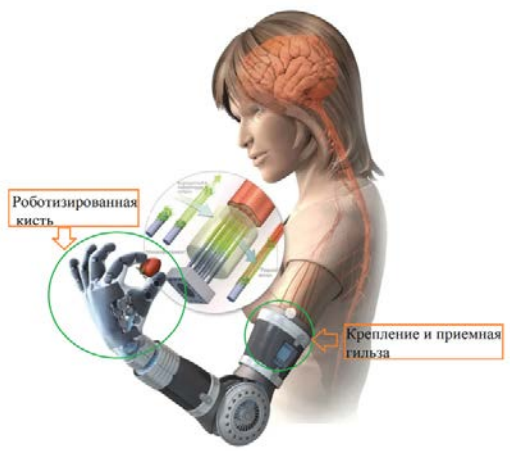


Рисунок 1. Бионический протез.

Рассмотрим принцип работы бионического протеза

- 1) Мозг отправляет электрический сигнал мышцам.
- 2) Протез, используя специальные датчики, улавливает сигналы мозга.
- 3) Управляющая система получает, обрабатывает полученный сигнал, дает соответствующую команду искусственной руке.
- 4) Команда приводится в действие

Наглядное описание принципа действия устройства на сжатии пальцев руки приведено на рисунке 2.

 <p>1. Мозг посылает электрические импульсы мышцам, такие же, как на реальную руку. Например, сжать пальцы.</p> <p>2. На культю надет протез, который специальными датчиками улавливает импульсы через кожу.</p> <p>3. Микрокомпьютер получает сигнал, обрабатывает его и дает команду сжать руку.</p> <p>4. Сервомоторы в пальцах начинают работать. Пальцы сжимаются с определенной силой.</p>	 <p>1. Роботизированная кисть</p> <p>2. Крепление и приемная гильза</p> <p>3. Внешний источник энергии</p>
<p>Рисунок 2. Принцип работы бионического протеза</p>	<p>Рисунок 3. Составные части бионического протеза.</p>

Бионический протез состоит (рисунок 3) из приемной гильзы, крепления, роботизированной кисти, внешнего источника энергии.

Бионический протез руки считывает сигналы, приходящие от мышц, с помощью мио-датчиков, которые установлены внутри приемной гильзы, приводит механизм в действие. Так происходит управление искусственной рукой.

2. Датчики, их свойства и принцип работы.

Для изучения и контроля какого-либо заболевания используют технические приборы – биомедицинские сенсоры. В настоящее время люди, которые вынуждены носить протезы, сталкиваются с трудностями, так как методы их

использования ещё не достаточно изучены. При этом они не имеют возможности чувствовать и взаимодействовать с окружающим миром.

На данный момент проблема не решена. Однако существуют разработки приборов, которые смогут повысить чувствительность бионических протезов.

Вот одна из них:

Учёные (Сильвестор Мицер и Солайман Шокур) разработали прибор [3], который сможет вернуть человеку тактильные ощущения (рисунок 4).

Исследуя эту проблему, учёные провели эксперимент. Они подключали специальные датчики (термоэлектроды) к коже ампутированной руки и таким образом изучали степень ощущения человеком собственной руки (фантомной конечности). В эксперименте участвовали 27 человек [4]. Среди них почувствовали изменение температуры 17: «Обратная связь по температуре - это приятное ощущение, потому что вы чувствуете конечность, фантомную конечность, полностью. Она больше не кажется фантомной, потому что ваша конечность вернулась» - рассказывала Росси.

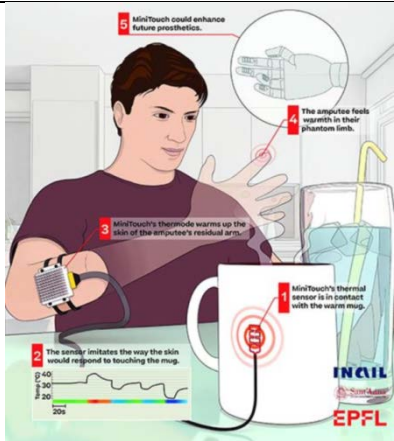



Рисунок 4. Прибор, помогающий человеку вернуть тактильные ощущения.

Разработка Сильвестора Мицера и Солаймана Шокура.

Учёные клали на предплечье испытуемых какой-то горячий или холодный предмет, и пациенты чувствовали изменение температуры. Также люди, которые принимали участие в эксперименте, смогли на ощупь определить температуру и материал предмета - медь, пластик и стекло – в 66% случаев, почти так же, как и люди со здоровыми конечностями.

Разработанная система, соединяющая тело человека с цифровыми технологиями, называется MiniTouch. Устройство обеспечивает тепловую связь между человеком и окружающей средой и состоит из тонкого датчика (рисунок 5). Оно было изобретено специально для улучшения качества протеза [5]. Плёночный датчик, который крепится на искусственный палец (рисунок 6), определяет теплопроводность предмета и передаёт информацию на кожу здоровой части руки. Затем центральная нервная система передаёт импульс в мозг, таким образом, человек ощущает температуру предмета.

	
<p>Рисунок 5. Устройство MiniTouch. Наглядная схема работы.</p>	<p>Рисунок 6. Плёночный датчик температуры, расположенный на пальцах протеза.</p>

В дальнейшем учёные собираются развивать данное направление науки, восстанавливая весь спектр ощущений здоровой руки.

Итак, можно сделать вывод, что для фиксации температуры поверхности необходимо использовать устройства, способные «чувствовать» величины

такого рода. Далее предлагаю разобраться в принципе работы и сфере применения датчиков.

Датчики [1]

Слово «датчик» означает способность чувствовать изменение внешней среды. **Датчик** – это устройство, которое фиксирует внешние параметры и реагирует на их изменение, преобразуя физические величины в сигналы, удобные для использования в дальнейшей работе. Для создания сенсоров используются различные процессы и алгоритмы физики, биологии, химии, информатики и т.д.

Принцип работы

Рассмотрим основные составляющие прибора, соединённые последовательно:

1. **Сенсор.** На него подаётся исследуемая величина
2. **Преобразователь.** Анализирует сигнал с сенсора и переводит информацию в наиболее удобный для дальнейшей работы вид.

Основная *задача* датчиков заключается в **восприятии, передаче и контроле** исследуемых параметров. Измерительный прибор тем или иным образом считывает необходимые величины (**входные данные**), такие как: перемещение, температура, скорость, давление, освещённость и т.д (в зависимости от его назначения). Затем проводятся **измерительные преобразования**. В результате эти параметры (**выходные данные**) отображаются в удобном формате. **Выходной сигнал** представляет собой изменение тока, сопротивления или напряжения.

Преобразования одной физической величины в другую сопровождается **преобразованиями энергии**. Поток энергии используется для переноса измерительного сигнала, содержащего информацию об измеряемой

физической величине. В результате может также формироваться закон, формула, зависимость и т.д.

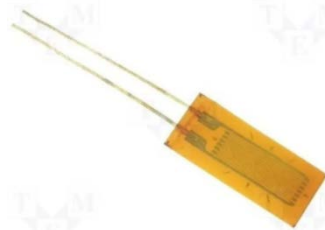
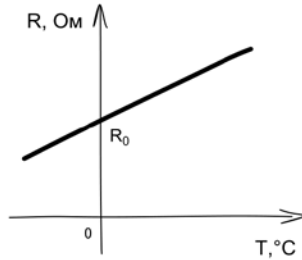
Датчики температуры

В автоматизации технологических процессов часто приходится фиксировать температурные параметры. Это, например, позволяет отслеживать состояние материала, протекание тех или иных физических процессов и т.д.

Температура может изменяться стационарно, т.е. изменяясь в пределах определённого диапазона, или динамически (теплоудар).

Существует множество видов датчиков температуры. Например, их можно разделить по принципу действия. Расскажем о тонкоплёночном датчике более подробно, т.к он использовался в разработке MiniTouch.

Тонкоплёночный датчик относится к терморезисторам (рисунок 7).

	
Рисунок 7. Тонкоплёночный датчик	Рисунок 8. График зависимости сопротивления от температуры для терморезисторов.

Тонкоплёночные датчики имеют малые размеры.

Терморезисторы – один из наиболее известных типов датчиков температуры. Их сопротивление меняется за счёт изменения температуры. Зависимость температуры от сопротивления является почти линейной (рисунок 8).

Главная характеристика сенсора – номинальная статическая характеристика (НСХ) и класс допуска. НСХ – это зависимость сопротивления элемента от температуры (функция $R(T)$). Класс допуска определяет максимально отклонение от расчётного значения $R(T)$.

В настоящее время такие датчики производятся по тонкоплёночной технологии. Тонкоплёночный датчик состоит из керамической подложки, на которую наносится тонкопроводящая подложка и изолирующий слой стекла.

На следующем рисунке представлены два вида терморезисторов: намоточные и тонкопроводящие (рисунок 9).

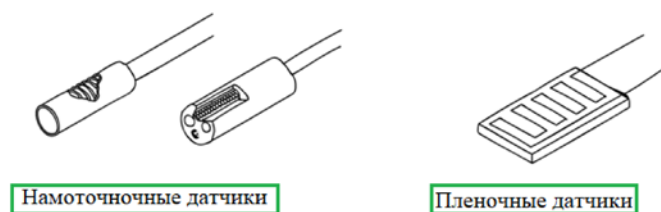


Рисунок 9. Намоточные и тонкоплёночные конструкции термосопротивлений.

Намоточные датчики имеют цилиндрическую форму и состоят из спиралей. Проволока наматывается на стеклянный или керамический цилиндр и покрывается изолирующим слоем.

Тонкоплёночный датчик состоит (рисунок 10) из керамической пластины из оксида алюминия. На неё наносится тонкий слой платины и фоторезист.

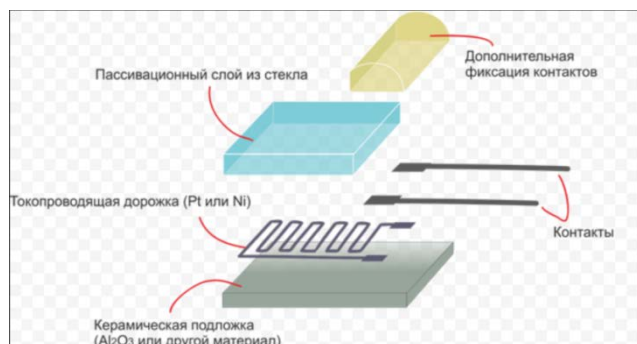


Рисунок 10. Тонкоплёночный датчик.

Затем на пластину наносится маска и подвергается травлению. В итоге получается платиновые токопроводящие контактные площадки. Всё это покрывается специальным пассивационным стеклом.

После этого присоединяются и фиксируются выводы. Такую структуру имеют большинство тонкоплёночных датчиков.

Тонкоплёночные датчики часто применяются, где сенсор приклеивается к поверхности объекта.

Это позволяет повысить точность и увеличить быстроту измерения.

Тонкоплёночные датчики устойчивы к вибрациям, скорости отклика и резким перепадам температуры.

В заключение стоит отметить, что с появлением тонкоплёночных датчиков появились новые варианты решений сложных задач.

Элемент Пельтье [6].

В данном проекте будет использоваться элемент **Пельтье**, рассмотрим принцип его работы.

Итак, элемент Пельтье представляет собой термоэлектрический преобразователь (рисунок 11). Элемент состоит из двух пластин.

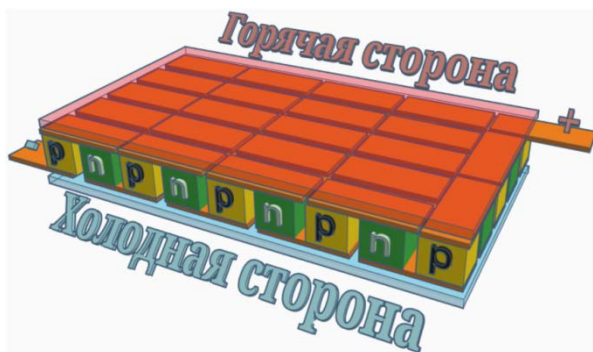


Рисунок 11. Внутреннее строение элемента Пельтье

Подавая напряжение на элемент Пельтье, она будет нагреваться, а другая будет охлаждаться. Если сменить полярность питания на противоположную, то горячая и холодная стороны поменяются местами.

Внутри пластин расположены р-п переходы. Если через них проходит электрический ток, то на переходе р-п выделяется тепло (пластина нагревается), а на п-р поглощается (пластина охлаждается).

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Практической частью моего проекта является создание собственной модели, с помощью которой человек сможет вновь почувствовать температуру окружающей среды, а также проведение эксперимента.

Создание портативного устройства.

Данный прибор считывает температуру на своей поверхности и передаёт эту информацию на элемент Пельтье, который нагревается или охлаждается в зависимости от температурных показаний.

В реальной жизни следует использовать тонкопленочный датчик, прикрепленный к поверхности пальцев на бионическом протезе, а элемент Пельтье крепится на ремне, установленном на здоровом предплечье пациента, используемом для управления протезом. Так обеспечивается плотное соприкосновение элемента Пельтье (нагревающегося или охлаждающегося) с поверхностью кожи, что дает мгновенную информацию для мозга нашего пациента, т.е. он начинает ощущать температуру самым естественным образом. Такое устройство может вернуть человеку, использующему протез, связь с внешней температурой.

Мы же делаем собственный аналог для проверки жизнеспособности данной гипотезы.

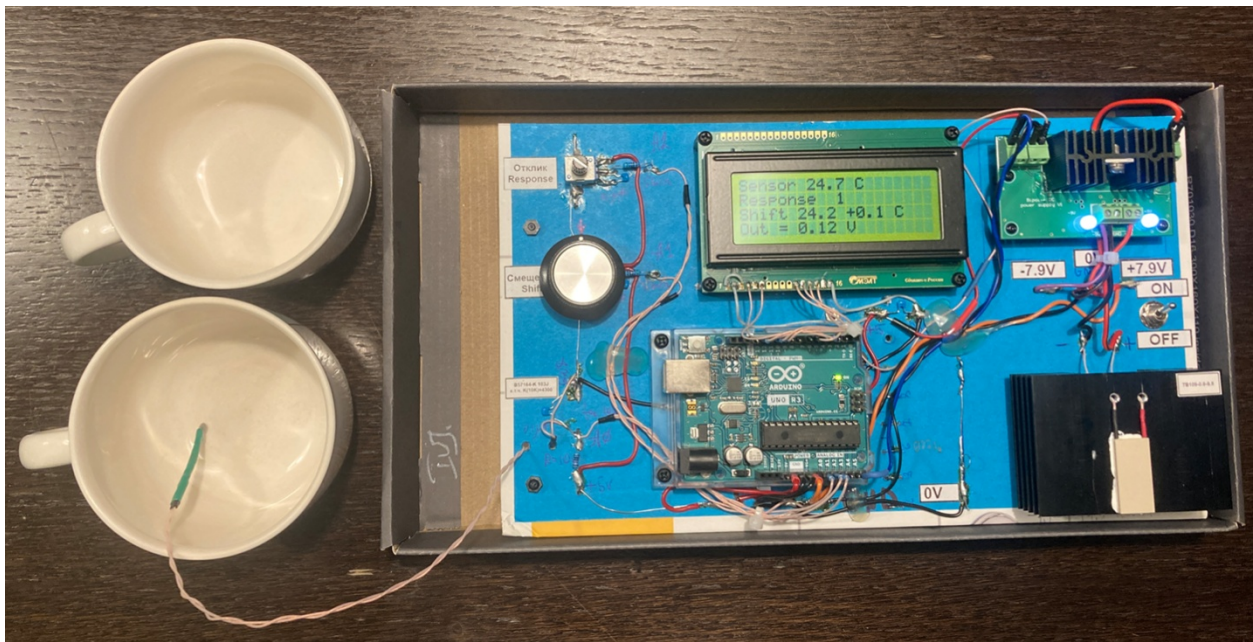


Рисунок 12. Мой прибор

Мой прибор (рисунок 12) состоит из: жидкокристаллического экрана, микроконтроллера Arduino, элемента Пельтье, датчика температуры, преобразователя напряжений.

Разберем каждый блок в отдельности

- 1) **Датчик температуры.** Используется датчик температуры B57164-K 103J, представленный ниже.

В проекте используется **керамический** датчик температуры. Такие датчики меняют свое сопротивление в зависимости от температуры.

На рисунке ниже изображена схема подключения датчика температуры к микроконтроллеру Arduino (рисунок 13).

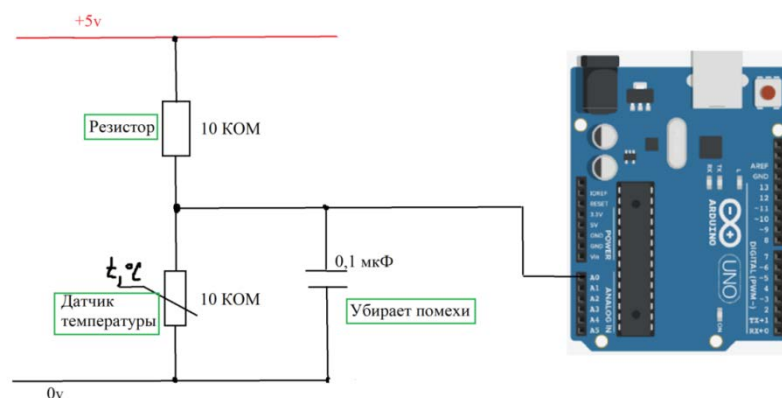


Рисунок 13. Схема подключения датчика температуры к микроконтроллеру Arduino

Датчик температуры подаёт на Arduino значения напряжения от 0 до 5 вольт, а микроконтроллер преобразует эти данные в виде цифр от 0 до 1023.

Самое большое значение 1023 соответствует бесконечному сопротивлению датчика, а напряжение равно 5 вольтам.

Самое маленькое значение 0 соответствует нулевому сопротивлению датчика, а напряжение равно 0 вольт.

Программа

Создаем переменную `t_ref` (рисунок 14).

```
// ГЛОБАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ //
unsigned long LCD_interval = 0;

float voltage;
float r1;
float sensor;
float t_ref;
```

← Переменная для температуры

Рисунок 14. Переменная для температуры при включении прибора (`t_ref`)

Вычисляем опорную температуру (рисунок 15).

```
// вычисляем опорную температуру "t_ref" в °C
voltage = analogRead(A0) * VIN / 1023.0;
r1 = voltage / (VIN - voltage);
t_ref = 1./ ( 1./ (TERMIST_B)*log(r1)+1./ (25. + 273.) ) - 273; // Опорная температура
```

Рисунок 15. Вычисление опорной температуры

Для этого нужно перевести значение напряжения из цифр от 0 до 1023 в напряжения по формуле: $\frac{A0*5}{1023} = \text{voltage}$

опорная температура вычисляется по формуле:

$$t_{ref} = \left(\frac{1}{\frac{1}{4300} * \log\left(\frac{\text{voltage}}{5-\text{voltage}}\right) + \frac{1}{25+273}} \right) - 273$$

Считываем текущую температуру (sensor) и вычисляем (d_t) разницу между начальной (при включении) и текущей температурой по формуле (рисунок 16):

$$d_t = \text{sensor} - t_ref + \text{shift}$$

```
// вычисляем d_t в °C
float d_t = sensor - t_ref + shift;
```

Рисунок 16. Формула для вычисления разницы температур (между текущей и опорной, т.е. при включении)

Знак d_t определяет нагрев или охлаждение элемента Пельтье.

2) Смещение (Shift) и отклик (Response).

Shift отвечает за *смещение* температуры относительно температуры датчика при включении прибора.

Response отвечает за степень чувствительности передачи данных о температуре на элемент Пельтье.

На графике представлена зависимость температуры на элементе Пельтье от температуры на датчике. Зависимость можно описать функцией $y=k*x+b$. Отклик (**Response**) будет отвечать за угол наклона графика (коэффициент k), а смещение (**Shift**) – за смещение графика по оси y (коэффициент b)

Таким образом, можно изобразить графический смысл смещения и отклика (рисунок 17).

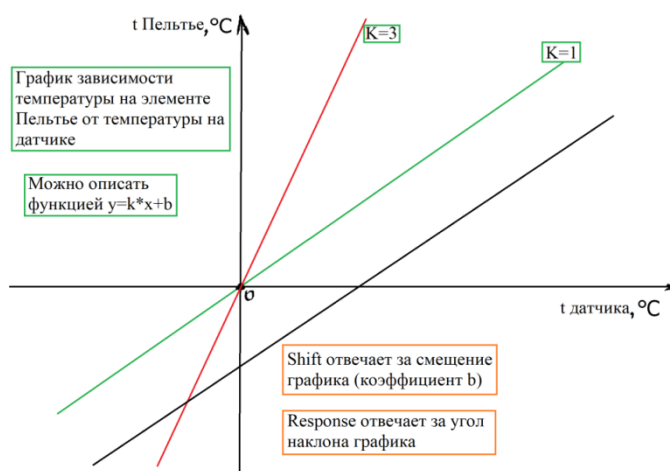


Рисунок 17. График зависимости температуры на элементе Пельтье от температуры датчика.

Смещение (Shift) и отклик (Response) работают по одной схеме, представленной ниже (рисунок 18).

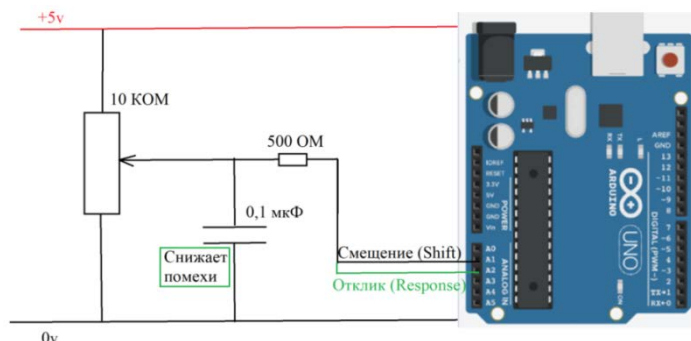


Рисунок 18. Схема подключения смещения (Shift) и отклика (Response) к микроконтроллеру Arduino.

В результате, на Arduino приходят значения:

- 1) от Response (отклик) от 1 до 5,
- 2) от Shift смещения от -10 до 10,

Микроконтроллер их переводит в числа от 0 до 1023.

Программа

Для того, чтобы определить величину отклика нужно обратно перевести числа от 0 до 1023, которые находятся в микроконтроллере в числа от 1 до 5 по формуле (рисунок 19): $response = \left(\frac{A2 * 4}{1023} \right) + 1$

```
// вычисляем отклик "Response"
float response = ((float) analogRead(A2) / 255.75) + 1.0; // 1..5
```

Рисунок 19. Вычисление величины отклика

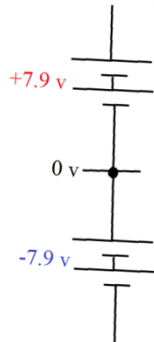
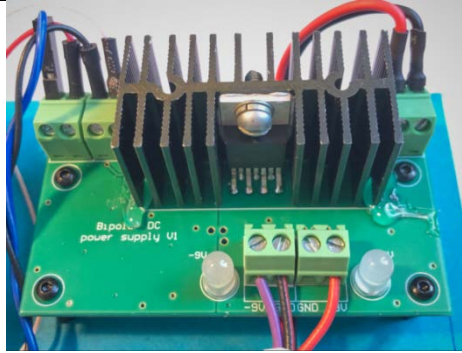
Для того, чтобы определить величину смещения нужно обратно перевести числа от 0 до 1023, которые находятся в микроконтроллере в числа от -10 до 10 по формуле (рисунок 20): $response = \left(\frac{A1 * 20}{1023} \right) - 10$

```
// вычисляем смещение "Shift" в °C
float shift = ((float) analogRead(A1) / 51.15) - 10.0; // +10°C..-10°C
```

Рисунок 20. Вычисление величины смещения

3) Преобразователь напряжений (усилитель) (рисунок 21)

Преобразователь напряжений получает двухполярное питание, по представленной схеме на рисунке 22.

	
<p>Рисунок 22. Схема питания преобразователя напряжений.</p>	<p>Рисунок 21. Преобразователь напряжений (усилитель).</p>

Микроконтроллер считывает и преобразует всю поступившую информацию (температура, смещение, отклик).

На преобразователь напряжения (рисунок 23) приходит напряжение от 0 до 3,7v вольт от Arduino(pin6). Далее оно преобразуется в напряжение от -3,3 v до +3,3 v. Затем это измененное напряжение приходит на элемент Пельтье.

Вычисляем напряжение, определяющее охлаждение или нагрев элемента

Пельтье, по формуле (рисунок 24): $v_{pm} = \frac{d_t}{10} * response + 1.85$

```
// вычисляем управляющее напряжение для PWM
float v_pwm = (d_t/10.0)*response + 1.85; // 1.85V нейтральное значение для УСИЛИТЕЛЯ
if(v_pwm > 3.70) v_pwm = 3.70; // максимальный нагрев
if(v_pwm < 0.00) v_pwm = 0.00; // максимальное охлаждение

// выгружаем управляющее напряжение на PWM
analogWrite( PWM_PIN, (int)(v_pwm*255.00/VIN) );
```

Рисунок 24. Вычисление напряжения, определяющее охлаждение или нагрев элемента Пельтье.

Элемент Пельтье:

1. **нагревается**, если на преобразователь напряжения поступает напряжение от 1.85v до 3.7v, что соответствует диапазону напряжений от 0 до +3.3v, которые подаются на элемент Пельтье,

2. *охлаждается* если на преобразователь напряжения поступает напряжение от 0v до 1.85v, что соответствует диапазону напряжений от -3.3v до +3.3v, которые подаются на элемент Пельтье,
3. остаётся в *нейтральном положении* если на преобразователь напряжения поступает напряжение 1.85v, что соответствует напряжению 0v, которые подаются на элемент Пельтье.

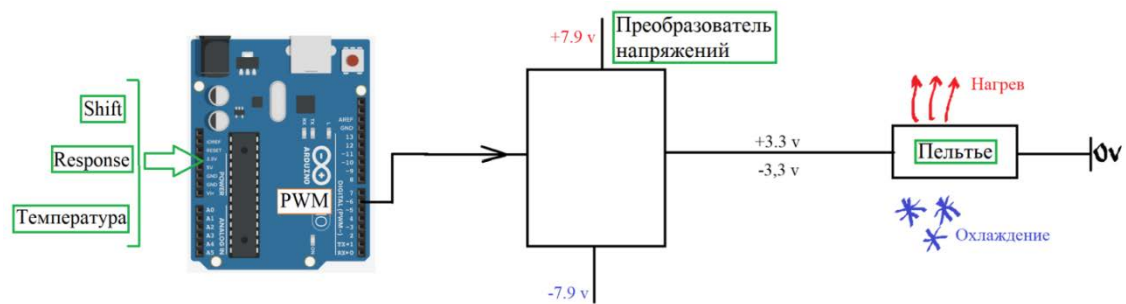


Рисунок 23. Наглядная схема преобразования информации усилителем.

4) Жидкокристаллический индикатор

На рисунке 25 расположена схема подключения жидкокристаллического экрана к микроконтроллеру Arduino.

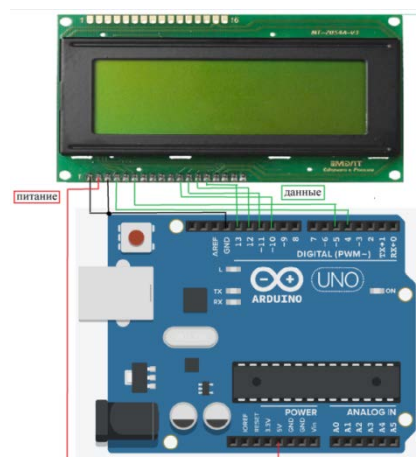


Рисунок 25. Схема подключения жидкокристаллического экрана к микроконтроллеру Arduino.

Программа

Сначала подключаем библиотеку для экрана и объявляем те контакты, с которых экран будет считывать информацию (рисунок 26).

```
#include <math.h>           // Подключаем библиотеку с математикой
#include <LiquidCrystal.h>   // Подключаем библиотеку для LCD
#define PWM_PIN 6           // ШИМ управления ЭЛЕМЕНТОМ ПЕЛЬТЬЕ

#define TERMIST_B 4300      // Параметр конкретного типа термистора (из datasheet)
#define VIN          5.0    // Питающее напряжение

// Инициализируем объект-экран, передаём использованные
// для подключения контакты на Arduino в порядке:
//          RS, E, DB4, DB5, DB6, DB7
LiquidCrystal lcd(4, 5, 10, 11, 12, 13);
```

Подключаем библиотеку для экрана

Программно подключаем контакты к экрану

Рисунок 26. Подключение библиотеки и контактов экрана

Затем выводим поступающие данные по следующей системе:

1. Устанавливаем курсор
2. Очищаем эту строку
3. Устанавливаем курсор
4. Формируем строку
5. Печатаем

На жидкокристаллический экран выводятся 4 строки с данными (рисунок 27):

- 1 строка: температура датчика (sensor),
- 2 строка: степень чувствительности передачи данных о температуре на элемент Пельтье (response),
- 3 строка: смещение температуры относительно температуры датчика при включении прибора
- 4 строка: Out напряжение на элементе Пельтье относительно 0

```
// КАЖДЕ 0.5 СЕКУНДЫ ОБНОВЛЯЕМ ЭКРАН
if ( millis() - LCD_interval >= 500 )
{
    LCD_interval = millis(); // запоминаем новое время для отсчета нового интервала

    //Serial.println(v_pwm);
    String lcd_str_clear = " "; // пустая строка для очистки
    String lcd_string; // строка на отправку в дисплей

    lcd.setCursor(0, 0); // Устанавливаем курсор колонка 0; строка 0
    lcd.print(lcd_str_clear); // Очищаем 0 строку
    lcd.setCursor(0, 0); // Устанавливаем курсор колонка 0; строка 0
    lcd_string = "Sensor " + String(sensor, 1) + " C"; // формируем 0 строку
    lcd.print(lcd_string); // Печатаем 0 строку

    lcd.setCursor(0, 1); // Устанавливаем курсор колонка 0; строка 1
    lcd.print(lcd_str_clear); // Очищаем 1 строку
    lcd.setCursor(0, 1); // Устанавливаем курсор колонка 0; строка 1
    lcd_string = "Response " + String(response, 0); // формируем 1 строку
    lcd.print(lcd_string); // Печатаем 1 строку

    lcd.setCursor(0, 2); // Устанавливаем курсор колонка 0; строка 2
    lcd.print(lcd_str_clear); // Очищаем 2 строку
    lcd.setCursor(0, 2); // Устанавливаем курсор колонка 0; строка 2
    if(shift >= 0)
        lcd_string = "Shift " + String(t_ref, 1) + " " + String(shift, 1) + " C"; // формируем 2 строку
    else
        lcd_string = "Shift " + String(t_ref, 1) + " " + String(shift, 1) + " C"; // формируем 2 строку
    lcd.print(lcd_string); // Печатаем 2 строку

    lcd.setCursor(0, 3); // Устанавливаем курсор колонка 0; строка 3
    lcd.print(lcd_str_clear); // Очищаем 3 строку
    lcd.setCursor(0, 3); // Устанавливаем курсор колонка 0; строка 3
    lcd_string = "Out = " + String(out, 2) + " V"; // формируем 3 строку
    lcd.print(lcd_string); // Печатаем 3 строку
}
```

Вывод данных
на экран

Рисунок 27. Вывод данных на экран

Итак, данный прибор считывает температуру окружающей среды (с помощью датчика температуры), с соответствующей величиной отклика и смещения. Все данные передаются на Arduino. Затем микроконтроллер преобразует всю информацию в напряжение от 0 до 3,7v. Усилитель (преобразователь напряжения) преобразует это напряжение в диапазон от -3.3v до +3.3v. Далее нагревается (при поступающем напряжении от 0v до 3,3v), охлаждается (при поступающем напряжении от -3,3v до 0v) или остается в нейтральном положении (при поступающем напряжении 0v) элемент Пельтье.

Использование результатов.

Задачи:

1. Проверить работоспособность прибора.
2. Протестировать способность прибора давать точную информацию о температуре испытываемому.

Описание эксперимента:

Подготовка.

1. Для проведения эксперимента берем 2 одинаковые чашки, в одну из которых наливаем холодную воду (опускаем в воду кусочки льда), а в другую наливаем горячую воду (подогретую с помощью чайника). Важно, чтобы визуально не было заметно, где какая вода находится: т.е. в холодной воде не должно быть видно льда, а над горячей водой не должно быть видно пара. Чашки нужно промаркировать в незаметном для испытуемого месте.
2. Для проведения эксперимента ограничиваем зону видимости для испытуемого: чашки, датчик температуры, доступ к элементу Пельтье. Но он не должен видеть индикатор, где отображается температура.

Проведение эксперимента (рисунок 28)



Рисунок 28. Проведение эксперимента

Участник эксперимента размещает палец на поверхности элемента Пельтье, опускает датчик температуры сначала в одну чашку и говорит свои ощущения по температуре нагрева элемента Пельтье (нагревается или охлаждается). Затем тоже самое – для другой чашки.

Эти ощущения сравниваются с данными на индикаторе и с маркировкой чашки.

Мы хотим узнать, насколько точно испытуемый может определить температуру.

В ходе тестирования мы привлекли 14 участников. Вот полученные данные (таблица 1):

Участники	Эксперимент №1	
	горячая вода	холодная вода
Участник 1	+	+
Участник 2	+	+
Участник 3	+	+
Участник 4	+	+
Участник 5	+	+
Участник 6	+	+
Участник 7	+	+
Участник 8	+	+
Участник 9	+	+
Участник 10	+	+
Участник 11	+	+
Участник 12	+	+
Участник 13	+	+
Участник 14	+	+

Таблица 1. Результаты эксперимента №1

В таблице 2 представлена информация о тактильных ощущениях температуры у людей [7].

Отморожение 1 степени	Ожог 1 степени
15°C - 1 час	45°C - 1 час
10°C - 30 мин	50°C - 2 мин
5°C - 15 мин	60°C - 2 сек
0°C - 5 мин	70°C - 0,5 сек

Таблица 2. Информация по тактильным ощущениям температуры

В нашем приборе мы ограничили температуру нагрева элемента Пельтье до + 45 градусов Цельсия, а температуру охлаждения – до + 15 градусов Цельсия. Таким образом, наш эксперимент был абсолютно безопасен для участников.

Итак, мы получили наши выводы:

Все участники эксперимента смогли безошибочно определить, какая вода находится в конкретной чашке. Мы можем сделать вывод, что мы получили

жизнеспособную цифровую систему для сообщения точной информации без использования тактильных ощущений наших участников. Используя только датчик температуры, можно получить представление о температуре окружающей среды. Что чрезвычайно важно в случае использования бионического протеза. **Если впоследствии разместить такой датчик (в виде тонкой пленки) на искусственном пальце бионического протеза, то мозг мгновенно и естественным образом получит информацию о температуре объекта, к которому прикасается фантомная конечность.**

Заключение.

3)Изучили, как решается проблема чувствительности бионических протезов в зависимости от температуры.

2)Создали собственную модель устройства, позволяющую определять температуру тел.

3)Опытным путём проверили работоспособность нашего устройства.

В будущем мою модель устройства можно улучшить:

- Установку можно сделать миниатюрной. Это можно реализовать, например, следующим образом: убирать экран (или сделать его маленьким), вместо микроконтроллера Arduino Uno переместить управление на микроконтроллер меньших размеров (Arduino Nano).
- Реализовать данную модель на настоящем бионическом протезе, используя плёночный датчик температуры, элемент Пельтье приложив к предплечью. Таким образом, из модели можно получить работающий прибор, который люди смогут использовать в своей жизни.

Хоть моя модель не обладает такими свойствами, но главное, что с её помощью можно понять принцип работы такого устройства.

В дальнейшем учёные собираются развивать данное направление науки, восстанавливая весь спектр ощущений здоровой руки [4].

Например, рассмотренная мной разработка швейцарских ученых MiniTouch позволит людям снова почувствовать температуру.

Также сейчас учёные пытаются повысить чувствительность бионических протезов к тактильным ощущениям.

Так, например, учёные Пермского Политеха [8] создали сенсорное покрытие. Оно позволяет отслеживать температуру, форму, размер тел, а также определять внешние воздействия. Учёные разработали специальное покрытие, которое оснащено оптоволоконными датчиками. На его поверхности расположен слой специальных ворсинок, что позволяет чувствовать предметы. Данную разработку можно использовать для улучшения качества протезов, создания человекоподобных роботов.

Хочется верить, что новые технологии позволят людям с инвалидностью снова обрести весь спектр тактильных ощущений.

Список литературы

Электронные ресурсы

1. Бионический протез (устройство и принцип действия) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://orto-invs.ru/bionic-protezy?ysclid=lr4pmbakzx782897414>
2. Односхватовый и многосхватовый бионический протез [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://motorica.org/bionicheskij-protez?ysclid=lrnfbzjoj5l861461434>
3. Разработка MiniTouch [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bashmedica.ru/protesirovanie-i-teplo.html?ysclid=lq72i4xcth893490596>

4. Бионические протезы смогут различать температуру [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://news.rambler.ru/scitech/50794692-bionicheskie-protezy-smogut-razlichat-temperaturu/?ysclid=lq72cdhmhi465758722>
5. Новая разработка позволяет людям с протезами чувствовать температуру [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://4pda.to/2023/05/20/413451/novaya-razrabotka-pozvolyaet-lyudyam-s-protezami-chuvstvovat-temperaturu/?ysclid=lq7jn2dmfq932065281>
6. Элемент Пельтье [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.asutpp.ru/chto-takoe-element-pelte-i-ego-primenenie.html?ysclid=lrnfuwr8ch183101802>
7. Тактильные ощущения человека [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.metaphysiks.ch/>
8. Датчик ученых Пермского Политеха повысит чувствительность роботов и бионических протезов с помощью «вибрисс» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://naked-science.ru/article/column/datchik-uchenyh-permskogo-politeha?ysclid=lr81vuk8db411284624>

Книга однотоменная

Баринов И.Н. Датчики – это очень просто / И.Н. Баринов, В.С. Волков: Электронная книга – 62 с.