

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

Великодная Эвелина Евгеньевна

Датчики для измерения венозного давления и пульсаций

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к дипломному проекту

Специальность 5В071600 – Приборостроение

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат технических наук



К. А. Ожикенов  
«24» мая 2020 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к дипломному проекту

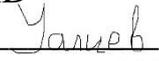
На тему: «Датчики для измерения венозного давления и пульсаций»

по специальности 5В071600 – Приборостроение

Выполнил

Великодная Эвелина

Научный руководитель  
PhD

 Уалиев Ж.Р.  
«24» мая 2020 г.

Алматы 2020



Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

5B071600 – Приборостроение

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат технических наук



К. А. Ожикенов  
«23» января 2020 г.

### ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Великодной Эвелине Евгеньевне

Тема: Датчики для измерения венозного давления и пульсаций

Утверждена приказом Ректора Университета №726-б от «27» января 2020 г.

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2020 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Arduino IDE, Proteus

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

- а) Изучение принципа работы датчиков и приборов для измерения венозного давления и пульсаций;
- б) Анализ и сравнение характеристик датчиков и приборов для измерения венозного давления и пульсаций;
- в) Оценка эффективности существующих датчиков и приборов для измерения венозного давления и пульсаций;
- г) Изучение возможности создания усовершенствованного устройства на базе датчиков Arduino.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

*представлены 16 слайдов презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: из 20 наименований 23

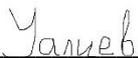
**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологическая часть	22.01 – 15.02.2020 г.	Выполнено
Программная часть	15.03 – 20.04.2020 г.	Выполнено

Подписи  
консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием  
относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Ж.С.Бигалиева, магистр технических наук, лектор	24.05.2020 г.	

Научный руководитель



Уалиев Ж.Р.

Задание принял к исполнению  
обучающийся



Великодная Э.Е.

Дата

«23» января 2020 г.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жобада веноздық қысым мен веналық импульсті өлшеу үшін қолданылатын датчиктерге егжей-тегжейлі талдау жасалды.

Жобаның негізгі мақсаты - Arduino сенсорларына негізделген веноздық қысым мен импульстарды өлшейтін сенсорлармен жабдықталған жетілдірілген модельді құру.

Жұмыстың міндеттері сенсорлар мен құрылғылардың қолданыстағы модельдерінің сипаттамалары мен жұмыс принциптерін зерттеу, олардың тиімділігін бағалау және жақсартылған құрылғыны құру болып табылады.

Теориялық бөлімде осы дипломдық жобаны түсіну үшін негізгі медициналық тұжырымдамалар туралы ақпарат беріледі, сонымен қатар веноздық қысым мен импульстарды өлшеу үшін қазіргі заманғы нарықтағы сенсорлардың сипаттамалары талданады.

Бағдарламалық жасақтама бөлігінде жаңа жетілдірілген құрылғының моделін құру, сонымен бірге алынған құрылғының сипаттамалары мен артықшылықтары сипатталған.

Бағдарламалық жасақтама бөлімінде Arduino-мен бірге жұмыс жасайтын веноздық қысым мен импульсациялық сенсорлармен жабдықталған құрылғылардың моделін құру сипатталған.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте был выполнен подробный анализ датчиков, используемых для измерения венозного давления и венозного пульса.

Основная цель проекта - создание усовершенствованной модели прибора, оснащенного датчиками для измерения венозного давления и пульсаций, на основе датчиков Arduino.

Задачами работы являются изучение характеристик и принципов работы существующих моделей датчиков и приборов, оценка их эффективности, а также создание улучшенного устройства.

В теоретической части приведены сведения об основных медицинских понятиях, необходимых для понимания данного дипломного проекта, а также выполнен анализ характеристик представленных на современном рынке датчиков для измерения венозного давления и пульсаций.

В программной части описано создание модели приборов, оснащенных датчиками венозного давления и пульсаций, которые работают совместно с платами Arduino.

## ANNOTATION

In this thesis project, a detailed analysis of the sensors used to measure venous pressure and venous pulse was performed.

The main goal of the project is to create an improved model of the device equipped with sensors for measuring venous pressure and pulsations, based on Arduino sensors.

The objectives of the work are to study the characteristics and principles of operation of existing models of sensors and devices, evaluate their effectiveness, and create an improved device.

The theoretical part contains information about the basic medical concepts necessary for understanding this thesis project, as well as an analysis of the characteristics of the sensors available on the modern market for measuring venous pressure and pulsations.

The program part describes the creation of a model of devices equipped with venous pressure and pulsation sensors, which work together with Arduino boards.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
1 Основные медицинские понятия и концепции	10
1.1 Венозное давление и его методика измерения	10
1.1.1 Центральное венозное давление	12
1.1.2 Периферическое венозное давление	12
1.2 Виды пульсаций сердца и их методика измерения	13
1.2.1 Капиллярный пульс	13
1.2.2 Артериальный пульс	14
1.2.3 Венозный пульс	15
2 Обзор существующих датчиков и приборов	18
2.1 Датчики, измеряющие венозное давление	18
2.2 Датчики, измеряющие венозные пульсации	20
2.3 Сравнение датчиков от разных производителей	24
3 Разработка и устройство нового прибора	26
3.1 Выбор комплектующих	26
3.1.1 Комплектующие прибора, измеряющего венозное давление	26
3.1.2 Комплектующие прибора, измеряющего венозные пульсации	28
3.2 Схема подключения	28
3.2.1 Схема подключения прибора, измеряющего венозное давление	29
3.2.2 Схема подключения прибора, измеряющего венозные пульсации	30
3.3 Выбор среды программирования	31
Заключение	
Список использованной литературы	
Приложение А	
Приложение Б	

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются одной из самых частых причин смертности во всем мире. Каждый год от ССЗ умирает около 17,5 миллиона человек [1]. В Казахстане статистика показывает, что сердечно-сосудистые заболевания занимают первое место среди причин смертности. Так, например, в 2017 году от данного недуга умерло 31536 человек, что составляет 24,44% всех умерших за тот год [2].

По прогнозам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), к 2030 году от ССЗ может скончаться около 23,6 миллиона человек в мире [1]. Для того чтобы избежать подобного исхода, необходимо проводить своевременную и качественную диагностику.

Диагностику можно проводить при помощи устройств, оснащенных датчиками для измерения венозного давления и венозных пульсаций. При диагностике подобными устройствами можно определить ряд серьезных сердечно-сосудистых заболеваний, таких как: хроническая сердечная недостаточность, тромбоэмболия, недостаточность трехстворчатого клапана (трикуспидальная недостаточность), желудочковая аритмия и т.д.

Целью данной работы является разработка усовершенствованной модели прибора с датчиками для измерения венозного давления и пульсаций на основе датчиков Arduino. Такое устройство будет производить эффективную диагностику заболеваний, что позволит понизить смертность от ССЗ.

Задачи работы:

- Изучить проблему с медицинской точки зрения и определить заболевания, которые сможет диагностировать устройство;
- Изучить принцип работы датчиков и приборов для измерения венозного давления и пульсаций;
- Проанализировать характеристики и эффективность уже существующих устройств для измерения венозного давления и пульсаций;
- Разработать модель усовершенствованного устройства.

Актуальность данной работы заключается в разработке новой модели устройства с улучшенными характеристиками.

## 1 Основные медицинские понятия и концепции

### 1.1 Венозное давление и его методика измерения

Кровяное давление – это давление, создаваемое в кровеносных сосудах (венах, венах, артериях, артериолах и капиллярах). Создается оно за счет того, что при сердечных сокращениях в кровеносные сосуды под давлением выбрасывается кровь, движению которой препятствует сопротивление периферических сосудов [3]. Кровяное давление необходимо для обеспечения возможности продвижения крови по сосудам и осуществления обмена веществ в организме.

Различают следующие виды кровяного давления: внутрисердечное, капиллярное, артериальное и венозное.

Чаще всего для измерений используют артериальное и венозное кровяное давление (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Сравнение артериального и венозного давлений

Вид кровяного давления	Определение	Норма	Чем в основном измеряется
Артериальное	давление крови, оказываемое на стенки сосудов (артерий)	120/80 мм рт. ст.	сфигмоманометр (тонометр)
Венозное	давление крови, циркулирующей в венах	60-100 мм вод. ст.	флеботометр

Венозное давление показывает с какой силой кровь из вен давит на сердце. При помощи данного вида давления можно определить в каком состоянии находится здоровье человека. Отклонение показателя венозного давления от нормы может свидетельствовать о наличии заболеваний сердца и легких.

Показатели венозного кровяного давления обозначаются в миллиметрах водного столба. Нормальным принято считать венозное давление в пределах от 60 до 100 миллиметров водного столба. Этот показатель может меняться при любых движениях тела человека.

На величину значения венозного кровяного давления влияют калибр вены, тонус ее стенок, объемная скорость кровотока и величина внутригрудного давления.

Повышенное венозное давление может говорить о наличии таких сердечно-сосудистых заболеваний, как: трикуспидальная недостаточность (недостаточность трехстворчатого клапана), правожелудочковая сердечная недостаточность, тромбоз нижних конечностей и другие. Пониженное венозное давление указывает, например, на острую сердечную недостаточность.

Для того чтобы узнать значение венозного давления у пациента, используется флеботонометрия.

Флеботонометрия (флеботензиометрия, венотометрия, венотензиометрия) - это измерение венозного кровяного давления с помощью флеботонометра. Существует два способа флеботонометрии: прямой и непрямой.

Прямой способ измерения осуществляется почти в любых участках сердечно-сосудистой системы при помощи флеботонометра. Флеботонометр (рисунок 1.1) состоит из тонкой стеклянной трубки с небольшим диаметром, закрепленной на штативе с миллиметровой шкалой, катетера, резиновой трубки и системы для заполнения флеботонометра.

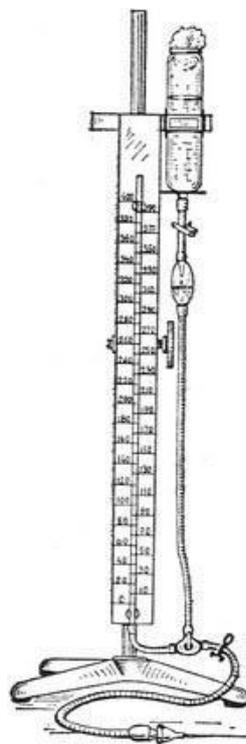


Рисунок 1.1 – Флеботонометр Вальдмана

Перед флеботонометрией стеклянные трубки заполняют стерильным изотоническим раствором хлорида натрия. Чтобы раствор не вытек, на резиновую трубку накладывают зажим. Нулевое деление шкалы устанавливается на уровне правого предсердия. Во время измерения венозного давления пациенту необходимо лежать на спине неподвижно. После в локтевую вену пациента вводят иглу и снимают зажим с трубки. В это время необходимо проверить не давит ли одежда выше локтевого сгиба, в плече, так как может образоваться венозный застой, который сможет повлиять на результат измерения. Кровь из вены начинает поступать в систему, поднимая столб изотонического раствора хлорида натрия в стеклянной трубке до уровня венозного давления [4].

У прямого способа флеботонометрии есть свои преимущества и недостатки (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Преимущества и недостатки прямого измерения венозного давления

Преимущества	Недостатки
Достаточно высокая точность измерений	Оперативное вмешательство
Возможно проводить одновременно измерение давления и отбор проб крови	Высокая степень дезинфекции, из-за чего возможно заражение пациента
Возможность ввода лекарственных препаратов	Возможны осложнения

Непрямое измерение венозного давления осуществляется неинвазивно, то есть без нарушения целостности сосудов и тканей. Измерение происходит за счет уравнивания давления внутри сосуда известным внешним давлением через его стенку и мягкие ткани тела [5].

Самые надежные показатели измерения венозного давления выдаются только прямым методом. Самые устойчивые показания дают измерения венозного давления в верхней и нижней полых венах.

Помимо флеботонометра для измерения венозного давления можно использовать датчики давления. Данный метод подробно рассмотрен в разделе 2.1.

### 1.1.1 Центральное венозное давление

В зависимости от места измерения выделяют два типа венозного давления: центральное и периферическое.

Центральное венозное давление (ЦВД) – это давление крови в верхней полый вене или правом предсердии. ЦВД, как и ПВД (периферическое венозное давление), не измеряют в миллиметрах ртутного столба, потому что оно очень низкое и обычный сфигмоманометр (тонометр) не может уловить его. Поэтому центральное венозное давление измеряется в миллиметрах водного столба (1 мм вод. ст. равен 0,07 мм рт. ст.). Норма центрального венозного давления составляет 40–120 мм вод.ст. [6].

### 1.1.2 Периферическое венозное давление

Периферическое венозное давление (ПВД) – это давление крови, которое обычно определяют в вене руки на уровне правого предсердия. При измерении ПВД пациент должен находиться в положении лежа. Норма периферического венозного давления составляет от 30 до 150 мм вод. ст..

## 1.2 Виды пульсаций сердца и их методика измерения

Пульс – ритмические колебания стенок сосудов, возникающие в результате сокращений сердца за определенный момент времени.

На пульс влияет множество факторов, среди которых выделяют:

- Возраст (у маленьких детей пульс больше, чем у взрослых);
- Рост (чем ниже человек, тем выше частота пульса и наоборот);
- Пол (у мужчин пульс ниже, чем у женщин);
- Эмоции (как негативные, так и положительные);
- Состояние здоровья (при многих заболеваниях частота пульса становится больше, а у абсолютно здоровых спортсменов пульс может быть ниже нормы);
- Физическая активность (во время движений, спорта пульс учащается).

Чтобы правильно измерить пульс, необходимо знать его виды. Различают 3 вида пульсаций: капиллярный, артериальный и венозный пульс.

### 1.2.1 Капиллярный пульс

Капиллярный пульс - это расширение мелких артериол, возникающее за счет быстрых колебаний их наполнения во время сокращения и расслабления мышц сердца. В норме капиллярного пульса нет, так как у здорового человека непрерывный кровоток в капиллярах [7]. Иногда капиллярный пульс может быть у людей после тепловых процедур, что не является патологией. Капиллярный пульс является симптомом таких болезней, как: недостаточность аортального клапана и тиреотоксикоз.

Методы выявления капиллярного пульса:

- Метод надавливания на конец ногтевого ложа (рисунок 1.2);
- Метод прижимания покровного стеклышка к нижней оболочке нижней губы;
- Метод растирания кожи лба [8].

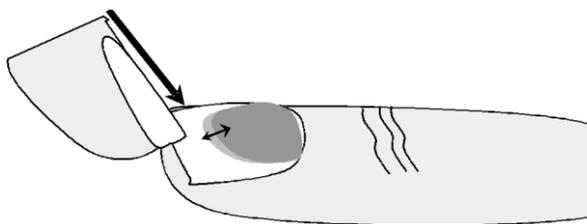


Рисунок 1.2 – Метод надавливания на конец ногтевого ложа

Во всех трех случаях у здорового человека произойдет побледнение вышеописанных участков. У больных же капиллярный пульс выявляется в виде

ритмичного покраснения во время сокращения мышц сердца и побледнения во время расслабления сердечных мышц.

### 1.2.2 Артериальный пульс

Артериальный пульс - это ритмические толчкообразные колебания стенок артерий, обусловленные выбросом крови из сердца в артериальную систему [8].

За норму артериального пульса принято считать от 60 до 80 ударов в минуту в спокойном состоянии у взрослых. Но в некоторых случаях допускаются отклонения от нормы до 10 единиц в обе стороны.

Сильное и частое отклонение от нормы может говорить о наличии заболеваний, в том числе и сердечно-сосудистых. Например, тахикардия может говорить о наличии гипертензии, ишемической болезни сердца и других болезней, а брадикардия – о наличии сердечной недостаточности, миокардите, пороках сердца и так далее.

Для определения артериального пульса в основном используются следующие методы:

– Пальпация - физический метод диагностики, проводимый путём ощупывания тела пациента. В человеческом теле есть несколько мест, в которых можно пропальпировать пульс, например, на запястье, на висках, на сонной артерии и на других участках. Во время процедуры пальпируются именно поверхностно лежащие артерии. Является самым простым способом определения артериального пульса, так как не требует наличия приборов.

– Сфигмоманометрия - метод измерения артериального давления при помощи сфигмоманометра. Сфигмоманометр (рисунок 1.3) – это тонометр для неинвазивного измерения артериального давления, который состоит из манометра, манжеты и нагнетателя воздуха с регулируемым клапаном спуска.

– Пульсоксиметрия - неинвазивный метод определения насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом и частоты пульса при помощи пульсоксиметра. Пульсоксиметр (рисунок 1.4) - прибор, измеряющий отношение двух главных форм гемоглобина в крови: насыщенного артериального гемоглобина к ненасыщенному гемоглобину.



Рисунок 1.3 - Сфигмоманометр



Рисунок 1.4 - Пульсоксиметр

### 1.2.3 Венозный пульс

Венозный (венный) пульс – это пульсация крупных вен (обычно в полых и яремных), расположенных около сердца [8]. В мелких и средних венах отсутствуют пульсовые колебания.

Различают два вида венозного пульса: отрицательный и положительный.

В норме венозный пульс противоположен пульсу, определяемому в артериях. Если наполнение артерий сопровождается опустошением и спадом вен, то венозный пульс будет считаться отрицательным. Следовательно, нормальным считается отрицательный венозный пульс.

Если наполнение артерий сопровождается наполнением вен, то венозный пульс будет считаться положительным. Положительный венозный пульс не является нормой и может свидетельствовать о таком заболевании, как, например, недостаточность трехстворчатого клапана (трикуспидальная недостаточность).

Существуют следующие методы исследования венозного пульса:

– Осмотр - визуальный неинвазивный метод диагностики наличия венозного пульса. При появлении пульсовой волны на сонных артериях яремные вены запусеваются, и наоборот. В норме пульсация вен визуально практически не определяется.

– Флебосфигмография - метод исследования венозного пульса, основанный на регистрации кривой пульса вен при помощи датчика (фотоэлектрического преобразователя или чувствительного датчика давления), наложенного на вену человека, находящегося в горизонтальном положении. При использовании датчика необходимо накладывать его так, чтобы давление на стенку вены было минимальным, так как вену очень легко сжать. Обычно датчик закрепляют на штатив и располагают над крупной веной.

Из двух методов наиболее точный метод определения венозного пульса - это метод графической записи венозного пульса, то есть флебосфигмография. В данном методе необходимо умение читать флебосфигмограммы. Флебосфигмограмма (рисунок 1.5) – это кривая записи пульсовых колебаний вен.

По флебосфигмограмме можно определить функциональное состояние правых отделов сердца.

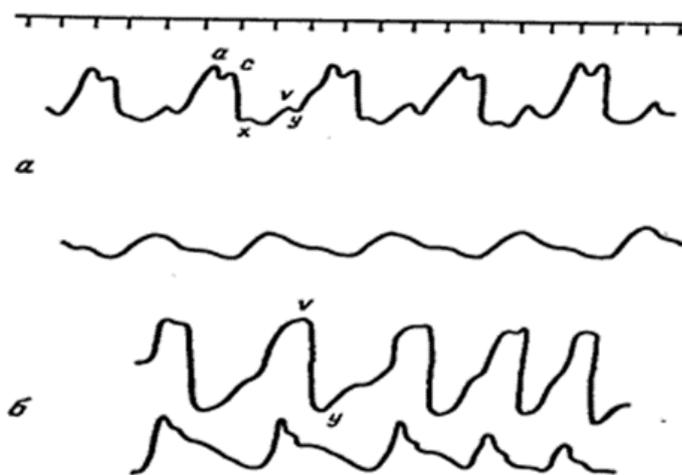


Рисунок 1.5 - Флебосфигмограмма венозного пульса: а – отрицательного, б – положительного

У здоровых людей на флебосфигмограмме должны быть следующие волны: три волны подъема (а, с, v) и две волны падения (х, у).

Волна а – волна, отражающая небольшое повышение давления в предсердиях, которое следует за их сокращением.

Волна с – волна, при которой происходит пульсовый подъем сонной артерии.

Волна v - волна, появляющаяся в конце систолы желудочков. В это время происходит задержка притока крови к яремной вене.

Волна х – волна, которая начинается с расслаблением предсердий. Она продолжается, когда правый желудочек, сокращаясь во время систолы, смещает

нижнюю часть предсердия вниз. Во время желудочковой систолы кровь продолжает поступать в правое предсердие из полых вен.

Волна у – волна, возникающая при открытии атрио-вентрикулярных клапанов. В этот момент происходит приток крови из полых вен в правое предсердие, а также спад яремных вен [9].

## 2 Обзор существующих датчиков и приборов

### 2.1 Датчики, измеряющие венозное давление

Помимо флеботонометра Вальдмана венозное давление можно также измерять при помощи:

- Водного манометра;
- Электронного (цифрового) датчика давления.

Из двух представленных вариантов интерес вызывает второй, так как он представляет собой датчик.

Электронный датчик давления – датчик, который преобразует давление жидкости или газа в электрический сигнал. В данном случае имеется ввиду преобразование значения давления крови в электрический сигнал.

Одни датчики даления от других отличаются точностью регистрации давления, пределами измерений, динамическими и частотными диапазонами. Все эти характеристики зависят от метода преобразования давления в электрический сигнал [10].

Существует несколько основных методов преобразования давления в электрический сигнал:

- Тензометрический;
- Ёмкостной;
- Пьезорезистивный;
- Пьезоэлектрический;
- Индуктивный;
- Ионизационный;
- Резонансный [10].

На данный момент многие датчики измерения кровяного давления основываются на тензометрическом методе преобразования.

Тензометрический датчик давления - это датчик давления, в котором в качестве чувствительного элемента используются металлические или полупроводниковые тензорезисторы (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 - Пример тензорезистора

Тензорезистор - резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от его деформации. Принцип действия состоит в том, что при растяжении проводящих элементов тензорезистора увеличивается их длина и

уменьшается поперечное сечение, что увеличивает сопротивление тензорезистора, а при сжатии, наоборот, уменьшает [11].

Тензодатчики помимо измерения давления могут применяться для косвенного измерения силы, веса, механических напряжений и т.д.

Конструктивно преобразователь, использующийся для преобразования давления в электрический сигнал, состоит из металлического корпуса и электронного блока, выполненного на печатной плате. На нижней панели преобразователя расположен входной штуцер для подключения измеряемого давления.

Принцип действия преобразователя (рисунок 2.2) основан на преобразовании давления в электрический сигнал тензорезистивным датчиком.

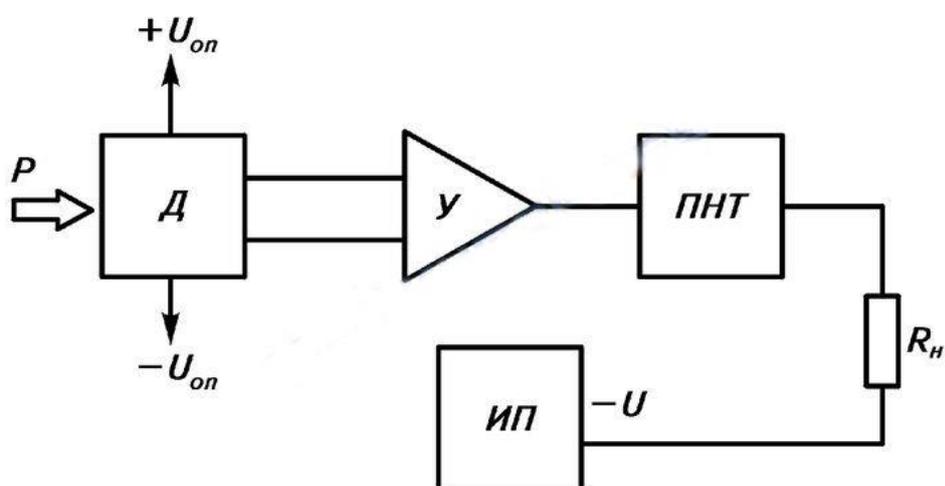


Рисунок 2.2 - Функциональная схема преобразователя

Из функциональной схемы преобразователя:  $P$  – входное давление,  $Д$  – тензорезистивный датчик,  $U_{оп}$  – опорное напряжение (положительное  $+U_{оп}$  и отрицательное  $-U_{оп}$ ),  $У$  – дифференциальный усилитель, ПНТ – преобразователь напряжение – ток,  $R_n$  – сопротивление нагрузки, ИП – источник питания.

Преобразование давления в электрический сигнал осуществляется устройством, состоящим из тензорезистивного датчика, дифференциального усилителя и преобразователя напряжение – ток.

В качестве входного сигнала используется давление, которое поступает на вход тензорезистивного датчика и в дальнейшем преобразуется в электрический сигнал в виде постоянного напряжения, которое затем усиливается дифференциальным усилителем. Преобразователь напряжение – ток осуществляет преобразование напряжения в токовый (электрический) сигнал, выделяемый на внешней нагрузке. Внешнее нагрузочное сопротивление  $R_n$  подключается к минусу источника питания. Питание датчика осуществляется от источника опорного напряжения [12].

Тензометрические преобразователи давления в электрический сигнал имеют свои плюсы и минусы (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Преимущества и недостатки тензометрического преобразователя давления в электрический сигнал

Преимущества	Недостатки
Низкая стоимость	Нестабильность градуировочной характеристики, которую невозможно устранить
Высокая степень защиты от агрессивной среды	Низкая устойчивость к ударным нагрузкам и вибрациям
Высокий предел рабочей температуры	

На сегодняшний день на рынке представлено большое количество датчиков для измерения венозного давления, например:

- Датчик CPJ840J6 от компании «Philips», который используется для измерения артериального и венозного кровяного давления;
- Одноразовый датчик AS-0013 от компании «Dana MC», использующийся для инвазивного измерения артериального и венозного давления.

Также существует ряд компаний, выпускающих приборы для измерения венозного давления, в состав которых входят тензорезистивные датчики давления. Например: «Биософт-М» выпустили многоканальный измеритель венозного и артериального давления «Ангиотон», компания «Triton» производят инвазивный измеритель ЦВД и других низких давлений «ИиНД 500/75» и др.

## 2.2 Датчики, измеряющие венозные пульсации

Венозный пульс можно измерить неинвазивно при помощи:

- Фотоэлектрических преобразователей;
- Высокочувствительных датчиков давления.

Венозный пульс, как и венозное давление, можно измерить электронными датчиками давления. Подробная информация о датчиках давления приведена в разделе 2.1.

Фотоэлектрический преобразователь (рисунок 2.3) - измерительный преобразователь на основе полупроводниковых фотоэлементов, предназначенный для преобразования оптического излучения в электрический сигнал. Фотоэлектрические преобразователи могут быть использованы для измерения различных неэлектрических величин, в том числе пульсаций. Оптический диапазон преобразователя составляет от 0.01 мкм (глубокого ультрафиолетового) до 1000 мкм (дальнего инфракрасного излучения) [13].



Рисунок 2.3 - Фотоэлектрический преобразователь

Виды фотоэлектрических преобразователей:

– Преобразователи собственного излучения исследуемых объектов, которые также называются пассивными. Такие преобразователи могут оценивать энергетические, спектральные, фазовые, поляризационные характеристики изучаемого излучения.

– Преобразователи, построенные на принципе преобразования излучения от внешнего источника, взаимодействующего с исследуемым объектом. Их также называют активными. В качестве внешних источников в активных преобразователях используются светодиоды, твердотельные и полупроводниковые лазеры [13].

В состав фотоэлектрического преобразователя входят:

– Источник излучения – специальный диод, который генерирует сигналы;

– Приемник света – фотодиод, реагирующий на определенные значения излучения. Используется для улавливания отраженных от различных поверхностей волн, сгенерированных ранее источником излучения. Данные приемники делятся в основном на фотоэлектрические и тепловые;

– Преобразователь электронного типа – преобразователь, который переводит определенные датчиком параметры световой энергии в сигналы, доступные для чтения смежной аппаратурой (электрический сигнал).

Фотоэлектрические датчики по принципу работы делятся на:

– Датчики, которые работают по принципу пересечения луча (рисунок 2.4). Излучатель и приемник в данном виде датчика расположены в двух отдельных корпусах. Два прибора, в одном из которых содержится излучатель, а в другом приемник, устанавливаются друг напротив друга. Излучатель посылает луч, который приемник принимает. Если какой-либо объект пересекает этот луч, то прибор регистрирует это и посылает соответствующий сигнал [14].

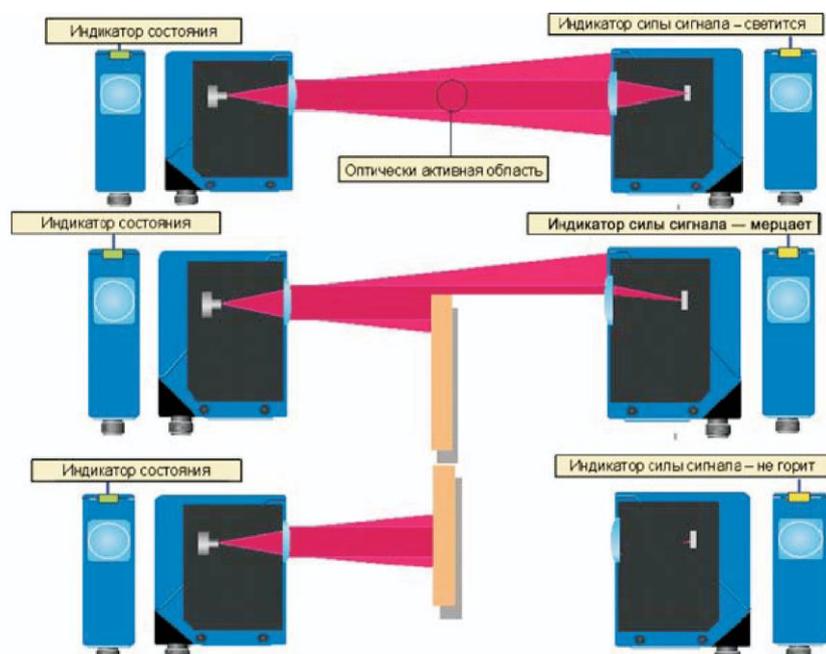


Рисунок 2.4 - Принцип работы датчика по методу пересечения луча

Данный датчик имеет свои преимущества и недостатки (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Преимущества и недостатки датчика, работающего по принципу пересечения луча

Преимущества	Недостатки
Широкий диапазон работы (до 350 метров)	Относительно большая стоимость
Способен обнаруживать маленькие объекты	Сложно настраивается
Способен обнаруживать объекты с высокой отражательной способностью	Трудности при инсталляции
Способен обнаруживать объекты в пыльных и влажных помещениях	

– Датчики с принципом отражения от рефлектора (отражателя) (рисунок 2.5). Излучатель и приемник в данном виде датчика располагаются в одном корпусе. Помимо излучателя и приемника еще используется специальный рефлектор, который устанавливается напротив прибора. Принцип работы данного вида датчика состоит в том, что устройство посылает луч, он отражается от рефлектора и воспринимается приемником. Специальный фильтр, встроенный в датчик, позволяет настроить работу датчика так, чтобы устройство воспринимало только отражение от рефлектора. Если во время работы какой-то объект препятствует излучению, то луч перестает отражаться и поступать к приемнику [14].

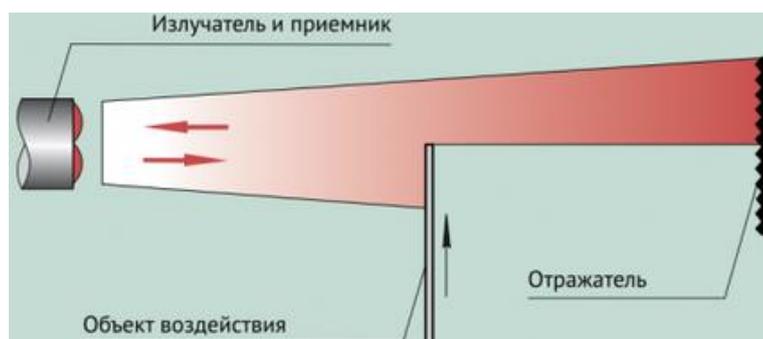


Рисунок 2.5 - Принцип работы датчика с отражением от рефлектора

Данный датчик имеет свои преимущества и недостатки (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Преимущества и недостатки датчика, работающего по принципу отражения от рефлектора

Преимущества	Недостатки
Объекты за зоной чувствительности не обнаруживаются	Довольно небольшая рабочая дистанция (до 2 метров)
Способен обнаруживать маленькие объекты с высокой точностью	Высокая стоимость
Способен выявлять небольшие изменения положения объекта	Значение точности обнаружения объекта в случае изменения заднего фона может уменьшаться
Обнаружение темных объектов на светлом фоне	Способен обнаруживать темные объекты на светлом фоне

– Датчики с отражением света от объекта. Приемник и излучатель в данном виде датчика располагается в одном корпусе. Принцип работы таков: луч отражается от объекта, попадает в приемник, и датчик посылает нужный сигнал. Рефлектор в данном случае не нужен, поскольку его роль выполняют различные объекты [14].

Данный вид датчика имеет свои преимущества и недостатки (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Преимущества и недостатки датчика, работающего по принципу отражения от объекта

Преимущества	Недостатки
Невысокая стоимость	Имеет проблемы с определением черных объектов на светлом фоне
Нет необходимости в рефлекторе	Отсутствие подавления переднего и заднего фона
Способен точно определять светлые объекты на черном фоне	

Из всех видов фотоэлектрических датчиков для измерения венозных пульсаций подходит вариант датчика с отражением света от объекта.

### 2.3 Сравнение датчиков от разных производителей

Для создания собственного устройства необходимо оценить характеристики и эффективность существующих датчиков.

На данный момент не существует датчика, позволяющего одновременно измерить венозное давление и пульсации. Поэтому необходимо рассматривать датчики для измерения венозного давления и датчики для измерения венозного пульса отдельно.

В качестве датчиков для измерения венозного давления взяты датчики: BLPR2 (рисунок 2.6.а) [15] от компании WPI, P75 (рисунок 2.6.б) [16] от Hugo Sachs и AS-0013 (рисунок 2.6.в) [17] от Dana MC. Для того, чтобы выявить датчик с самыми лучшими характеристиками, необходимо провести сравнение вышеперечисленных датчиков (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Сравнение характеристик электронных датчиков давления

Устройство	Диапазон давления	Чувствительность	Рабочая температура	Разовость
BLPR2 (WPI)	От -50 до +300 мм.рт.ст.	5 мкВ/В/мм.рт.ст.	От +15 до +40°C	Одноразовый
P75 (Hugo Sachs)	От -75 до +75 мм.рт.ст.	1 мВ/В/мм.рт.ст.	От 0 до +50°C	Многоразовый
AS-0013 (Dana MC)	От -30 до +300 мм.рт.ст.	5 мкВ/В/мм.рт.ст.	От +15 до +40°C	Одноразовый

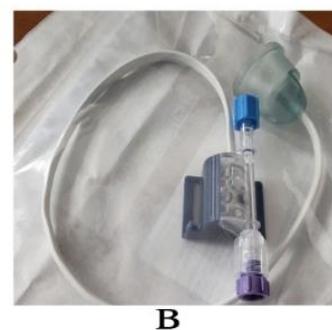


Рисунок 2.6 – Датчики венозного давления: а – BLPR2, б – P75, в – AS-0013

Несмотря на то, что датчик P75 многоразовый, он имеет не лучшую спецификацию. Из рассмотренных датчиков лучше всех по характеристикам VLPR2: у него наибольший диапазон давления, его чувствительность лучше, чем у P75, так как чем меньше значение, тем лучше чувствительность. Однако все вышепредставленные датчики имеют высокую цену, поэтому для модели собственного прибора будет использоваться датчик, подключаемый к плате Arduino Uno.

В качестве датчиков для измерения венозного пульса взяты датчики: Pulse sensor (рисунок 2.7.а) [18] и MAX30102 (рисунок 2.7.б) [19] от Arduino. Для того, чтобы выявить датчик с самыми лучшими характеристиками, необходимо провести сравнение вышеперечисленных датчиков (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Сравнение характеристик датчиков пульса

Устройство	Длина волны	Рабочая температура	Потребляемый ток	Цена
Pulse sensor (Arduino)	565 нм	От -40 до +85 °С	4-5 мА	Около 2100 тг
MAX30102 (Arduino)	660-880 нм	От -25 до +65 °С	1,2 мА	Около 3800 тг

Самой главной характеристикой датчика при измерении венозного пульса является длина волны. Для измерения венозного пульса важна та область, поглощение в которой максимально. Такой областью является диапазон 500-600 нм. Обычно выбирается длина равная 525 нм (зелёный цвет). Кровь имеет красный цвет, то есть она отражает красный свет, а зеленый - поглощает. Исходя из этого выбирается зеленый цвет волны.

Поэтому наиболее лучшим вариантом для измерения венозных пульсации является датчик Pulse sensor, так как он имеет длину волны равную 565 нм. Также он имеет и другие плюсы: более обширный диапазон рабочей температуры и менее дорогая цена.



Рисунок 2.7 - Датчики венозного пульса: а - Pulse sensor, б - MAX30102

### 3 Разработка и устройство нового прибора

#### 3.1 Выбор комплектующих

Как было сказано ранее, датчика, позволяющего измерять и венозное давление, и венозные пульсации, еще нет. Далее будут рассмотрены два отдельных прибора.

##### 3.1.1 Комплектующие прибора, измеряющего венозное давление

Для устройства, которое сможет измерять венозное давление, необходимы:

- Датчик давления SPD005G;
- Операционный усилитель LM324;
- Arduino Uno и USB кабель;
- Жидкокристаллический индикатор (ЖКИ);
- Провода;
- Компьютер с установленным на нем Arduino IDE;
- Центральный венозный катетер и жесткостенная короткая трубка;
- Трехходовый запорный кран и зажим;
- Пластмассовый корпус, куда будут помещены датчик давления, плата и операционный усилитель.

Датчик давления SPD005G (рисунок 3.1) выпущен компанией Smartec. Датчик функционирует в двух режимах: абсолютных и относительных измерений. В режиме абсолютных измерений давление определяется относительно вакуума, в режиме относительных измерений – относительно классической постоянной атмосферного давления. Часто данный датчик используют в медицинских приборах, кондиционерах и других приборах.

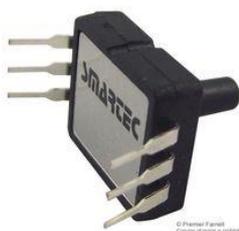


Рисунок 6.1 - Датчик давления SPD005G

Характеристики датчика давления SPD005G [20]:

- Выход: аналоговый;
- Питание: 5-10 В;
- Выходное напряжение: 60 мВ;
- Потребляемый ток: 1,5-3 мА;
- Рабочая температура: от -20 до +85 °С;
- Диапазон измерения давления: 0-35 кПа (0-3569 мм.вод.ст.).

Операционный усилитель LM324 (рисунок 3.2) - это операционный усилитель, который имеет прямой дифференциальный вход. Он состоит из четырех операционных усилителей, которые обладают высоким коэффициентом усиления и работают от одного источника питания.

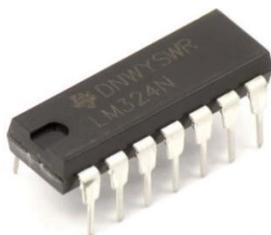


Рисунок 3.2 - Операционный усилитель LM324

Характеристики операционного усилителя LM324 [21]:

- Питание: 3-30 В;
- Возможность работы при однополярном и при двуполярном питании;
- Коэффициент усиления по напряжению: 100 дБ;
- Частотный диапазон: 1,3 МГц;
- Потребляемый ток: 375 мкА.

Arduino Uno (рисунок 3.3) – плата, построенная на базе микроконтроллера ATmega328.



Рисунок 3.3 - Микроконтроллер Arduino Uno

Характеристики контроллера Arduino Uno [22]:

- Микроконтроллер: ATmega328;
- Рабочее напряжение: 5 В;
- Питание: 7-12 В;
- Входы и выходы: 14 цифровых (6 из них могут использоваться в качестве ШИМ-выходов) и 6 аналоговых;
- Максимальный ток одного порта: 40 мА;
- Flash-память: 32 Кб, из которых 0,5 Кб используются загрузчиком;

- SRAM: 2 Кб;
- EEPROM: 1 Кб;
- Тактовая частота: 16 МГц.

### 3.1.2 Комплектующие прибора, измеряющего венозные пульсации

Для устройства, измеряющего венозные пульсации, необходимы:

- Датчик пульса Pulse sensor;
- Arduino Uno и USB кабель;
- Жидкокристаллический индикатор (ЖКИ);
- Кнопка;
- Компьютер с установленным на нем Arduino IDE;
- Штатив и провода.

Датчик Pulse sensor (рисунок 3.4) – это датчик пульса, который содержит источник светового излучения зеленого цвета и фотоприемник.



Рисунок 3.4 - Датчик пульса Pulse sensor

Характеристики датчика пульса Pulse sensor:

- Напряжение питания: 3-5 В;
- Потребляемый ток: 4-5 мА;
- Длина волны: 565 нм;
- Рабочая температура: от -40 до +85 °С.

Датчик пульса имеет три вывода: VCC (питание), GND (земля) и S - аналоговый выходной порт.

### 3.2 Схема подключения

Схемы подключения будущих устройств можно спроектировать в программе Proteus.

Proteus Design Suite – это пакет программ для проектирования электронных схем. Он состоит из двух подпрограмм:

- ISIS - программа, позволяющая создавать, синтезировать, проектировать, моделировать схемы с последующей имитацией их работы;
- ARES - программа, предназначенная для разработки печатных плат. В программу встроен редактор библиотек. ARES также может создавать трехмерную модель печатной платы [23].

### 3.2.1 Схема подключения прибора, измеряющего венозное давление

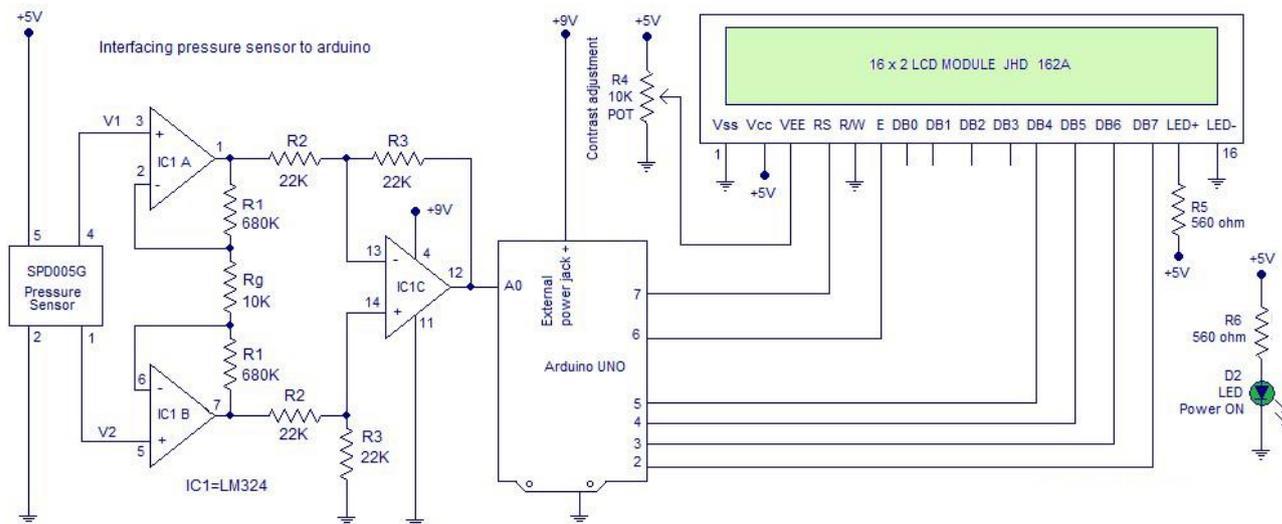


Рисунок 3.5 - Схема подключения датчика давления SPD005G, ЖКИ и Arduino Uno

Датчик давления SPD005G содержит четыре чувствительных элемента, которые расположены как мост Уитстона (рисунок 3.6).

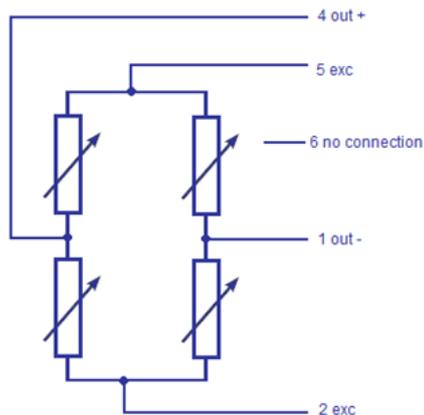


Рисунок 3.6 – Принципиальная схема датчика давления SPD005G

На схеме подключения (рисунок 3.5) для подключения датчика давления к плате используется операционный усилитель LM324, который усиливает дифференциальное напряжение между выходными портами 4 и 1 датчика давления.

IC1A и IC1B служат входным буфером высокого импеданса усилителя, а IC1C устанавливает коэффициент усиления измерительного оборудования. Выход усилителя подключен к аналоговому входному порту A0 на Arduino Uno.

Arduino оцифровывает входное напряжение, преобразует его в милливольты и отображает его на ЖК-дисплее.

Код программы для данной схемы представлен в Приложении А.

### 3.2.2 Схема подключения прибора, измеряющего венозные пульсации

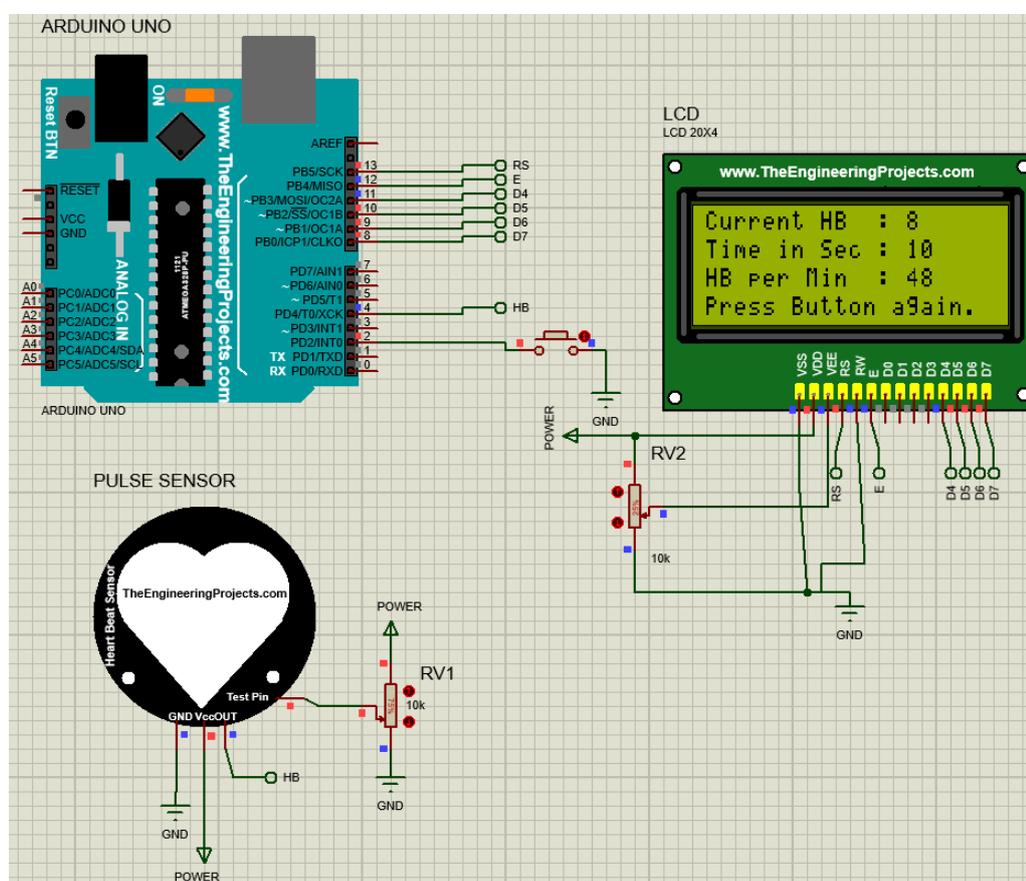


Рисунок 3.7 - Схема подключения датчика пульса Pulse sensor, Arduino Uno и ЖКИ, выполненная в программе Proteus

На данной схеме (рисунок 3.7) подсоединены датчик пульса Pulse sensor, микроконтроллер Arduino Uno и ЖКИ размером 20\*4. На схеме они соединены элементом «Default», чтобы не возникало путаницы в проводах. К микроконтроллеру также на 2 выводе подсоединена кнопка, нажав которую датчик начинает считывать значение пульсаций. К датчику пульса и к ЖКИ подключены потенциометры для регулировки параметров.

В данной схеме после нажатия кнопки датчик пульса в течение 10 секунд считывает значение пульса. После окончания данное значение умножается на 6 и на ЖКИ в третьей строке выходит информация о пульсе человека.

Код программы для данной схемы представлен в Приложении Б.

### 3.3 Выбор среды программирования

Так как в данной работе используется плата Arduino Uno, то в качестве среды программирования проще всего использовать Arduino IDE.

Arduino IDE (рисунок 3.8) - программное обеспечение, позволяющее писать программы для платформы Arduino. Язык программирования плат Arduino базируется на языке C++. Код, написанный в Arduino IDE, можно использовать в программе Proteus. Для этого необходимо сохранить файл с расширением «hex».

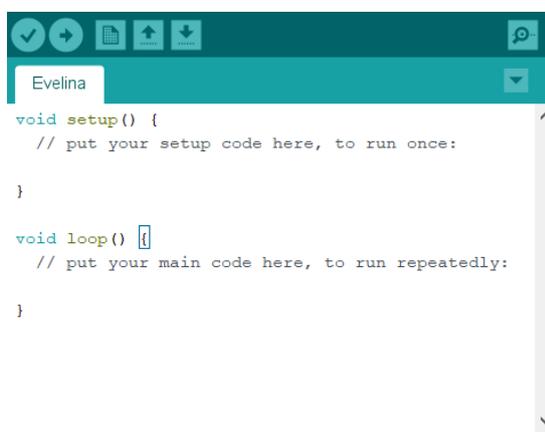


Рисунок 3.8 - Интерфейс Arduino IDE

Программное обеспечение Arduino IDE имеет как преимущества, так и недостатки (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Преимущества и недостатки программного обеспечения Arduino IDE

Преимущества	Недостатки
Совместимость со всеми версиями ОС Windows	ПО не работает со сложными системами
Простой и понятный язык программирования	Работа некоторых версий характеризуется нестабильностью
Встроенные примеры готовых программ	
Возможность сохранения, экспорта, проверки, поиска программ	

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было проведено исследование существующих датчиков и устройств, позволяющих измерять венозное давление и венозные пульсации.

Согласно поставленной цели работы были разработаны прототипы устройств для измерения венозного давления и для измерения венозного пульса, на основе датчиков, совместимых с микроконтроллером Arduino Uno.

В ходе работы были решены поставленные задачи:

- Изучены медицинские понятия, необходимые для понимания данного проекта;
- Изучен принцип работы датчиков и устройств для измерения венозного давления и пульсаций, таких как: электронный датчик давления и фотоэлектрический преобразователь;
- Произведено сравнение, а также анализ характеристик датчиков, представленных на современном рынке;
- Спроектирована схема подключения устройства для измерения венозного давления на основе датчика давления SPD005G, операционного усилителя LM324, ЖКИ и микроконтроллера Arduino Uno;
- Спроектирована схема подключения устройства для измерения венозных пульсаций на основе датчика пульса Pulse sensor, ЖКИ и микроконтроллера Arduino Uno.

Полученные модели устройств могут быть доработаны для дальнейшего использования в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сердечно-сосудистые заболевания // Всемирная организация здравоохранения // Электронная версия на сайте [https://www.who.int/cardiovascular\\_diseases/ru/](https://www.who.int/cardiovascular_diseases/ru/)
- 2 Мусапирова А. От чего умирают казахстанцы? // Электронная версия на сайте <https://kursiv.kz/news/tendencii-i-issledovaniya/2018-11/ot-chego-umirayut-kazakhstancy>
- 3 Дивиченко И.В., Рыбка А.О. Физиология человека: Учебное пособие. – Белгород: БГТУ, 2008. – С. 111.
- 4 Измерение венозного давления // Электронная версия на сайте <https://medlec.org/lek-440.html>
- 5 Макарова М.С. Исследование механических проявлений жизнедеятельности // Электронная версия на сайте <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/5556>
- 6 Агаджанян Н.А. Основы физиологии человека: Учебник для студентов вузов, обучающихся по медицинским и биологическим специальностям. – М.: РУДН, 2001 – С. 186.
- 7 Большев А.С., Сидоров Д.Г., Овчинников С.А. Частота сердечных сокращений. Физиолого-педагогические аспекты: Учебное пособие. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2017. – С. 10.
- 8 Пульс // Электронная версия на сайте <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пульс>
- 9 Мелентьев А.С. Методы обследования и диагностика патологии периферических сосудов в пропедевтической клинике: Учебно-методическое пособие. – М.: РНИМУ им. Н.И.Пирогова, 2014. – С. 46.
- 10 Методы преобразования давления // Электронная версия на сайте [http://kazus.ru/nuke/users\\_files/02082008/736002.pdf](http://kazus.ru/nuke/users_files/02082008/736002.pdf)
- 11 Кратко о тензорезисторах // Юнивес // Электронная версия на сайте [https://unives.ru/stati/article\\_post/kratko-o-tenzorezistorakh](https://unives.ru/stati/article_post/kratko-o-tenzorezistorakh)
- 12 Преобразователь пневмоэлектрический аналоговый ПЭ-1 // Электронная версия на сайте <https://electro.mashinform.ru/bloki-i-ehlementy-funkcionalnye-priborov-reguliruyushchih/preobrazovatel-pnevmojelektricheskij-analogovuj-pje-1-obj2606.html>
- 13 Бейлина Р.А., Гросберг Ю.Г., Довгяло Д.А. Микроэлектронные датчики: Учебное пособие. – Новополюк: ПГУ, 2001. – С. 41-42.
- 14 Смирнов Б. Фотоэлектрические датчики // Электронная версия на сайте <http://www.promreg.ru/articles/fotoelektricheskie-datchiki/>
- 15 Blood Pressure Transducer & Cable BLPR2 // World Precision Instruments (WPI) // Электронная версия на сайте <https://www.wpiinc.com/blpr2-blood-pressure-transducer-cable>
- 16 Venous Pressure Transducers P75 // Harvard Apparatus // Электронная версия на сайте <https://www.harvardapparatus.com/venous-pressure-transducers-p75.html#collapseThree>

17 Одноразовый датчик давления AS-0013 // Dana Medical Systems // Электронная версия на сайте <https://dana-mc.com.ua/p884780624-odnorazovuj-datchik-davleniya.html>

18 Датчик сердечного ритма Pulse Sensor // Электронная версия на сайте <https://arduino.ua/prod1513-datchik-serdechnogo-ritma-pulsesensor>

19 Датчик пульса MAX30102 // Электронная версия на сайте <https://arduino.ua/prod2036-datchik-pylsa-max30102>

20 Smartec Pressure Sensor (datasheet) // Электронная версия на сайте <http://www.farnell.com/datasheets/2039559.pdf>

21 LM324 — Четырехканальный операционный усилитель // Электронная версия на сайте <https://rudatasheet.ru/datasheets/lm324/>

22 Arduino Uno (datasheet) // Электронная версия на сайте <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>

23 Proteus VSM // Электронная версия на сайте <https://cxem.net/software/proteus.php>

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
#include <LiquidCrystal.h>
int sensor=A0;
int dig_out;
float millivolt;
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
void setup() {
  pinMode(sensor,INPUT);
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop() {
  dig_out=analogRead(sensor);
  millivolt=(dig_out*4.882);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Pressure Sensor");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(millivolt);
  lcd.setCursor(9,1);
  lcd.print("mV");
  delay(300);
  lcd.clear();
}
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <TimerOne.h>
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);
int HBSensor = 4;
int HBCount = 0;
int HBCheck = 0;
int TimeinSec = 0;
int HBperMin = 0;
int HBStart = 2;
int HBStartCheck = 0;

void setup() {
  lcd.begin(20, 4);
  pinMode(HBSensor, INPUT);
  pinMode(HBStart, INPUT_PULLUP);
  Timer1.initialize(800000);
  Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Current HB : ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Time in Sec : ");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("HB per Min : 0.0");
}

void loop() {
  if(digitalRead(HBStart) == LOW) {
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("HB Counting ..");
    HBStartCheck = 1;
  }
  if(HBStartCheck == 1) {
    if((digitalRead(HBSensor) == HIGH) && (HBCheck == 0)) {
      HBCount = HBCount + 1;
      HBCheck = 1;
      lcd.setCursor(14,0);
      lcd.print(HBCount);
      lcd.print(" ");
    }
    if((digitalRead(HBSensor) == LOW) && (HBCheck == 1)) {
      HBCheck = 0;
    }
  }
}
```

## ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

```
}  
if(TimeinSec == 10) {  
HBperMin = HBCount * 6;  
HBStartCheck = 0;  
lcd.setCursor(14,2);  
lcd.print(HBperMin);  
lcd.print(" ");  
lcd.setCursor(0,3);  
lcd.print("Press Button again.");  
HBCount = 0;  
TimeinSec = 0;  
}  
}  
}
```

```
void timerIsr() {  
if(HBStartCheck == 1) {  
TimeinSec = TimeinSec + 1;  
lcd.setCursor(14,1);  
lcd.print(TimeinSec);  
lcd.print(" ");  
}  
}
```