

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

А.И. Солдатов

Изучение доплеровского датчика скорости передвижения

Методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Сенсорные системы роботов» для студентов направлений 09.03.01 Информатика и вычислительная техника.

Томск 2023

УДК 372.862

ББК 30

С 60

Рецензент:

**Костина М.А.**, доцент каф. управления инновациями ТУСУР,  
канд. техн. наук

**Солдатов, Алексей Иванович**

С 60 Изучение доплеровского датчика скорости передвижения:  
метод. указания по выполнению студентами лабораторных работ/ А.И.  
Солдатов. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники,  
2023. – 29 с.

Методические указания по выполнению студентами лабораторной  
работы «Изучение доплеровского датчика скорости передвижения е»  
разработаны для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению  
подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника.

Одобрено на заседании научно-методической комиссии ФИТ, протокол  
№ 5 от 28.12.2022 г.

УДК 372.862

ББК 30

© Солдатов А.И., 2023

© Томск.гос. ун-т систем упр. и  
радиоэлектроники, 2023

## Оглавление

Цель .....	4
Задачи .....	4
Краткие теоретические сведения.....	4
Описание лабораторного стенда .....	17
Задание .....	26
Отчет.....	26
Контрольные вопросы .....	26
Расчет погрешности .....	27

## **Лабораторная работа.**

### **Изучение доплеровского датчика скорости передвижения**

#### **Цель**

Изучение принципов работы датчиков скорости передвижения.

#### **Задачи**

Изучить способы получения информации о скорости передвижения робота. Изучить принцип работы доплеровского измерителя скорости. Познакомиться с конструкцией датчика. Изучить характеристику доплеровского преобразователя. Изучить чувствительность и разрешающую способность доплеровского преобразователя. Изучить погрешность доплеровского преобразователя.

#### **Краткие теоретические сведения**

Скорость — это мера изменения позиции объекта за единицу времени. Она показывает, насколько быстро движется объект, например, транспортное средство, человек или робот, и выражается в единицах расстояния (например, километры) в единицу времени (например, часы). Измерение скорости может иметь значение как в физических науках, так и в повседневной жизни, например, для оценки времени, которое займет путешествие из одной точки в другую. Скорость также может быть относительной, то есть изменяться в зависимости от того, как движется объект относительно другого объекта или системы отсчета.

Скорость движения ( $V$ ) можно рассчитать по формуле:

$$V = S / t, \quad (1)$$

где  $S$  – пройденное расстояние,  $t$  – время движения.

Также, скорость можно рассчитать по формуле:

$$V = (X_2 - X_1) / (t_2 - t_1), \quad (2)$$

где  $X_2$  и  $X_1$  - координаты объекта в начальный и конечный момент времени,  $t_2$  и  $t_1$  - соответствующие времена. Эта формула применяется при движении в пространстве.

Существует несколько способов получения информации о скорости передвижения робота:

### 1. Использование энкодеров.

Энкодеры — это устройства, которые используются для измерения скорости и перемещения. Они обычно устанавливаются на двигателях или колесах, чтобы определить, насколько далеко или быстро смещается объект. Конструкция и внешний вид энкодера показан на рисунке 1.

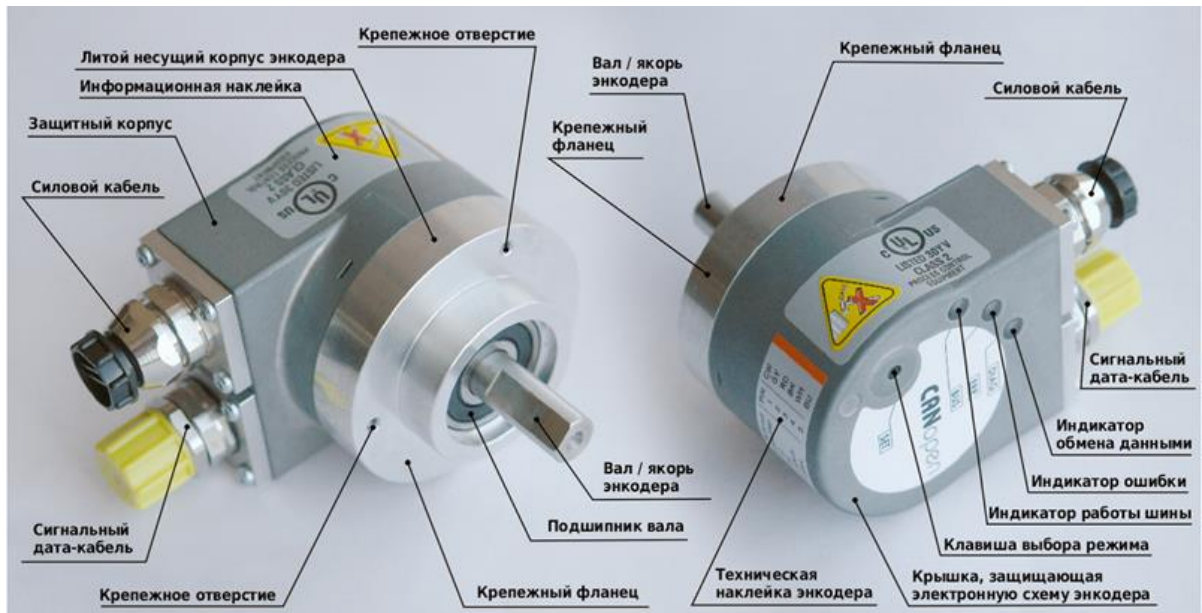


Рисунок 1 – Конструкция и внешний вид энкодера

Использование энкодеров для определения скорости робота является распространенным и эффективным способом. Для определения скорости робота с помощью энкодеров, эти устройства устанавливаются на двигателях или напрямую на колесах робота. Они работают по принципу измерения количества оборотов оси или колеса, а затем преобразуют эти данные в скорость перемещения. Количество импульсов или оборотов, считанных энкодером, может быть связано с расстоянием, которое пройдет робот за

определенное время. Зная количество импульсов или оборотов и соответствующее расстояние, можно рассчитать скорость робота на основе изменения перемещения во времени. Частота считывания энкодера, то есть количество импульсов или оборотов за единицу времени, также важна для точного определения скорости робота. Чем выше частота считывания, тем более точные данные можно получить о скорости и перемещении робота.

Скорость движения ( $V$ ) можно рассчитать по формуле 3:

$$V = \omega * R, \quad (3)$$

где  $\omega$  — угловая скорость колеса,  $R$  — радиус колеса ( $R = 0,5D$ , где  $D$  — диаметр колеса).

Угловая скорость определяется по формуле 4:

$$\omega = 2\pi\nu, \quad (4)$$

где  $\nu$  — частота вращения колеса (согласно условию  $\nu = 10$  об/с),

Использование энкодеров позволяет роботу получать реальное время обратной связи о своей скорости, что полезно, например, для управления движущимися объектами, планирования пути или регулирования скорости в зависимости от требований задачи или окружающей среды. В целом, энкодеры предоставляют важные данные о скорости робота и позволяют ему управлять движением и адаптироваться к изменениям в окружающей среде. Использование энкодеров в робототехнике является одним из ключевых компонентов, обеспечивающих точное и надежное определение скорости и перемещения робота.

## 2. Использование акселерометров.

Акселерометры могут использоваться для определения линейной скорости робота, особенно в случае, когда робот движется с постоянной скоростью или с небольшими изменениями скорости.

Ускорение вычисляется по формуле 5:

$$a(t) = \frac{dV(t)}{dt}, \quad (5)$$

где  $a$  — ускорение.

Для определения скорости с помощью акселерометров необходимо проинтегрировать измерения ускорения по времени:

$$V(t) = \int a(t)dt + V_0, \quad (6)$$

где  $V_0$  – начальная скорость.

Интегрирование ускорения позволяет получить оценку изменения скорости робота. Например, проинтегрировав измерения ускорения, можно получить показатели изменения расстояния или смещения относительно начальной точки. Однако интегрирование ускорения подвержено ошибкам и шуму, которые могут накапливаться со временем и приводить к неточным результатам. Чтобы снизить ошибки, можно использовать различные методы, такие как фильтрация данных (например, низкочастотные фильтры или фильтры Калмана) и компенсация гравитационного воздействия. Комбинированное использование акселерометров с другими сенсорами, такими как гироскопы или магнитометры, также может помочь улучшить оценку скорости робота. Например, совместное использование акселерометра и гироскопа позволяет компенсировать ошибки дрейфа гироскопа с помощью данных акселерометра. Важно отметить, что компенсация ошибок и улучшение точности в оценке скорости с использованием акселерометров – сложная задача, особенно в ситуациях с непостоянной или быстро меняющейся скоростью. В некоторых случаях, дополнительные сенсоры и алгоритмы могут быть необходимы для получения более точных результатов. В целом, использование акселерометров для определения линейной скорости робота возможно, но требует тщательной обработки данных и комбинированного подхода с другими сенсорами для достижения более точных и надежных результатов.

### 3. Использование эхолокации для определения скорости робота.

Эхолокация — это метод, которым некоторые животные, такие как летучие мыши и дельфины, определяют расстояние до объектов в окружающей среде путем излучения ультразвукового сигнала и прослушивания его эха.

Аналогичный принцип может быть использован в робототехнике для измерения скорости робота. Робот может быть оснащен ультразвуковым датчиком, который излучает короткие сигналы ультразвука и затем прослушивает эхо, отраженное от препятствия или поверхности (рисунок 2).

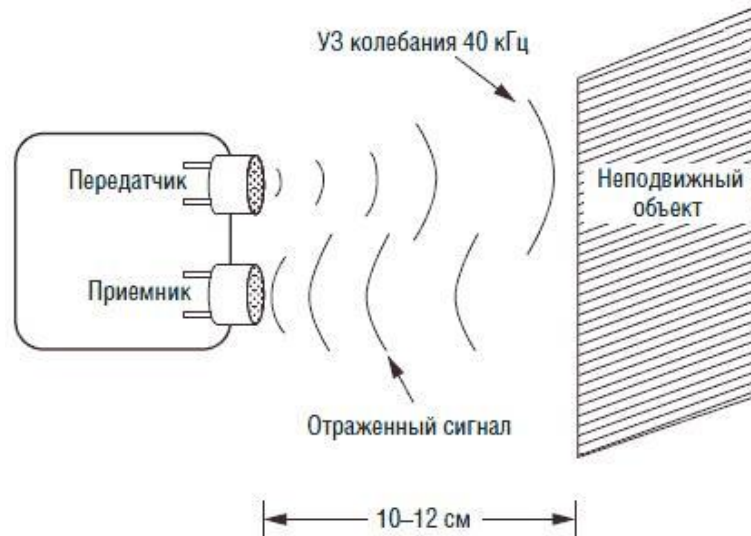


Рисунок 2 – Принцип работы ультразвукового датчика

Если робот движется со скоростью ( $V$ ), то время, затраченное на прохождение расстояния ( $L$ ), можно выразить следующим образом:

$$t = 2L / (c + V), \quad (7)$$

где  $c$  – скорость звука в воздухе.

Значение скорости  $V$  можно вычислить из выражения (7), если у нас есть измеренные значения времени  $t$  и расстояния  $L$ :

$$V = (2L / t) + c, \quad (8)$$

Однако, есть ограничения на использование ультразвуковой системы для измерения скорости робота. Во-первых, малейшие изменения в погодных условиях могут серьезно повлиять на скорость звука, что может привести к неточным результатам. Кроме того, обратный отраженный звук может иметь задержки из-за эха, которые также могут привести к неточностям. Хотя использование ультразвука для определения скорости робота возможно, необходимо проводить дополнительные измерения, чтобы учесть влияние



других факторов на измерения и убедиться, что полученные данные точны.

#### 4. Использование видеокамер и компьютерного зрения.

Видеокамеры могут использоваться для отслеживания перемещения робота путем анализа пикселей или маркеров в видеопотоке. Компьютерное зрение может вычислить скорость движения, основываясь на изменениях в положении объектов на изображении. Использование видеокамер и компьютерного зрения для определения скорости робота является одним из популярных методов в робототехнике. Этот подход основан на анализе последовательности изображений с помощью компьютерного зрения для определения изменения положения объектов и, следовательно, скорости движения робота. Для определения скорости робота с помощью видеокамер и компьютерного зрения могут использоваться различные техники и алгоритмы. Например, поиск и отслеживание определенных признаков или объектов на последовательных изображениях (например, маркеров, текстур, контуров) может помочь в определении перемещения объекта и, следовательно, скорости робота. Одним из распространенных методов является определение оптического потока. Оптический поток — это измерение вектора скорости движения точек на изображении (рисунок 3).

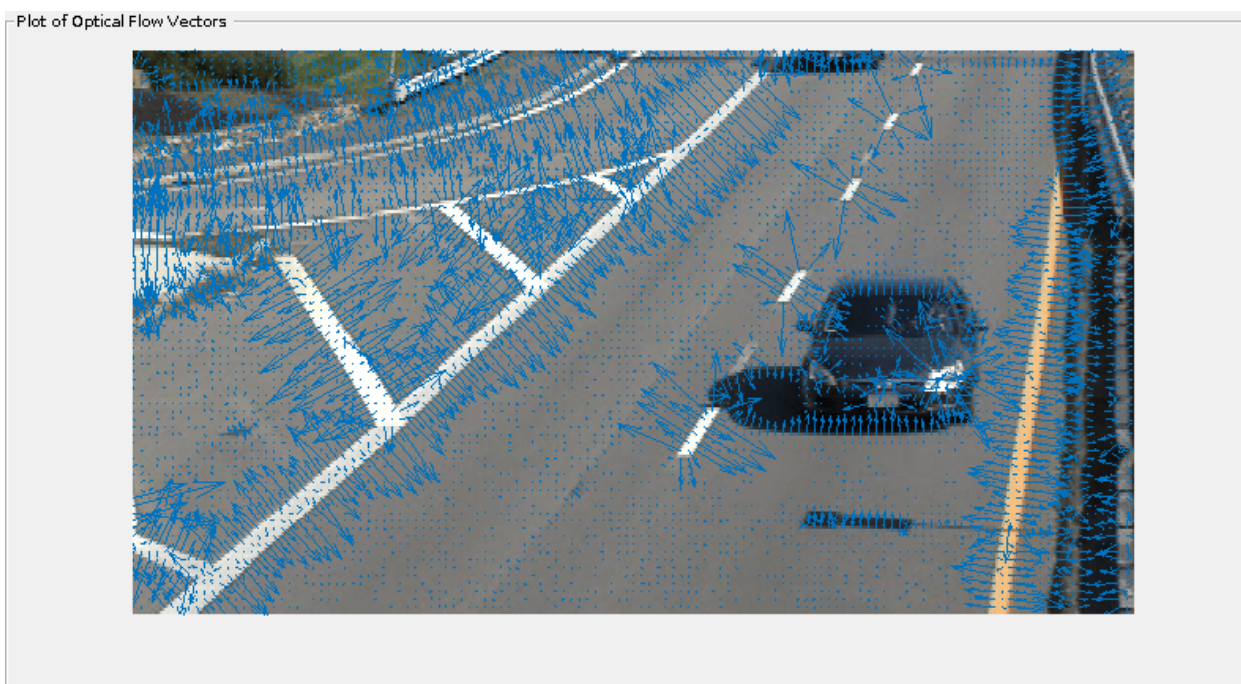


Рисунок 3 –Распознавание объекта с помощью оптического потока

Он основан на наблюдении изменений яркости точек между последовательными кадрами видео. Поиск и анализ оптического потока позволяет получить оценку локальной скорости движения объектов на изображении. Кроме того, использование трехмерной реконструкции и стереозрения может быть полезным для определения скорости робота. Этот подход основан на использовании двух или более видеокамер, чтобы получить глубинную информацию о сцене и перемещении объектов в пространстве. Анализ и сопоставление трехмерных данных позволяет определить перемещение объектов и скорость робота. Важно отметить, что использование видеокамер и компьютерного зрения для определения скорости робота требует вычислительных ресурсов и алгоритмической обработки данных. Задачи, такие как фильтрация шума, обнаружение и отслеживание объектов, а также оценка скорости, могут быть сложными и требуют надежного и эффективного программного обеспечения. В целом, использование видеокамер и компьютерного зрения для определения скорости робота предлагает многообещающие возможности в робототехнике. Этот подход может применяться в различных областях, например, в автономных автомобилях, роботах-ассистентах, системах навигации и других приложениях, где требуется точное и надежное определение скорости движения робота.

## 5. Использование GPS.

Глобальная система позиционирования (GPS) может быть использована для определения скорости передвижения робота на открытых пространствах, где доступен сигнал GPS. GPS основан на приеме сигналов от спутников и использует триангуляцию для определения местоположения объекта. Однако, сам GPS не предоставляет непосредственно информацию о скорости, поскольку сигналы GPS используются для определения только местоположения. Оценка скорости с использованием GPS может осуществляться путем измерения изменения координаты местоположения со

временем. Последовательные измерения местоположения с небольшим интервалом времени могут использоваться для определения пройденного расстояния, а затем для расчета скорости перемещения (рисунок 4).

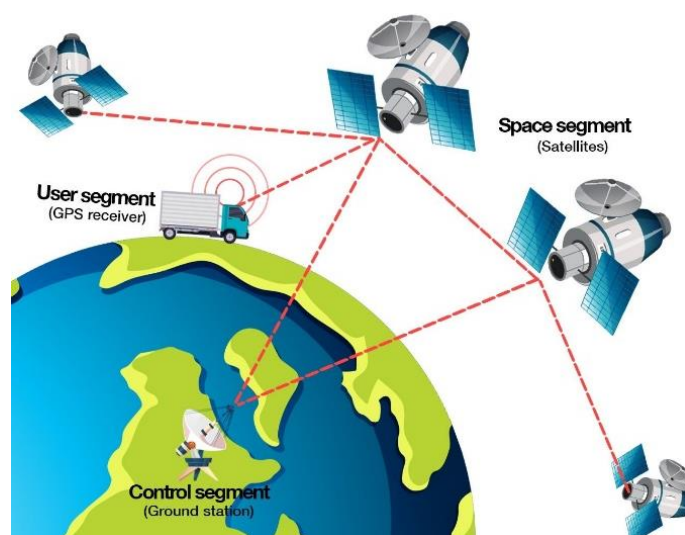


Рисунок 4 – Использование GPS для мониторинга скорости передвижения объекта

Однако оценка скорости на основе GPS может быть затруднительной, поскольку GPS имеет свои ограничения и могут возникать ошибки. Некоторые из этих ограничений включают погрешности в измерении времени при получении сигналов от спутников GPS, многолучевое затухание сигналов, ограничения точности и чувствительности внешней среды (например, в зонах с плохой видимостью спутников или около высоких зданий). Для улучшения точности определения скорости с помощью GPS можно применить приемы фильтрации данных, такие как сглаживание, фильтры Калмана или совмещение данных с другими сенсорами, такими как акселерометры, гироскопы или датчики колесных оборотов. Использование комплексных алгоритмов и техник комбинированного оценивания движения может помочь улучшить точность определения скорости робота. Важно помнить, что точность и надежность определения скорости с использованием GPS зависят от внешних условий и окружающей среды. Сильные помехи,

электромагнитные воздействия или недостаточное количество видимых спутников могут негативно влиять на качество измерений и оценку скорости. В целом, GPS может быть использован для определения скорости робота, но требует учета его ограничений и комбинированного подхода с другими сенсорами и техниками обработки данных, чтобы получить более точные результаты.

#### 6. Использование датчиков на эффекте Доплера

Действительно, для измерения скорости объекта может использоваться эффект Доплера. Этот физический эффект заключается в изменении частоты волны (например, звука или электромагнитной волны), излученной источником, при движении источника и наблюдателя относительно друг друга.

$$f_d = f_{\text{изл}} - f_{\text{прин}} , \quad (9)$$

где  $f_d$  – доплеровский сдвиг,  $f_{\text{изл}}$  – частота излученного сигнала,  $f_{\text{прин}}$  – частота принятого сигнала.

В случае света, эффект Доплера приводит к изменению цвета воспринимаемого света. Если источник света приближается к наблюдателю, воспринимаемая частота света сдвигается к более синему (синий сдвиг), а если источник света удаляется от наблюдателя, воспринимаемая частота света сдвигается к более красному (красный сдвиг).

В случае движения источника звука, частота воспринимаемого звука для наблюдателя будет выше, если источник движется навстречу ему, и ниже, если источник движется от него. Это объясняет, почему звук автомобиля, пожарной машины или поезда кажется выше по высоте, когда они движутся навстречу наблюдателю, и ниже, когда они удаляются от него (рисунок 5).

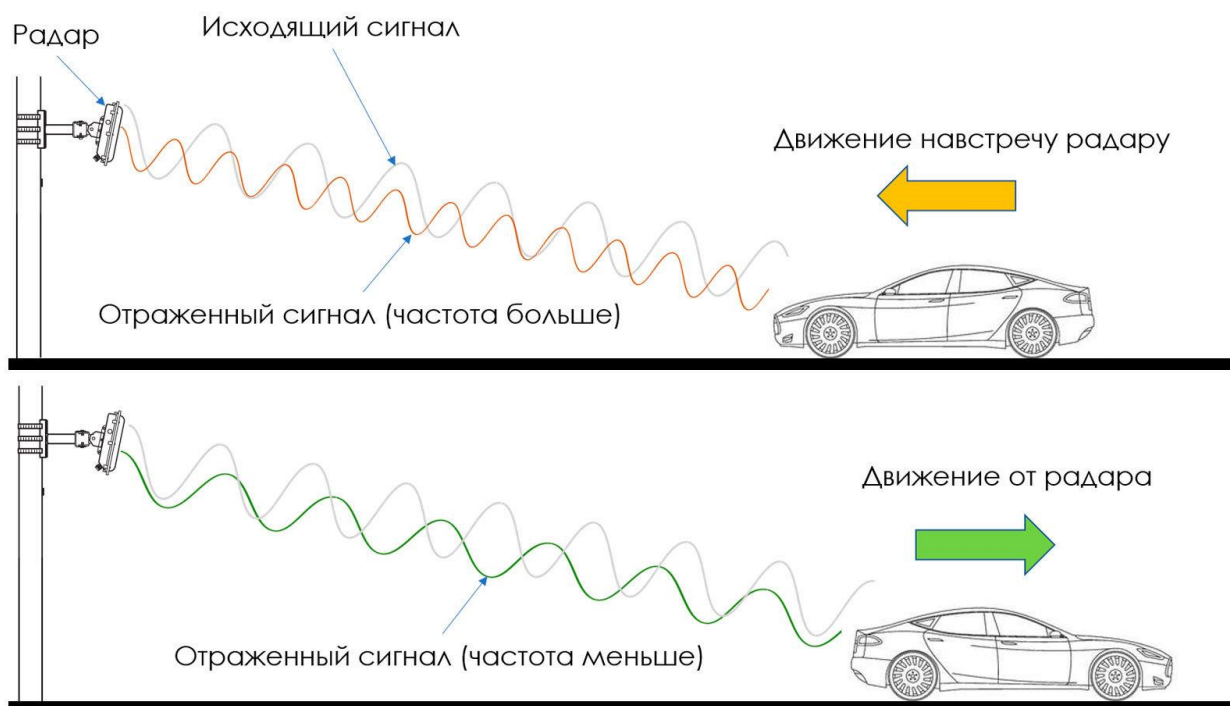


Рисунок 5 – Эффект Доплера

Рассмотрим три случая расположения приемника относительно источника:

### 1. Движущийся приемник звука

При движении приемника по направлению к источнику со скоростью  $V_{пр}$  (приемник 1 на рисунке 6.а) взаимная скорость сближения пиков волн и приемника увеличивается по сравнению со скоростью звука и становится равной  $c + V_{пр}$ . Очевидно, что и частота колебаний на входе приемника увеличивается пропорционально росту скорости и становится равной:

$$f = f_0 \frac{c + V_{пр}}{c} = f_0 + F, \quad (10)$$

где  $f_0$  – частота излученного сигнала,  $f$  – частота принятого сигнала,  $F$  – доплеровский сдвиг, который определяется по формуле:

$$F = f_0 \frac{V_{пр}}{c}, \quad (11)$$

При движении приемника по направлению от источника со скоростью  $(-V_{пр})$  (приемник 2 на рисунке 6.а) скорость пиков волн относительно приемника уменьшается по сравнению со скоростью звука и становится равной  $c - V_{пр}$ . Частота колебаний на входе приемника в этом случае равна:

$$f = f_0 \frac{c - v_{\text{пр}}}{c} = f_0 + F. \quad (12)$$

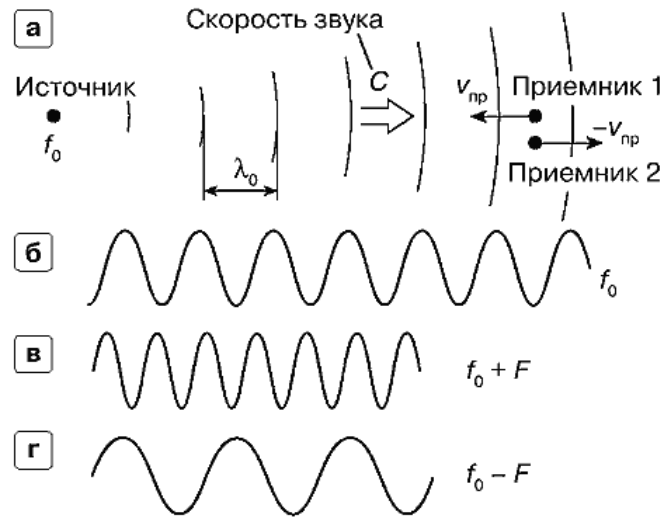


Рисунок 6 – Эффект Доплера при движении приемника, а — приемник 1 движется к источнику со скоростью  $v_{\text{пр}}$ , приемник 2 движется от источника со скоростью  $v_{\text{пр}}$ ; б — колебания, излучаемые источником с частотой  $f_0$ ; в — колебания в приемнике 1 — частота  $f_0 + F$ ; г — колебания в приемнике 2 — частота  $f_0 - F$ .

## 2. Движущийся источник звука

Если источник движется по направлению к приемнику со скоростью  $V_{\text{ист}}$  (рисунок 7.а), расстояния между соседними пиками волн уменьшаются, т.е. уменьшается в этом направлении длина волны  $\lambda$  в соответствии с выражением 13:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{c - V_{\text{ист}}}{c}. \quad (13)$$

Используя известное соотношение  $\lambda = c/f$ , можно написать выражение для частоты колебаний на входе приемника, которая становится больше, чем частота источника:

$$f = f_0 \frac{c}{c - V_{\text{ист}}} = f_0 + F. \quad (14)$$

Если источник движется в противоположном направлении от приемника, то частота на входе приемника уменьшается:

$$f = f_0 \frac{c}{c + V_{\text{ист}}} = f_0 - F, \quad (12)$$

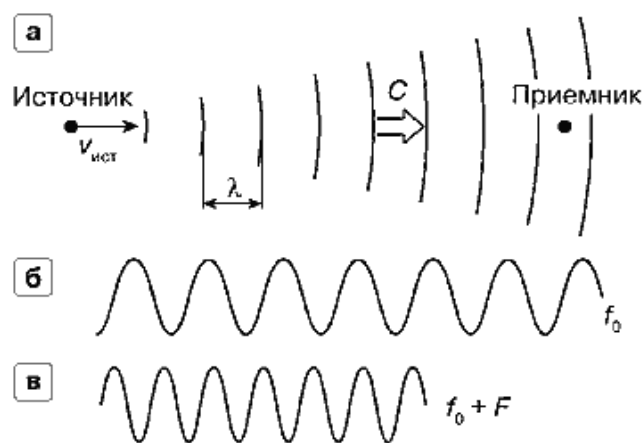


Рисунок 7 – Эффект Доплера при движении источника, а — источник движется к приемнику со скоростью  $v_{ист}$ ; б — колебания источника - частота  $f_0$ ; в — колебания в приемнике - частота  $f_0 + F$

### 3. Движущийся отражатель звука

На рисунке 8 схематически изображены совмещенные источник и приемник звука, и отражатель, движущийся в сторону источника и приемника со скоростью  $V$ . Колебания, приходящие от источника на движущийся отражатель, имеют такой же вид, как и в первом рассмотренном нами случае "движущийся приемник". Частота колебаний на отражателе

$$f_{отр} = f_0 \frac{c+V}{c}. \quad (15)$$

Отражая эти колебания в сторону приемника, отражатель выступает в роли источника, поэтому приходящие от него к приемнику колебания имеют частоту

$$f_{отр} = f_0 \frac{c}{c-V}, \quad (16)$$

аналогично тому, как это было во втором случае "движущийся источник звука".

В результате частота эхо-сигналов на входе приемника определяется выражением 17:

$$f_{пр} = f_0 \frac{c-V}{c+V}. \quad (17)$$

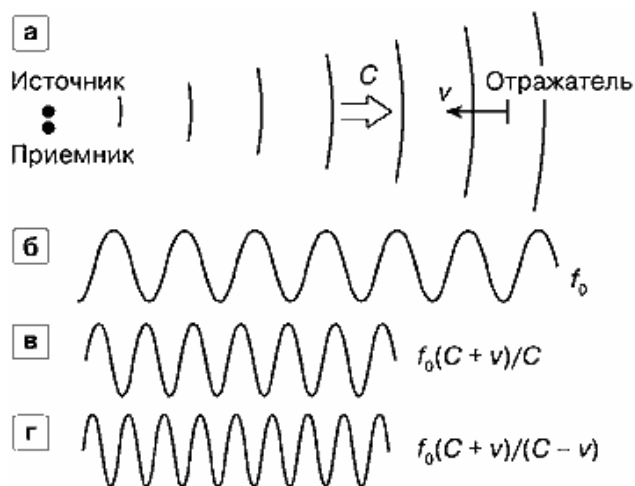


Рисунок 8 – Эффект Доплера при движении отражателя, а — источник и приемник совмещены и неподвижны, отражатель движется к ним со скоростью  $v$ ; б — колебания источника с частотой  $f_0$ ; в — колебания, приходящее на отражатель; г — колебания в приемнике.

Однако важно отметить, что измерение скорости на основе эффекта Доплера может быть сложным из-за некоторых факторов, таких как многолучевое распространение сигнала, помехи и шум, искажение сигнала из-за изменения свойств среды и прочие факторы. Поэтому для получения точных и надежных измерений скорости на основе эффекта Доплера могут потребоваться дополнительные методы обработки сигнала и коррекции ошибок. Эффект Доплера имеет широкий спектр применений и используется для измерения скоростей звезд, планет, галактик и других объектов в космосе, а также для определения скорости источника звука или света в земных условиях.



## Описание лабораторного стенда

В качестве датчика для определения скорости передвижения в лабораторной работе будем использовать датчик RCWL-0516, внешний вид которого показан на рисунке 9.

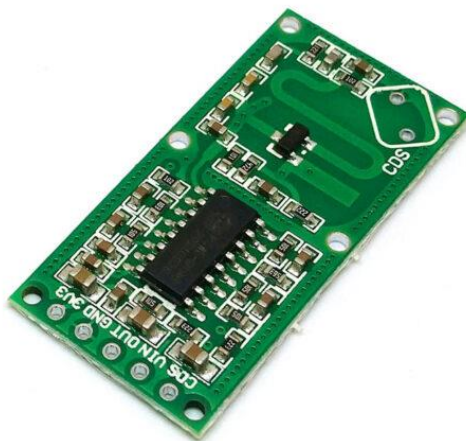


Рисунок 9 – Датчик RCWL-0516

Датчик RCWL-0516 (также известный как Doppler-сенсор или микроволновый радар) — это сенсорный модуль, который использует эффект Доплера для обнаружения движения объектов в определенном радиусе.

Основные характеристики датчика движения RCWL-0516:

- Рабочее напряжение: 4-28 В постоянного тока.
- Рабочая частота: 3,2 ГГц (микроволновый диапазон).
- Дальность обнаружения движения: от 5 до 9 метров.
- Угол обзора: Приблизительно 360 градусов.
- Цифровой сигнал на выходе, который меняется при обнаружении движения.
- Встроенная возможность регулировки чувствительности.
- Возможность настройки времени задержки после обнаружения движения.
- Может работать в режиме постоянного обнаружения или в режиме сна

с периодическим пробуждением.

- Потребляемый ток около 2-3 мА.
- Размеры 35 x 25 мм.

Блок-схема доплеровского датчика RCWL-0516, используемого в лабораторной работе, показана на рисунке 10.

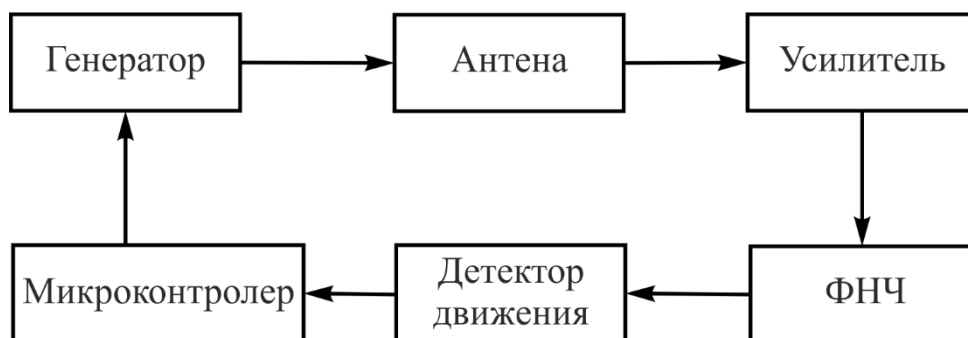


Рисунок 10 – Блок-схема датчика RCWL-0516

Сигнал с генератора излучается через антенну. Антенна принимает отраженные радиоволны от объектов и преобразует их в электрический сигнал. Далее усилитель усиливает слабые радиочастотные сигналы, полученные от антенны. Усилитель помогает повысить чувствительность датчика и расширить его область обнаружения. ФНЧ пропускает только низкочастотные компоненты сигнала и фильтрует высокочастотный шум и помехи, чтобы обеспечить более точное обнаружение движения. Детектор движения анализирует усиленный сигнал и определяет наличие движущихся объектов в зоне обнаружения. Микроконтроллер отвечает за управление работой датчика. Микроконтроллер обрабатывает сигналы, полученные от антенны, и принимает решение о том, было ли обнаружено движение.

Принципиальная схема доплеровского датчика RCWL-0516 приведена на рисунке 11:

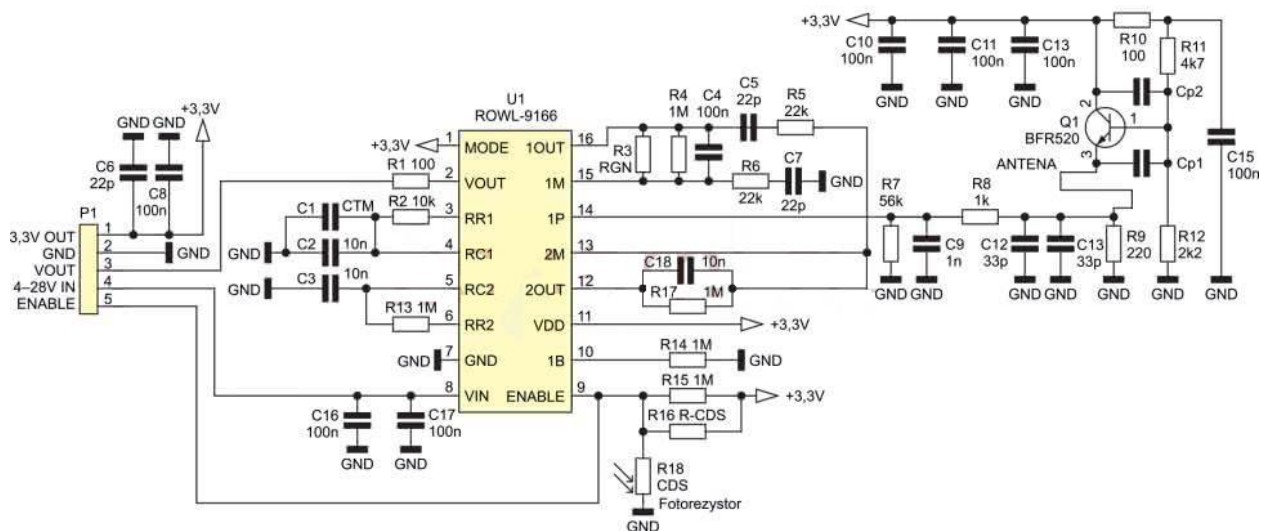


Рисунок 11 – Принципиальная схема датчика RCWL-0516

Принципиальная схема датчика RCWL-0516 основана на двух радиочастотных блоках: передатчике и приемнике. Генератор СВЧ построен на транзисторе  $Q_1$ , работающем в модифицированной схеме трёхточки. Антенна, входящая в цепь эмиттера, выполнена на печатной плате в виде S-образной дорожки. Антенна создает резонансный контур с емкостями, выполненными также в виде дорожек на плате.

Кольцевая дорожка на противоположной стороне платы отмечена на схеме  $C_{p2}$ , а  $C_{p1}$  – это емкость кругового поля.

Генератор работает на основной частоте около 3,2 ГГц. Сигнал излучается через антенну датчика в окружающее пространство. Если в окружающем пространстве движется объект, например, человек, автомобиль или другой предмет, радиоволны отражаются от этого объекта и возвращаются к датчику. Сигнал поступает на вход 1P микросхемы U1 через фильтр нижних частот. Эта схема образует второй функциональный блок датчика. Он состоит из усилителей, детекторов и логики, преобразующей модуляцию несущей волны, возникающие в результате отражения, в логические импульсы, сигнализирующие об обнаружении объекта.

Важно отметить, что датчик RCWL-0516 работает на радиочастотном диапазоне, что позволяет ему обнаруживать объекты через непроводящие поверхности, такие как стены или пластик. Однако, датчик может быть подвержен нежелательным сигналам из окружающей среды, так что при использовании его следует принять меры для минимизации внешних помех и правильно настроить его параметры с помощью потенциометров, чтобы достичь наилучших результатов обнаружения движения.

В качестве микроконтроллера используем Arduino Mega. Сердцем платформы Arduino Mega является 8-битный микроконтроллер семейства AVR — ATmega2560 с тактовой частотой 16 МГц. Контроллер предоставляет 256 КБ Flash-памяти для хранения программного кода, 8 КБ оперативной памяти SRAM и 4 КБ энергонезависимой памяти EEPROM для хранения данных. Arduino Mega имеет 54 цифровых входа/выхода (включая 15 PWM выходов), 16 аналоговых входов и 4 UART порта (серийный порт).

Микроконтроллер ATmega16U2 обеспечивает связь микроконтроллера ATmega2560 с USB-портом компьютера. При подключении к ПК Arduino Mega 2560 определяется как виртуальный COM-порт.

Датчик RCWL-0516 подключаем к микроконтроллеру, для этого контакт OUT модуля RCWL-0516 соединяем с выводом 2 Arduino. Землю и питание соединяем с «GND» и «5V» Arduino. Схема подключения датчика RCWL-0516 приведена на рисунке 12.

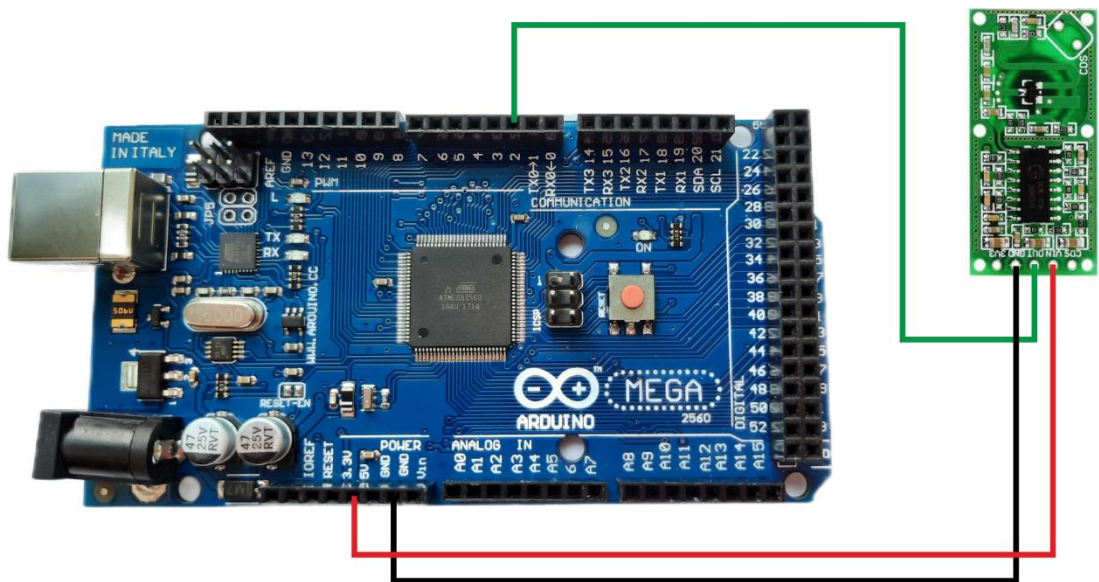


Рисунок 12 – Схема подключения датчика RCWL-0516 к Arduino Mega

После подключения необходимо запрограммировать датчик давления, для этого выполните следующие действия:

1. Подключите Arduino-плату к компьютеру через USB-порт.
2. Для создания нового проекта откройте Arduino IDE.

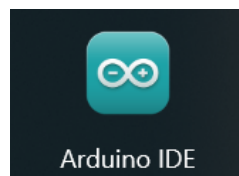


Рисунок 13 – Пиктограмма программы Arduino IDE

3. Создайте новый файл проекта, выбрав пункт «Файл» -> «Новый» в верхнем меню.

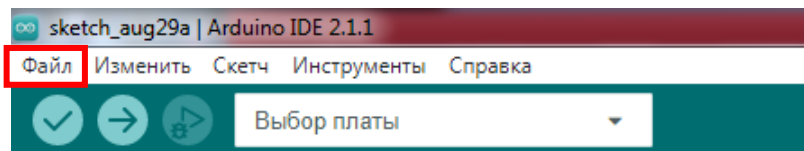


Рисунок 14 – Вкладка «Файл» программы Arduino IDE

4. Откроется окно с основной структурой вашей программы.

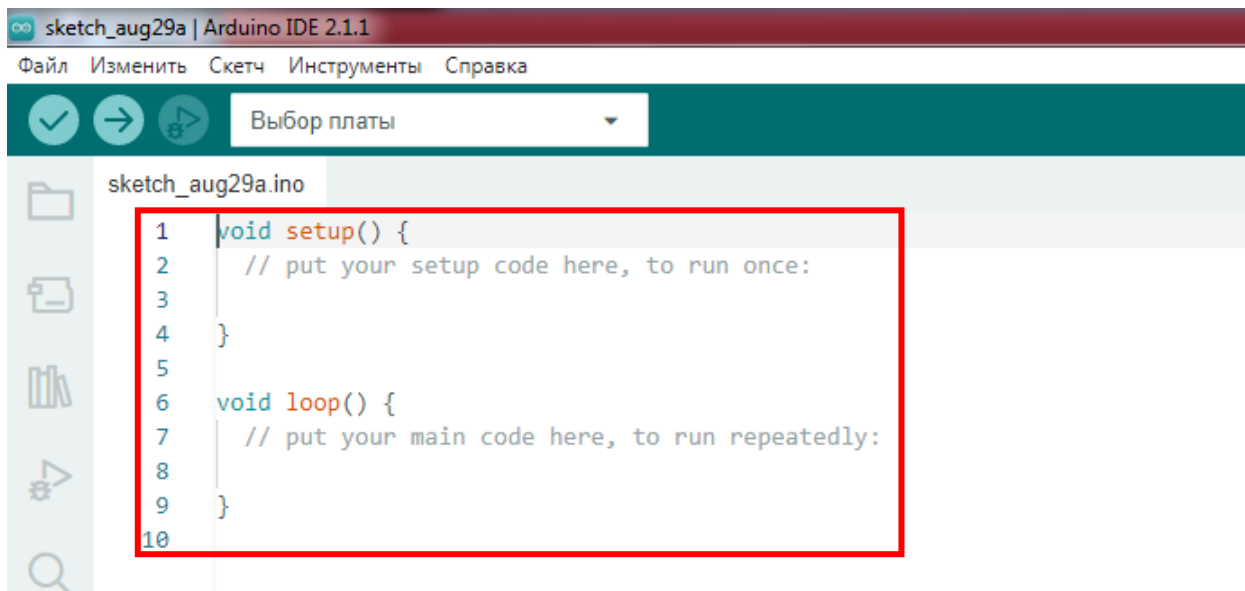


Рисунок 15 – Окно редактора Arduino IDE

Для минимальной программы требуется всего 2 блока: **setup** и **loop**. Их присутствие обязательно в любой программе на C++ для Arduino, иначе на стадии компиляции можно получить ошибку.

- **setup()**: Функция вызывается один раз в начале программы и используется для инициализации выходных портов, устройств или других параметров вашей программы.

- **loop()**: Функция выполняется бесконечно и является основным циклом вашей программы. В ней содержится основная логика управления или задачи, которые вам нужно выполнить.

5. Напишите код вашей программы в окне редактора Arduino IDE.

```
#define Sensor 2 // Указываем, к какому порту подключен вывод OUT
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
pinMode(Sensor,INPUT); // Указываем вывод, как вход
```

```
Serial.begin(9600); // Открываем последовательную связь, на скорости 9600
```

```
}
```

```

void loop()
{
bool Detection = digitalRead(Sensor); // Считываем показания с порта

if(Detection == HIGH) // Если на вывода HIGH, тогда движение есть
Serial.println("Motion detected !!"); // Отправка сообщения
if(Detection == LOW) // Если на выходе LOW, тогда движения нет
Serial.println("Clear"); // Отправка сообщения
}

```

6. Убедитесь, что выбрана правильная плата и порт коммуникации.

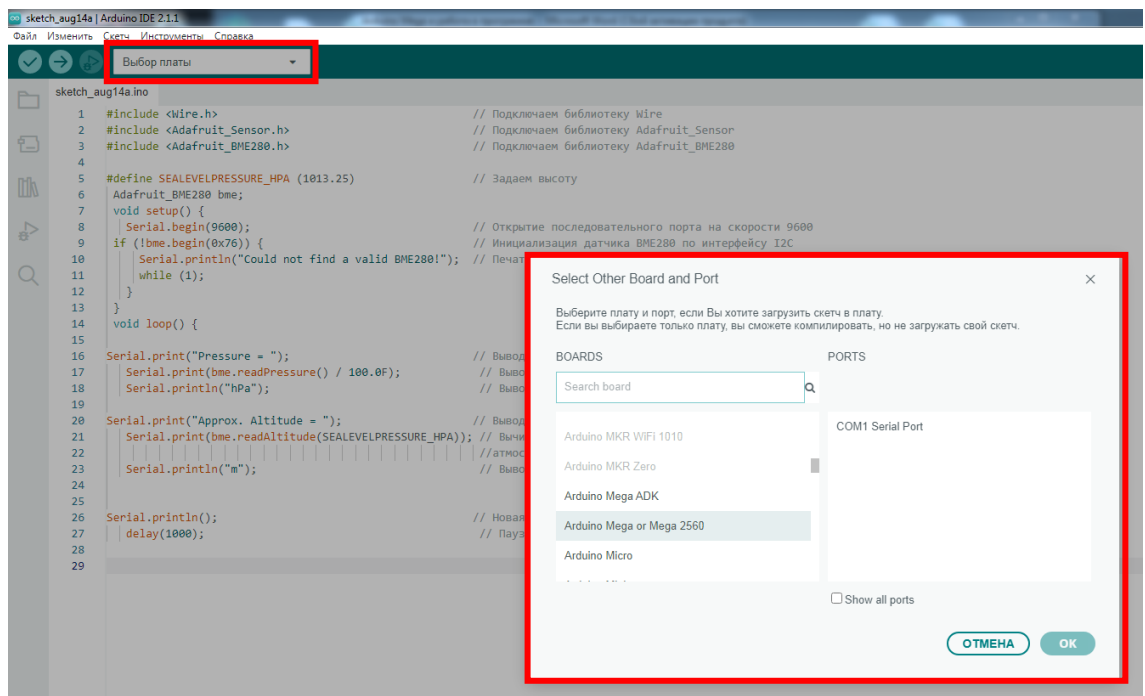


Рисунок 16 – Окно для выбора платы и порта

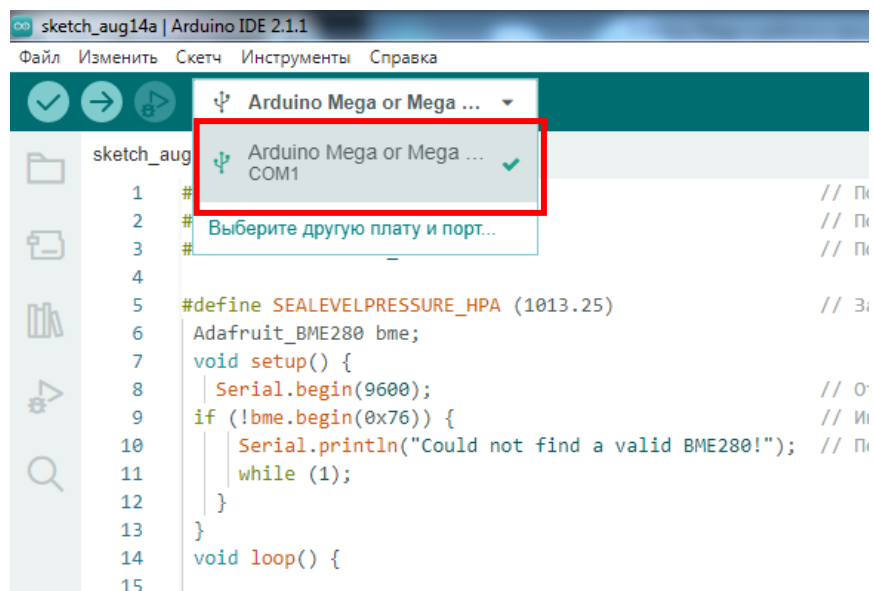


Рисунок 17 – Отображение выбранной платы и порта на верхней панели Arduino IDE

7. Проверьте синтаксис вашего кода, нажав кнопку «Проверить» (галочка) в верхней панели Arduino IDE.

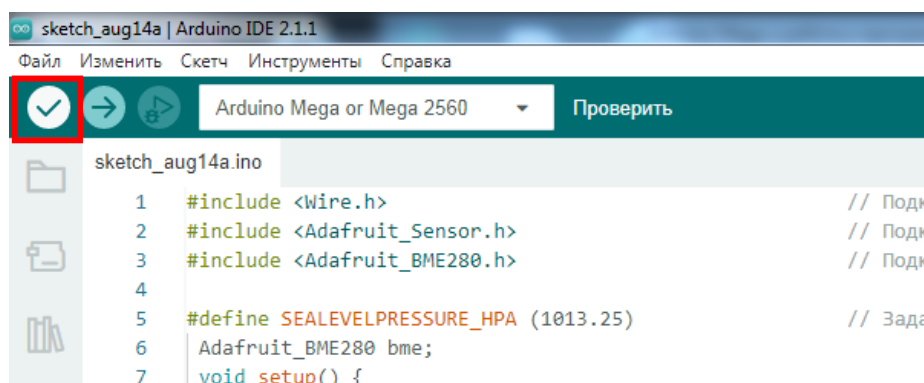


Рисунок 18 – Кнопка «Проверить» программы Arduino IDE

Если нет ошибок, ваш код будет успешно скомпилирован в машинный код, готовый для загрузки на Arduino-плату.

8. Нажмите кнопку «Загрузить» (стрелка вниз) в верхней панели Arduino IDE, чтобы загрузить скомпилированный код на Arduino.



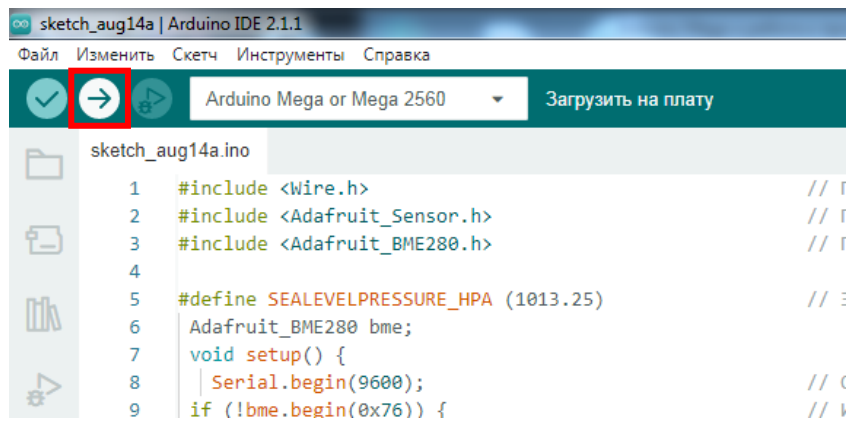


Рисунок 19 – Кнопка «Загрузить» программы Arduino IDE

Плата будет перезагружена и начнет выполнять Вашу программу.

9. Откройте монитор порта, выбрав пункт «Инструменты» -> «Монитор порта» в верхнем меню или «Построить графики из данных в мониторе порта».

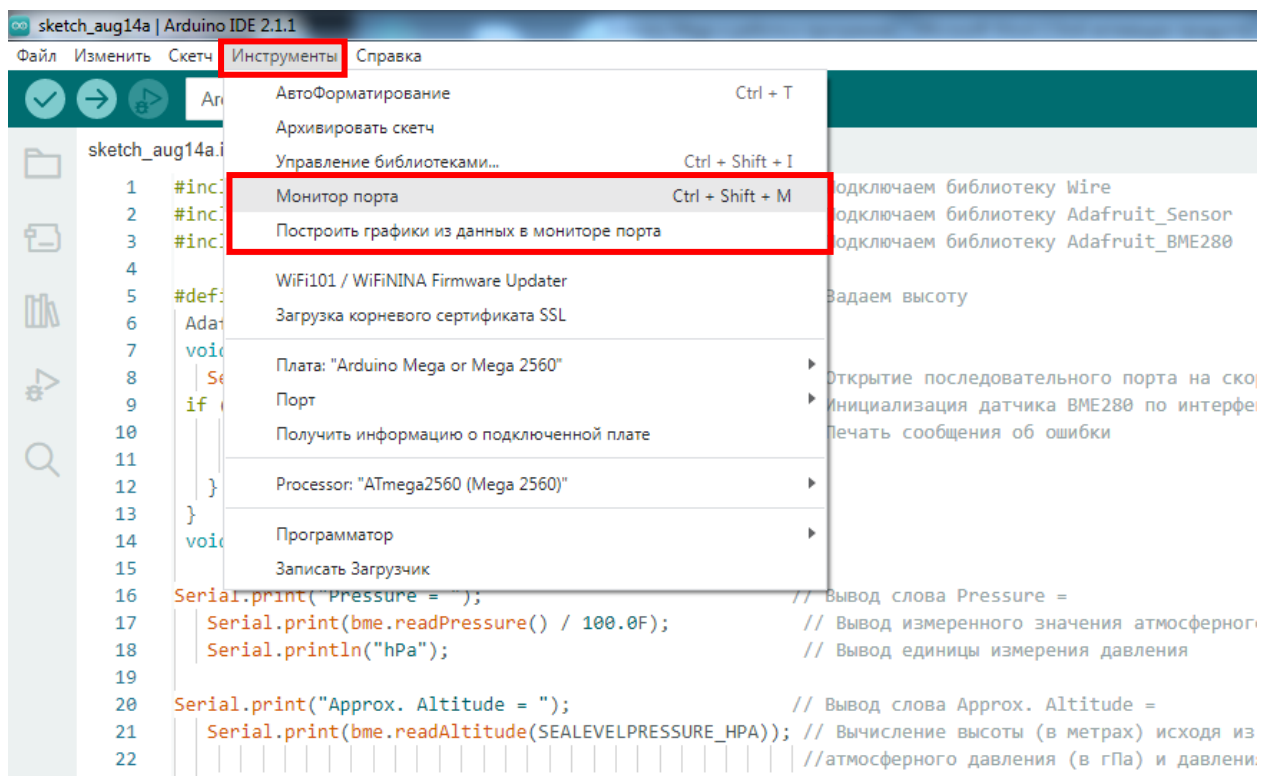


Рисунок 20 – Вкладка «Инструменты» для выбора просмотра полученных данных

В «Мониторе порта» вы сможете просматривать числовые данные, выводимые вашей программой, а в «Построить графики из данных в мониторе порта» данные отображаются в графическом виде.

## **Задание**

1. Подключить Arduino к персональному компьютеру.
2. Написать программный код.
3. Открыть монитор порта программы Arduino IDE.
4. Расположить отражатель на дистанции 50 см от датчика и закрепить его на подвижной платформе.
5. Изменяя скорость движения платформы, снять показания частоты Доплера от скорости.
6. Уменьшая скорость движения платформы, определить минимальную скорость, при которой датчик не срабатывает.
7. Установив скорость движения 5 м/с, снять показания прибора, плавно увеличивая скорость движения платформы, зафиксировать смену показаний прибора на 1 единицу младшего разряда.
8. Повторить п.5,6, 7 3 раза.
9. Провести статистическую обработку полученных результатов.
10. Вычислить погрешность измерений.
11. Построить график зависимости частоты Доплера от скорости.
12. По полученным данным рассчитать разрешающую способность и чувствительность датчика.

## **Отчет**

1. Цель лабораторной работы.
2. Описать принцип действия датчика.
3. Алгоритм работы программы и программный код.
4. Проанализировать полученные зависимости.
5. Ответы на контрольные вопросы.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое скорость?

2. Какими способами можно определить скорость?
3. Приведите формулы для расчета скорости различными способами.
4. Что такое эффект Доплера?
5. Как с помощью эффекта Доплера определить скорость объекта?
6. Почему звук пожарной машины, движущийся навстречу наблюдателю, кажется выше по высоте?
7. Объясните принцип работы доплеровского Датчика, используемого в лабораторной работе.
8. Нарисуйте принципиальную схему доплеровского датчика.

### **Расчет погрешности**

Для того чтобы убедиться в правильности работы системы необходимо провести расчет погрешности измерений.

Для оценки погрешности необходимо выполнить следующие этапы проведения и обработки многократных измерений:

1) Не изменяя условий эксперимента (температуры окружающей среды, величин акустического поля, зондирующего напряжения, положение датчиков и паллеты и тому подобных), провести несколько измерений одной и той же интересующей физической величины. Для удовлетворительной точности в оценке наилучшего значения измеряемой величины  $x$  число этих измерений  $N$  должно быть не менее пяти.

2) На основе полученной ограниченной статистической выборки вычислить по формуле (9) выборочное среднее значение  $\bar{x}$  как наилучшую оценку  $x_{\text{наил}}$  истинного значения  $X$ :

$$x_{\text{наил}} = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} \quad (18)$$

где  $x_1, \dots, x_N$  - измеренное значение;

$N$  - число измеренных значений.

3) Средняя абсолютная погрешность любого отдельного измерения из выборки  $x_1 \dots, x_N$  есть стандартное отклонение, определяемое выражением (10):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (19)$$

где  $\bar{x}$  - выборочное среднее значение.

4) Рассчитав стандартное отклонение  $\sigma_x$  по формуле (10) можно вычислить стандартное отклонение среднего  $\sigma_{\bar{x}}$  с помощью выражения (11):

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \quad (20)$$

5) Используя рассчитанное стандартное отклонение среднего  $\sigma_{\bar{x}}$  из выражения (11) рассчитывается абсолютная погрешность (если  $\alpha = 95\%$  то коэффициент Стьюдента равно 1,97 при 120 измерений) по формуле (12):

$$\Delta x = t_\alpha \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (21)$$

где  $t_\alpha$  - коэффициент Стьюдента.

6) Зная абсолютную погрешность из выражения (12) рассчитывается относительная погрешность с помощью выражения (13):

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{\bar{x}} \% \quad (22)$$

### **Определение разрешающей способности датчика скорости передвижения**

Определение разрешающей способности датчика скорости передвижения зависит от типа датчика и его параметров, включая диапазон измерения и точность.

Разрешающая способность датчика скорости передвижения определяется по формуле 14:

$$v_a = \frac{v_{max}}{(2^n - 1)}, \quad (23)$$

где  $v_a$  - разрешающая способность датчика,  $v_{max}$  - максимальное значение скорости, измеряемого датчиком, а  $n$  - количество битов (разрядность) АЦП (аналого-цифрового преобразователя), используемого для преобразования аналогового сигнала датчика в цифровой вид.

Однако, стоит учесть, что разрешающая способность датчика может быть ограничена шумом и другими нежелательными факторами, такими как нелинейность, дрейф и шум усиления. Поэтому, чтобы получить точные результаты измерений, необходимо учитывать не только разрешающую способность датчика, но и другие параметры, в том числе частоту дискретизации, уровень шума и допустимую ошибку измерения.

### **Определение чувствительности датчика скорости передвижения**

Чувствительность датчика скорости передвижения — это отношение изменения выходного сигнала датчика к изменению скорости.

Чувствительность датчика скорости передвижения определяется по формуле 15:

$$S = \frac{V_2 - V_1}{v_2 - v_1}, \quad (24)$$

где  $S$  - чувствительность датчика,  $V_2$  и  $V_1$  - выходные значения датчика при двух различных скоростях  $v_2$  и  $v_1$  соответственно.

Чувствительность датчика скорости передвижения зависит от его конструкции, свойств материалов и используемых технологий. Обычно, чувствительность датчиков скорости передвижения указывается в технической спецификации датчика, или может быть определена экспериментально при использовании датчика в определенных условиях эксплуатации.