

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 оптического датчика

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 оптического датчика: метод. указания по выполнению студентами лабораторных работ/ А.И.Солдатов. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 26 с.

Методические указания по выполнению студентами лабораторной работы «Изучение оптического датчика» 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 .....	13
Задание .....	23
Отчет.....	23
Контрольные вопросы .....	23

## **Лабораторная работа №**

### **Изучение оптического датчика**

#### **Цель**

Изучение оптического преобразователя спектра светового излучения.

#### **Задачи**

Изучить принцип работы оптического анализатора спектра светового излучения. Изучить способы разложения оптического излучения в спектральный состав. Познакомиться с конструкцией датчика. Изучить характеристику преобразования оптического датчика светового излучения. Изучить чувствительность и разрешающую способность оптического преобразователя спектра светового излучения. Изучить погрешность оптического преобразователя спектра светового.

#### **Краткие теоретические сведения**

**Оптический метод неразрушающего контроля (НК)** - это техника контроля и проверки материалов, изделий или объектов без их повреждения или разрушения с использованием оптических свойств, таких как поглощение, отражение, рассеивание, дисперсия, поляризация и др. Оптический НК используется для обнаружения дефектов в материалах, таких как трещины, пузырьки, включения и другие несоответствия. Оптические системы могут использоваться для измерения размеров и формы объектов. Этот метод применяется для оценки состояния поверхности изделий, выявления царапин, износа и других поверхностных дефектов. Оптические методы НК используются для визуализации внутренних органов и тканей в медицинских исследованиях и диагностике. Оптические эндоскопы позволяют врачам исследовать полости и органы человеческого тела без хирургических вмешательств. Оптические методы широко применяют для контроля прозрачных объектов, а также для контроля мутности воды.

**Оптический датчик** - это устройство, которое использует свет для обнаружения или измерения различных параметров. Оптические датчики могут работать на основе различных принципов и использоваться во многих различных приложениях.

Основные типы оптических датчиков:

1. Фотодатчики – это датчики, которые обнаруживают изменения интенсивности света. Они могут использоваться, например, для обнаружения препятствий в системах управления роботами или автомобилями.

2. Фоторезисторы – это датчики, которые меняют свое сопротивление в зависимости от интенсивности света, позволяя измерять освещенность в окружающей среде.

3. Фотодиоды – это датчики, которые преобразуют световую энергию в электрический сигнал. Они используются, например, в оптических коммуникационных системах и фотоаппаратах.

4. Лазерные датчики – это датчики, которые используют лазерный луч для точного измерения расстояния, скорости или позиции объектов. Лазерные датчики часто используются в промышленности и робототехнике.

5. Оптические волоконные датчики – это датчики, которые основаны на передаче света через оптические волокна и могут быть использованы для измерения температуры, давления, уровня жидкости и других параметров в труднодоступных местах.

6. Оптические сенсоры изображения – это датчики, которые способны захватывать изображения и используются в цифровых камерах, сканерах, медицинском оборудовании и многих других устройствах.

Оптические датчики имеют широкий спектр применений в промышленности, науке, медицине и повседневной жизни благодаря своей высокой точности и чувствительности к изменениям в окружающей среде.

Рассмотрим применение оптического метода контроля:

1. Измерение насыщения крови кислородом (SpO<sub>2</sub>) и пульса.

Для измерения насыщения крови кислородом (SpO<sub>2</sub>) и пульса используются устройства – пульсоксиметры. Принцип действия пульсоксиметра основан на измерении уровня насыщения кислородом в крови и частоты пульса. Пульсоксиметр состоит из двух основных компонентов - светодиода, который испускает свет определенной длины волны, и фотодетектора, который измеряет количество поглощенного света (рисунок 1).



Рисунок 1 – Принцип работы пульсоксиметра

Светодиоды в пульсоксиметре испускают как красный, так и инфракрасный свет. Эти две длины волн выбраны, потому что гемоглобин, находящийся в крови, имеет разную способность поглощать свет разных длин волн в зависимости от своего уровня насыщения кислородом. Красный свет поглощается гемоглобином, насыщенным кислородом, в то время как инфракрасный свет поглощается гемоглобином, не насыщенным кислородом. Когда светодиоды испускают свет через кожу пациента, фотодетектор измеряет количество поглощенного света. Затем пульсоксиметр анализирует изменения в количестве поглощенного света во времени и определяет уровень насыщения кислородом в крови и частоту пульса. При каждом сердечном сокращении количество поглощенного света меняется, поскольку объем крови в периферических сосудах меняется. Эти изменения в количестве поглощенного света используются для определения частоты пульса. Уровень насыщения кислородом в крови определяется сравнением количества

поглощенного красного и инфракрасного света.

Таким образом, принцип действия пульсоксиметра заключается в измерении изменений в поглощении света гемоглобином, чтобы определить уровень насыщения кислородом в крови и частоту пульса. Эта информация может быть полезна в медицинских условиях, таких как обструктивные заболевания дыхательных путей или сердечно-сосудистые заболевания.

## 2. Определение расстояния.

Для определения расстояния используются лазерные дальномеры. Принцип действия лазерного дальномера основан на измерении времени, за которое лазерный импульс отражается от объекта и возвращается обратно к детектору. Лазерный дальномер состоит из лазерного источника, оптической системы для формирования и фокусировки лазерного луча, а также фотодетектора для регистрации отраженного луча (рисунок 2).



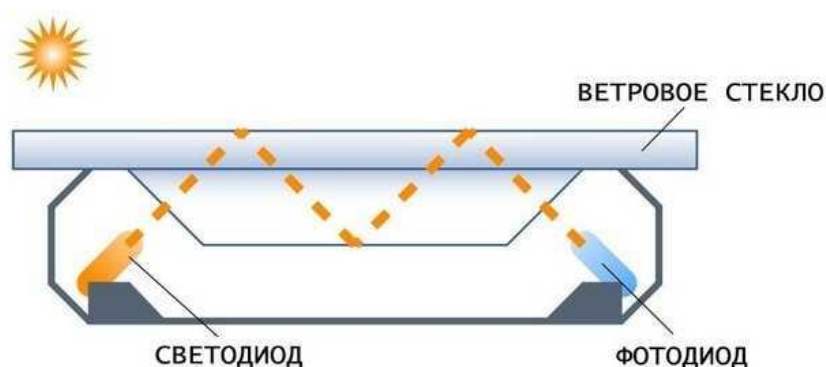
Рисунок 2 – Принцип работы лазерного дальномера

Когда лазерный импульс испускается из дальномера, он направляется на целевой объект. Лазерный луч отражается от объекта и попадает на фотодетектор, который регистрирует время, прошедшее с момента испускания импульса до момента его приема. По известной скорости распространения света (обычно равной скорости света в вакууме), можно вычислить расстояние до объекта. Лазерные дальномеры могут использовать различные методы для измерения времени задержки отраженного луча. Например, некоторые дальномеры используют метод фазового сдвига, при котором фаза лазерного

импульса сравнивается с фазой отраженного импульса. Другие дальномеры могут использовать метод временной задержки, при котором измеряется время задержки между испусканием и приемом импульса. Таким образом, принцип действия лазерного дальномера заключается в измерении времени задержки отраженного лазерного импульса для определения расстояния до объекта. Эта информация может быть полезна в различных областях, таких как геодезия, строительство, архитектура, а также в автомобильной и промышленной отраслях.

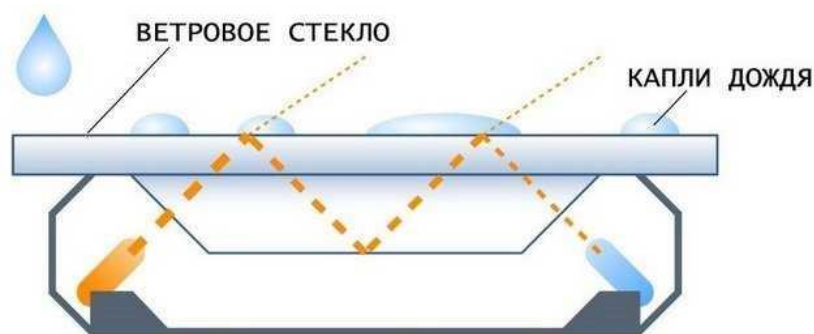
### 3. Автоматическое включение стеклоочистителей в автомобиле.

Для автоматического включения стеклоочистителей в автомобиле используется датчик дождя. Датчик дождя в автомобиле обычно использует оптический принцип для обнаружения наличия влаги на стекле. Внутри датчика расположены инфракрасный светодиод и фотодиод. Инфракрасный светодиод излучает инфракрасные лучи на переднее стекло, а фотодиод регистрирует отраженные лучи. Когда переднее стекло сухое, отраженные лучи достигают фотодиода без препятствий (рисунок 3а). Однако, когда на стекле появляется влага, она изменяет угол отражения лучей, и часть излучения попадает на специальный приемник внутри датчика (рисунок 3б). Это изменение в количестве отраженного света обнаруживается фотодиодом. Полученный сигнал от фотодиода передается в систему управления стеклоочистителями, которая анализирует его и принимает решение о включении или выключении стеклоочистителей.



а)





б)

Рисунок 3 – Принцип работы датчика дождя а) – когда переднее стекло сухое; б) – когда на стекле появляется влага

Таким образом, принцип работы датчика дождя заключается в обнаружении изменения угла отражения световых лучей от переднего стекла автомобиля при наличии влаги. Это позволяет системе управления автоматически включать или выключать стеклоочистители в зависимости от условий погоды и обеспечивать хорошую видимость во время дождя.

#### 4. Определение мутности воды.

Мутность воды - это явление, при котором вода становится менее прозрачной из-за наличия в ней частиц, которые рассеивают свет. Эти частицы могут быть разного происхождения и размера, и они могут включать в себя:

- Минеральные частицы: Например, глина, песок, мелкие частицы мела или известняка, которые могут присутствовать в воде из-за недостаточной фильтрации или из-за естественных геологических процессов.
- Органические частицы: Водоросли, микроорганизмы и остатки растений могут вносить мутность в воду.
- Загрязнения: Промышленные и химические загрязнения также могут вызывать мутность воды.
- Ионы и соли: Растворенные соли и минералы могут вызывать мутность, если они выпадают из раствора в виде твердых частиц.
- Воздушные пузыри: Мельчайшие воздушные пузыри в воде также могут создавать видимую мутность.

Мутность воды может быть нежелательным явлением, особенно в питьевой воде и в воде, используемой в промышленных и технологических процессах. Для удаления мутности и очистки воды используют различные методы, такие как фильтрация, осаждение, обеззараживание и дренаж.

Мутность в воде также может служить индикатором качества воды и ее загрязненности, поэтому ее измерение и мониторинг важны для обеспечения безопасности и здоровья людей и окружающей среды.

Оптический метод определения мутности воды основан на измерении изменения пропускания света через воду. В этом методе используется световой источник, который излучает свет через воду. Затем фотодетектор регистрирует интенсивность света, прошедшего через воду. Если вода является чистой и прозрачной, то свет будет проходить через нее без каких-либо препятствий, и фотодетектор зарегистрирует высокую интенсивность света. Однако, если вода становится мутной из-за наличия в ней частиц или загрязнений, они будут рассеивать свет и уменьшать его интенсивность. Фотодетектор регистрирует это уменьшение интенсивности света и передаст соответствующий сигнал системе управления. Система управления может анализировать полученный сигнал и определить уровень мутности воды. На основе этой информации система может принять решение о необходимости проведения очистки или фильтрации воды.

Закон отражения и закон преломления - это два основных закона, описывающих поведение света при переходе из одной среды в другую.

- Закон отражения: Когда свет падает на границу раздела двух сред, часть света может отразиться от этой границы. Закон отражения гласит, что угол падения равен углу отражения, и оба угла лежат в одной плоскости, называемой плоскостью отражения (рисунок 4).

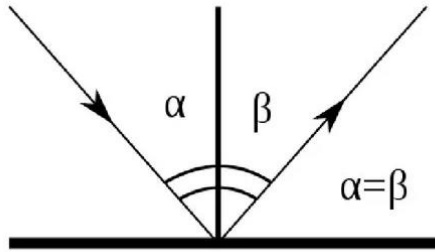


Рисунок 4 – Закон отражения

Этот закон формулируется следующим образом:

$$\alpha = \beta, \quad (1)$$

где  $\alpha$  - угол падения (угол между падающим лучом и нормалью к поверхности);

$\beta$  - угол отражения (угол между отраженным лучом и нормалью к поверхности).

- Закон преломления (закон Снеллиуса): Когда свет переходит из одной среды в другую, он может менять свое направление, так как его скорость и длина волны изменяются в разных средах (рисунок 5).

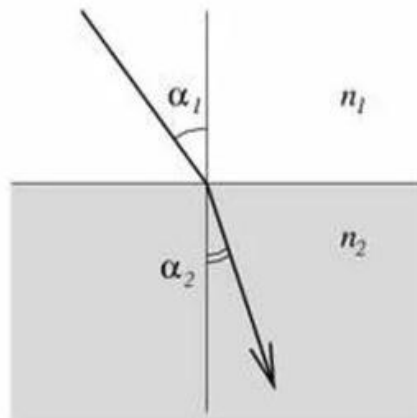


Рисунок 5 – Закон преломления

Закон преломления (закон Снеллиуса) устанавливает связь между углами падения и преломления, а также показателями преломления двух сред:

$$\frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha_2)} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (2)$$

где  $n_1$  – показатель преломления первой среды;  $n_2$  – показатель преломления второй среды;  $\alpha_1$  – угол падения;  $\alpha_2$  – угол преломления.

Закон Снеллиуса позволяет определить, как свет будет преломляться при переходе между средами с разными показателями преломления. Если свет переходит в среду с большим показателем преломления, он обычно при преломлении приближается к нормали к поверхности, а если в среду с меньшим показателем преломления, он удаляется от нормали.

Законы отражения и преломления играют фундаментальную роль в оптике и являются ключевыми понятиями для понимания взаимодействия света с поверхностями и переходом между средами разных оптических свойств.

Также важным параметром является затухание света в воде – это явление, при котором интенсивность света уменьшается по мере его прохождения через воду. Затухание света обусловлено рассеянием и поглощением световых частиц, таких как частицы загрязнений или микроорганизмы, присутствующие в воде. Рассеяние света происходит, когда свет сталкивается с частицами воды и меняет направление своего движения. Чем больше частиц в воде, тем больше будет рассеяние света и тем больше будет затухание света.

Формула затухания (рассеивания) света в воде описывает, как быстро свет ослабевает при прохождении через воду на определенную глубину. Эта формула может быть записана как:

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot d} \quad (3)$$

где  $I_0$  - начальная интенсивность света,  $I$  - интенсивность света после прохождения через воду на глубину  $d$ ,  $k$  - коэффициент затухания света, зависящий от длины волны и химических свойств воды.

Длина волны света также может влиять на затухание света в воде, так как различные длины волн будут иметь разную чувствительность к определенным веществам в воде, что приведет к их уменьшению.

Измерение затухания света в воде позволяет определить ее мутность. Чем выше уровень затухания света, тем мутнее вода. Эта информация может

быть использована для контроля качества воды и принятия мер по ее очистке или фильтрации.

## Описание лабораторного стенда

Для определения мутности воды в лабораторной работе будем использовать датчик освещенности GY-30, внешний вид которого показан на рисунке 6.

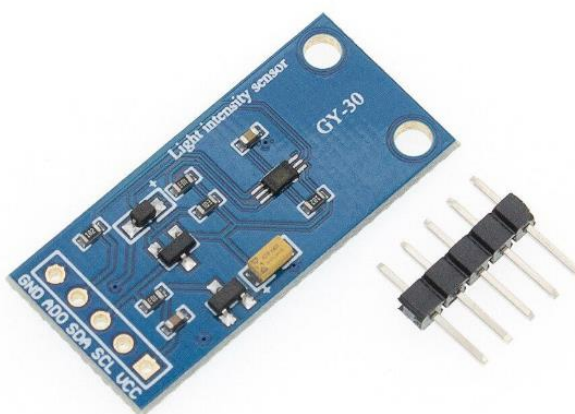


Рисунок 6 – Датчик освещенности GY-30

GY-30 - это датчик освещенности/яркости, который используется для измерения интенсивности света.

Технические характеристики датчика освещенности GY-30:

- Напряжение питания: 3.3 В или 5 В
- Диапазон измерения света: от 1 до 65535 лк
- Номинальный ток: менее 1 мА
- Интерфейс: I2C
- Угол обзора: около 60 градусов
- Точность измерения: +/-5%
- Габариты: 16,7 мм x 13,2 мм

GY-30 можно использовать для измерения уровня освещенности внутри помещений, а также для создания автоматических систем освещения или автоматического управления шторами и жалюзи в домашней автоматизации.

Блок-схема датчика освещенности GY-30, используемого в лабораторной работе, показана на рисунке 7.

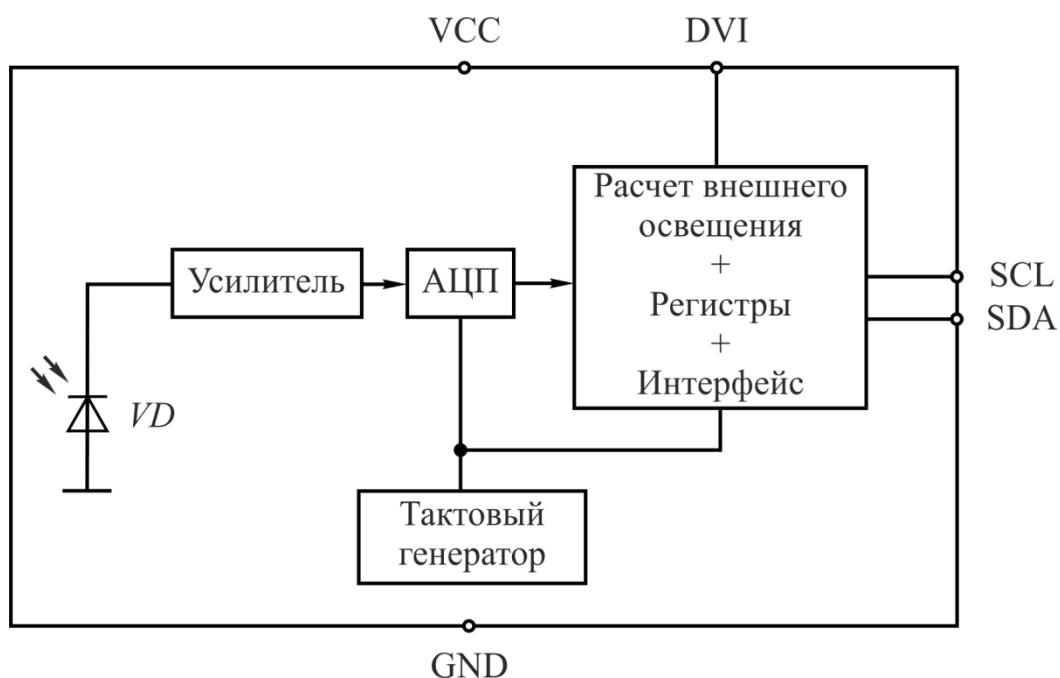


Рисунок 7 – Блок-схема микросхемы MPU-6050

Блок-схема GY-30, или модуль GY-30, состоит из следующих основных компонентов:

1. Фотодиод является основным датчиком света в модуле GY-30. Он реагирует на интенсивность света и генерирует соответствующий сигнал.
2. Усилитель нужен для усиления слабых сигналов, полученных от фотодатчика. Также может присутствовать схема обработки сигнала для фильтрации и анализа полученных данных.
3. АЦП для получения 16-битных цифровых данных.
4. Расчет внешнего освещения. Интерфейс шины I2C включает в себя разъемы или контакты для подключения модуля GY-30 к внешним устройствам, таким как Arduino. Регистр данных — Этот регистр предназначен для регистрации данных об окружающем освещении. Начальное значение: «0000\_0000\_0000\_0000». Регистр времени измерения — Этот

регистр предназначен для регистрации времени измерения. Начальное значение «01\_0010\_1100».

### 5. Внутренний тактовый генератор.

Принципиальная схема датчика освещенности GY-30, приведена на рисунке 8.

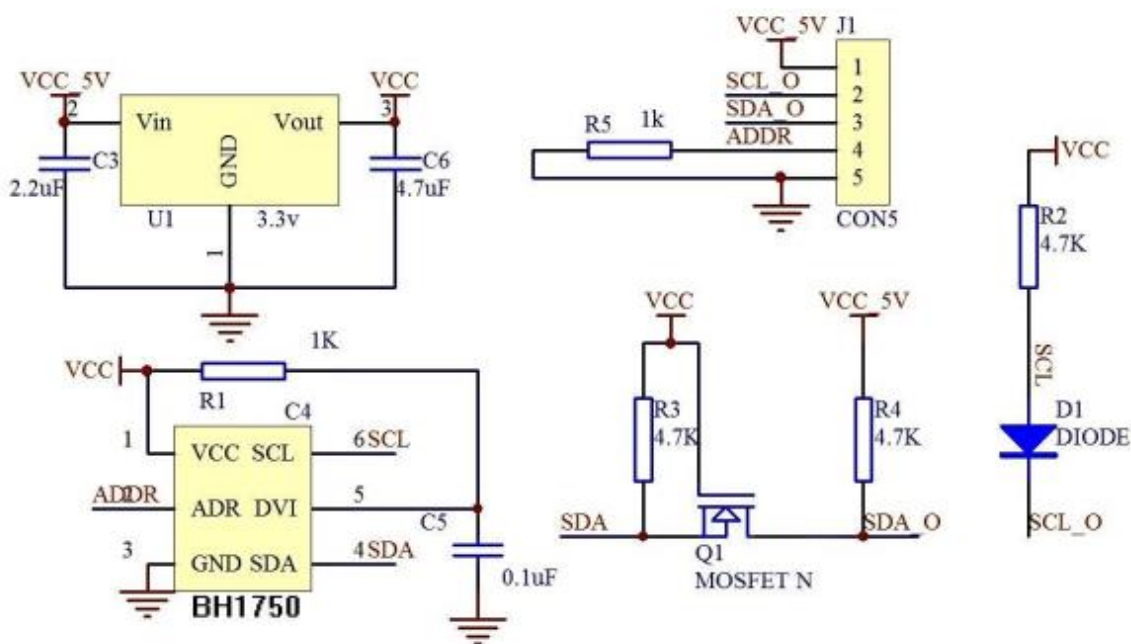


Рисунок 8 – Принципиальная схема датчика освещенности GY-30

Модуль GY-30 обычно питается от источника постоянного напряжения (3,3V или 5V), и может иметь встроенный стабилизатор напряжения для обеспечения стабильного питания. Фотодиод, также известный как LDR (Light Dependent Resistor) или фотоэлектрический датчик, является основным датчиком света в модуле GY-30. Он имеет изменчивое сопротивление, которое меняется в зависимости от интенсивности света, падающего на него. Mosfet-транзистор используется как для управления питанием датчиком, так и для усиления сигнала измерения мутности. Они обладают высокой эффективностью и низким энергопотреблением, высокой скоростью коммутации и низкими потерями мощности, что позволяет им работать на высоких частотах. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) используется

для преобразования аналогового сигнала, отражающего интенсивность света, в цифровой сигнал, понятный для микроконтроллера или другого цифрового устройства. Резисторы в схеме используются для создания делителя напряжения или настройки параметров схемы. Конденсаторы используются для фильтрации шумов, стабилизации напряжения или задержки времени. Микроконтроллер выполняет функции управления, обработки и анализа данных от датчика освещенности. Микроконтроллер может быть подключен коммуникационным интерфейсом, таким как I2C, для связи с другими устройствами.

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 освещенности подключаем к микроконтроллеру по интерфейсу I2C, для этого контакты SCL и SDA датчика GY-30 соединяем с контактами SCL(21-й контакт) и SDA(20-й контакт) Arduino. Землю и питание соединяем с «GND» и «5V» Arduino. Схема подключения датчика освещенности GY-30 приведена на рисунке 9.



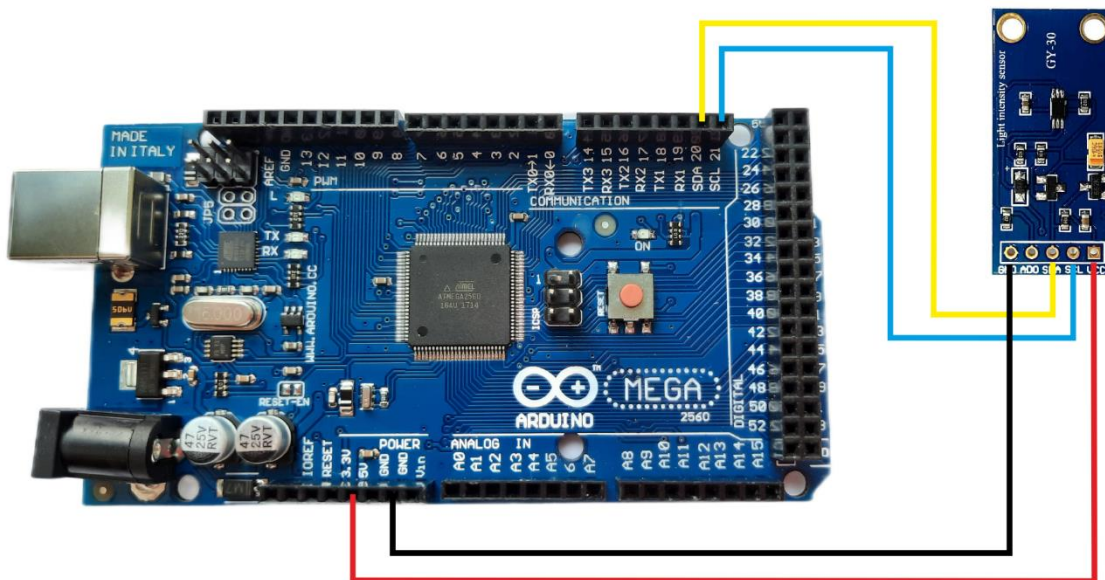


Рисунок 9 – Схема подключения датчика освещенности GY-30 к Arduino Mega

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.

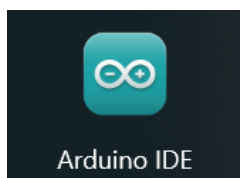


Рисунок 10 – Пиктограмма программы Arduino IDE

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

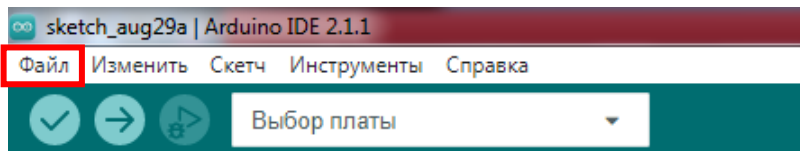


Рисунок 11 – Вкладка «Файл» программы Arduino IDE

4. Откроется окно с основной структурой вашей программы.

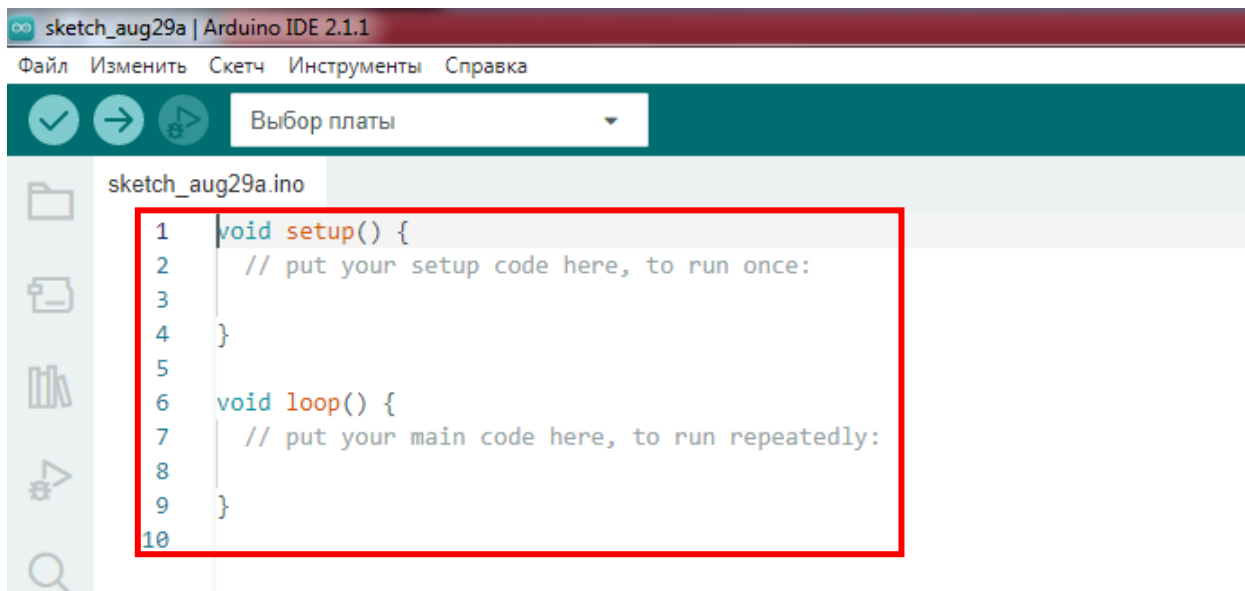


Рисунок 12 – Окно редактора Arduino IDE

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.

```
#include <BH1750.h> // Подключаем библиотеку BH1750
```

```
#include <Wire.h> // Подключаем библиотеку Wire
```

```
BH1750 lightMeter; // Создаем объект lightMeter
```

```
void setup()
```

```
{
```

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

```
  Wire.begin(); // Инициализация библиотеки Wire
```

```

lightMeter.begin();           // Инициализация библиотеки BH1750
Serial.println(F("BH1750 Test begin")); // Тестируем BH1750
}

void loop()
{
  float lux = lightMeter.readLightLevel(); // Создаем переменную lux и считываем показания
  Serial.print("Light: ");              // Отправка текста
  Serial.print(lux);                    // Отправка освещенности
  Serial.println(" lx");                 // Отправка текста
  delay(1000);                          // Пауза 1 с
}

```

Для работы с датчиком подключите библиотеку «BH1750», для этого выберите пункт «Скетч» в верхнем меню -> «Подключить библиотеку» -> «Управление библиотеками» или на панели слева.

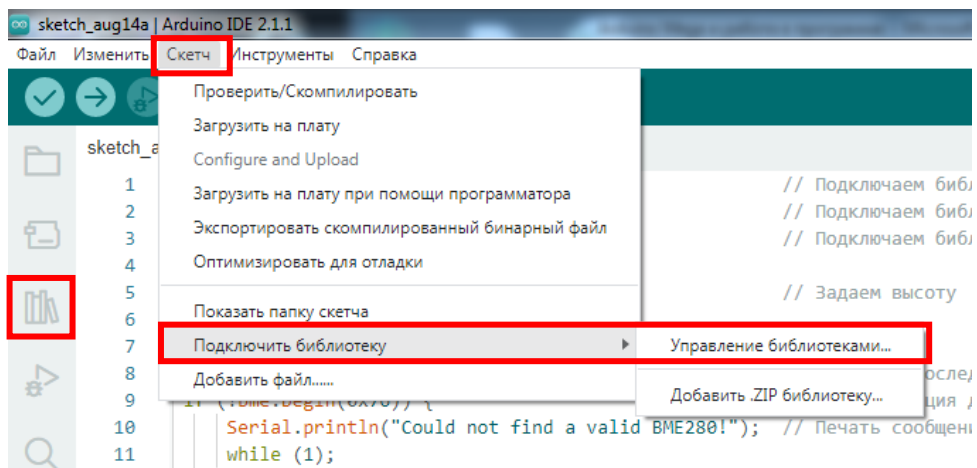


Рисунок 13 – Вкладка «Скетч» для выбора встроенных библиотек Arduino

В открывшемся меню найдите библиотеку и нажмите «Установка»

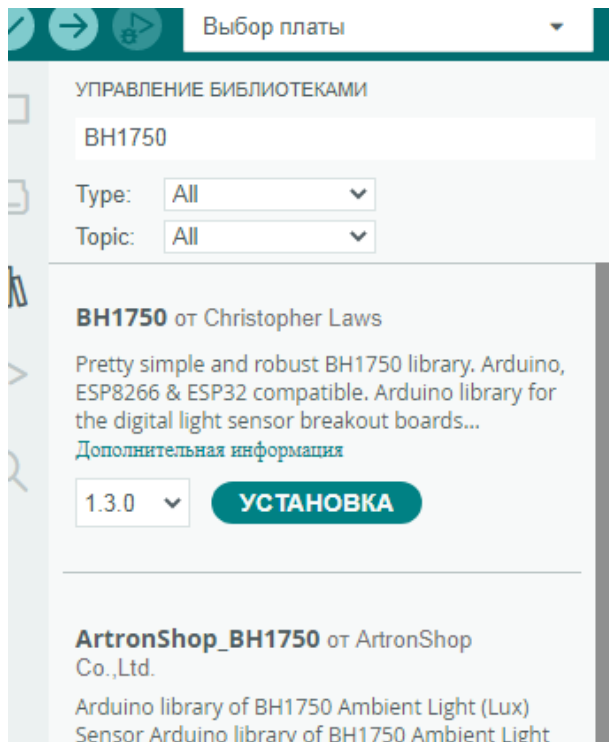


Рисунок 14 – Вкладка «Скетч» для выбора встроенных библиотек Arduino

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

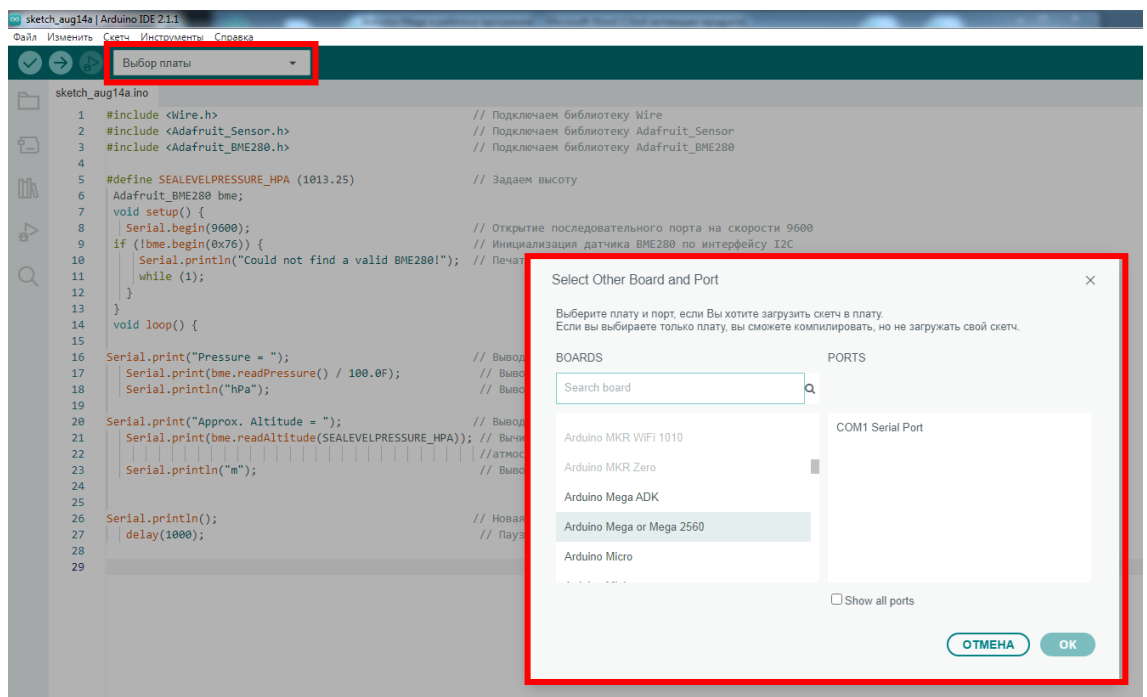


Рисунок 15 – Окно для выбора платы и порта

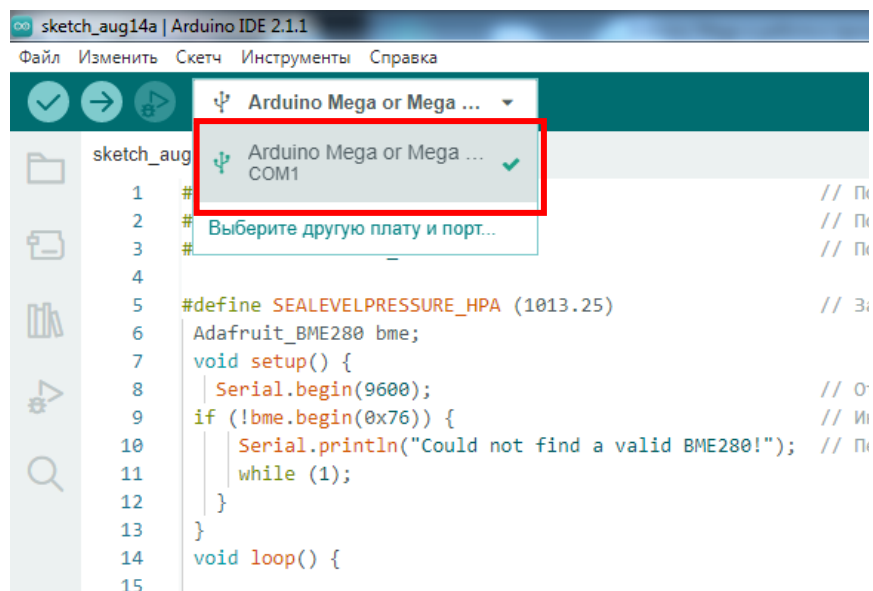


Рисунок 16 – Отображение выбранной платы и порта на верхней панели Arduino IDE

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

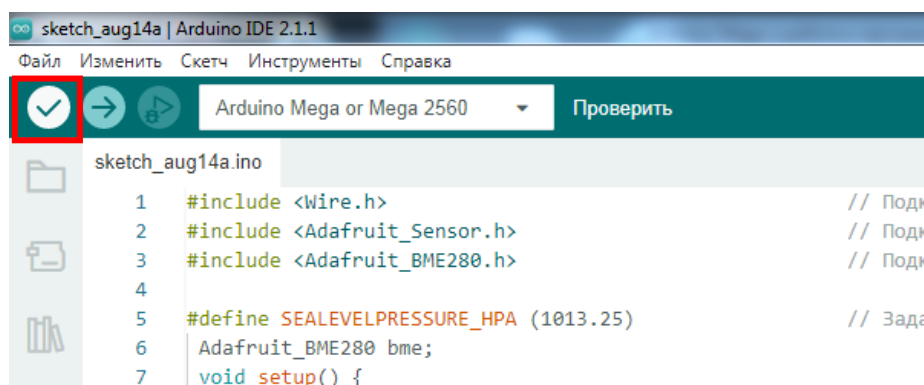


Рисунок 17 – Кнопка «Проверить» программы Arduino IDE

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.

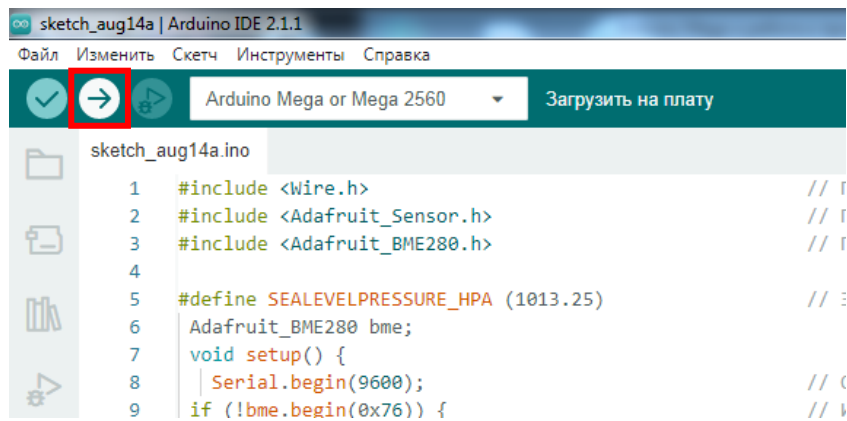


Рисунок 18 – Кнопка «Загрузить» программы Arduino IDE

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».

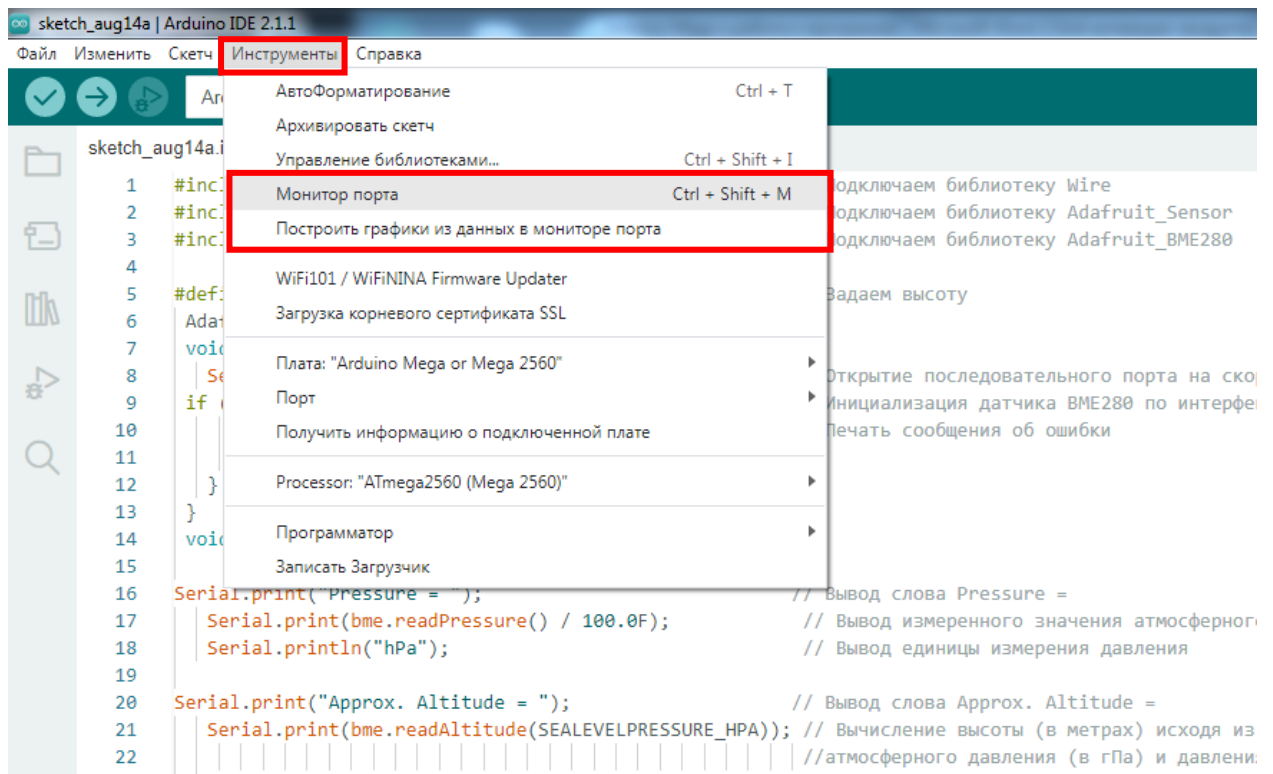


Рисунок 19 – Вкладка «Инструменты» для выбора просмотра полученных данных

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. Поочередно подключить излучатели (красный, синий и зеленый светодиод), снять показания. В качестве исследуемой среды использовать воздух. Снять показания.
5. Налить в сосуд 100 мл чистой воды, повторить п.4.
6. Добавить в чистую воду 0,1 грамм растворимого кофе. Для взвешивания растворимого кофе использовать лабораторные весы. Снять показания.
7. Поочередно добавляя по 0,1 грамма растворимого кофе снять зависимость изменения освещенности от концентрации кофе.
8. Повторить п.4,5,6, 7 3 раза.
9. Повторить пункты 5 – 8 используя в качестве примеси соль.
10. Провести статистическую обработку полученных результатов.
11. Вычислить погрешность измерений.

## **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. Расскажите про оптический метод неразрушающего контроля.
2. Что такое оптический датчик? Каких видов он бывает?
3. Из чего состоит пульсоксиметр? Какой принцип действия

пульсоксиметра?

4. Как работает лазерный дальномер?
5. Как работает датчик дождя?
6. Какие частицы определяют мутность воды?
7. Какие два основных закона, описывают поведение света при переходе из одной среды в другую?
8. Объясните принцип работы оптического датчика освещенности, используемого в лабораторной работе.
9. Для чего нужны регистры в датчике GY-30? Перечислите их.

### **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  $X$ :

$$x_{\text{наил}} = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} \quad (9)$$

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):



$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

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):

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \quad (11)$$

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):

$$\Delta x = t_\alpha \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (12)$$

где  $t_\alpha$  - коэффициент Стьюдента.

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

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{\bar{x}} \% \quad (13)$$

### **Определение разрешающей способности датчика освещенности**

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

Разрешающая способность датчика освещенности определяется по формуле 14:

$$I_a = \frac{I_{max}}{(2^n - 1)}, \quad (14)$$

где  $I_a$  - разрешающая способность датчика,  $I_{max}$  - максимальное значение освещенности, 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 освещенности**

Чувствительность датчика освещенности - это отношение изменения выходного сигнала датчика к изменению освещенности.

Чувствительность датчика освещенности определяется по формуле 15:

$$S = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}, \quad (15)$$

где  $S$  - чувствительность датчика,  $V_2$  и  $V_1$  - выходные значения датчика при двух различных освещенностях  $I_2$  и  $I_1$  соответственно.

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