[Орган управления образованием субъекта Российской Федерации]
[Название колледжа]

Специальность 09.02.07 Информационные системы и программирование

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Индивидуальный проект» (предметные области: физика, информатика)

на тему: «Прототип индикатора углекислого газа для учебной аудитории на платформе Arduino»

Тип проекта: технический (конструкторский)

Продукт проекта: действующий прототип «Светофор CO_2» и инструкция пользователя

Выполнил(а): студент(ка) 1 курса, гр. ____

_____ / И. О. Фамилия

Руководитель: преподаватель

_____ / И. О. Фамилия

[Город] 2026

Пример работы, выполненной в Универ AI · univerai.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....3
1. Углекислый газ в учебном помещении и способы его измерения.....5
1.1 Почему концентрация CO_2 важна для занятий.....5
1.2 Нормативы микроклимата и качества воздуха.....6
1.3 Датчики и платформа для прототипа.....7
2. Разработка и испытание прототипа.....9
2.1 Схема и сборка устройства.....9
2.2 Программа и пороги индикации.....10
2.3 Испытание в аудитории.....12
2.4 Себестоимость и инструкция пользователя.....14
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....17
Приложение А. Листинг программы.....19
Приложение Б. Инструкция пользователя.....21

ВВЕДЕНИЕ

К четвёртой паре в нашей аудитории становится трудно сосредоточиться. Окна закрыты, потому что на улице холодно, двадцать пять человек сидят в комнате площадью около пятидесяти квадратных метров, и к концу занятия хочется спать. Обычно это списывают на усталость. Но у сонливости в душном помещении есть вполне измеримая причина — рост концентрации углекислого газа, который выдыхают люди.

Актуальность. Исследования последних лет показывают, что уже при концентрации CO_2 около 1000 ppm (миллионных долей) у людей снижаются результаты тестов на принятие решений [4; 5]. Санитарные правила требуют проветривать учебные помещения [3], но когда именно открывать окно, преподаватель решает «на ощущение». Готовые приборы для измерения CO_2 продаются, однако в колледже их нет, а собрать простой индикатор можно из недорогих модулей, которые студенты изучают на занятиях по информатике и электронике.

Проблема. В аудиториях нет простого и наглядного способа понять, что воздух пора обновить. Без измерений проветривание проводится нерегулярно и часто запаздывает.

Цель проекта — разработать и испытать действующий прототип индикатора углекислого газа, который измеряет концентрацию CO_2, температуру и влажность воздуха и сигнализирует цветом о необходимости проветривания.

Задачи:

1) изучить, как концентрация CO_2 влияет на самочувствие и работоспособность людей;

2) проанализировать нормативные документы о микроклимате и качестве воздуха в помещениях;

3) выбрать датчики и микроконтроллерную платформу, составить электрическую схему;

4) написать программу и задать пороги цветовой индикации;

5) испытать прототип в учебной аудитории в течение учебного дня и оценить его работу;

6) рассчитать себестоимость устройства и составить инструкцию пользователя.

Объект — воздушная среда учебной аудитории. **Предмет** — изменение концентрации CO_2 во время занятий и способ её наглядной индикации.

Гипотеза: во время пары без проветривания концентрация CO_2 в аудитории с группой студентов превышает 1400 ppm, а проветривание на перемене по сигналу индикатора возвращает её к значениям ниже 1000 ppm.

Методы: анализ литературы и технической документации, проектирование и макетирование, программирование, натурные измерения, сравнение результатов.

Продукт проекта — действующий прототип «Светофор CO_2» на платформе Arduino Uno с инструкцией пользователя (приложение Б). Программа устройства приведена в приложении А.

1. Углекислый газ в учебном помещении и способы его измерения

1.1 Почему концентрация CO_2 важна для занятий

Углекислый газ — естественная составляющая атмосферы. На обсерватории Мауна-Лоа, где ведутся самые длинные непрерывные наблюдения, среднемесячная концентрация CO_2 в сентябре 2025 года составила 424,4 ppm, а в сентябре 2026 года, по предварительным данным, — 426,1 ppm [9]. Это фон, к которому стремится воздух в помещении после хорошего проветривания.

В закрытой комнате главный источник CO_2 — люди. Каждый выдох добавляет в воздух углекислый газ, и если вентиляция не справляется, его концентрация растёт в течение всего занятия. Поэтому CO_2 давно используют как показатель качества вентиляции: сам по себе в таких концентрациях он не ядовит, но высокий уровень означает, что воздух в помещении давно не обновлялся и в нём накопились и другие продукты жизнедеятельности.

Долгое время считалось, что концентрации до нескольких тысяч ppm безвредны для умственной работы. Это представление поставили под сомнение исследования начала 2010-х годов. В эксперименте У. Сатиш и соавторов 22 взрослых участника выполняли компьютерный тест на принятие решений при концентрациях 600, 1000 и 2500 ppm, причём в камеру добавляли чистый CO_2, не меняя остальных параметров воздуха. Уже при 1000 ppm результаты заметно снизились по шести из девяти показателей теста, а при 2500 ppm — по семи из девяти [4].

Группа Дж. Аллена из Гарвардского университета продолжила эту работу в офисных условиях. 24 участника провели шесть полных рабочих дней в контролируемом офисе, не зная, какие условия созданы. В «зелёном» варианте офиса, с низким содержанием летучих органических веществ, результаты когнитивных тестов оказались заметно выше, чем в обычном, а при дополнительно усиленной вентиляции — ещё выше. С результатами

независимо друг от друга были связаны и концентрация CO_2, и содержание летучих органических веществ [5].

Перенести эти результаты на аудиторию напрямую нельзя: другие люди и задания. Но ясно, что 1000 ppm и выше — уже не нейтральный фон для умственной работы.

Оценить скорость роста можно и без прибора. Взрослый человек в покое выдыхает порядка 0,3 л CO_2 в минуту. Группа из 25 человек за 90 минут занятия выделяет около 0,7 м³ углекислого газа. В аудитории объёмом 150 м³ без притока свежего воздуха это прибавило бы к фону несколько тысяч ppm. Реальный рост меньше, потому что воздух всё же поступает через щели и вентиляцию, но порядок величины показывает, почему к концу пары становится душно.

1.2 Нормативы микроклимата и качества воздуха

Требования к воздуху в учебных помещениях задают санитарные правила. СанПиН 1.2.3685-21 устанавливает гигиенические нормативы, в том числе допустимые значения температуры и относительной влажности воздуха в учебных помещениях [2]. Там же задана продолжительность сквозного проветривания учебных помещений на переменах в зависимости от температуры наружного воздуха: например, при +6…+10 °C — 4–10 минут на малых переменах и 25–35 минут на больших [3]. Концентрацию CO_2 в классах эти документы прямо не нормируют.

Количественные ориентиры по CO_2 даёт межгосударственный стандарт ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [1]. Он делит качество воздуха на четыре класса по тому, насколько содержание CO_2 в помещении превышает его содержание в наружном воздухе (таблица 1).

Таблица 1 – Классы качества воздуха по содержанию CO_2 (по ГОСТ 30494-2011)

Класс	Качество воздуха	Превышение над наружным воздухом, ppm	Примерная концентрация при фоне 420 ppm
1	высокое	до 400	до 820
2	среднее	400–600	820–1020
3	допустимое	600–1000	1020–1420
4	низкое	более 1000	более 1420

Источник: составлено автором по [1]; последний столбец рассчитан автором для округлённого фона 420 ppm (по [9] в 2025–2026 гг. — около 424–426 ppm).

Получается, что при фоне около 420 ppm воздух в аудитории остаётся допустимым до концентрации примерно 1400 ppm, а выше начинается низкий класс. Эти значения мы и взяли за основу порогов индикатора: зелёный цвет — классы 1 и 2, жёлтый — класс 3, красный — класс 4. Округлённые пороги — 1000 и 1400 ppm.

Температуру и влажность устройство показывает для справки: зимой воздух при отоплении пересыхает, а проветривание в мороз быстро охлаждает аудиторию. Термометр подскажет, когда окно пора закрыть.

1.3 Датчики и платформа для прототипа

Самые дешёвые «датчики качества воздуха» на рынке модулей измеряют не CO_2, а суммарное содержание летучих органических веществ и пересчитывают его в «эквивалент CO_2» по заложенной формуле. Для нашей задачи такой подход не годится: показания зависят от духов, маркеров и средств для уборки. Нужен датчик, который реагирует именно на углекислый газ.

Таким свойством обладают недисперсионные инфракрасные (NDIR) датчики. Молекулы CO_2 поглощают инфракрасное излучение на длине волны около 4,26 мкм. Внутри датчика есть источник излучения, оптическая камера с воздухом и приёмник с фильтром. Чем больше в камере углекислого газа, тем слабее сигнал на приёмнике. Разные газы поглощают свет на разных длинах волн, поэтому метод избирателен.

Распространённый недорогой NDIR-датчик — MH-Z19B. По данным производителя, он питается от 4,5–5,5 В, обновляет измерение примерно раз в 5 секунд и после включения требует прогрева; аналогового выхода у него нет, показания снимаются в цифровом виде [6]. Датчик умеет сам корректировать нулевую точку, по умолчанию цикл такой самокалибровки — одни сутки [6].

Температуру и влажность измеряет цифровой датчик DHT22 (AM2302). Его диапазон — от −40 до +80 °C с погрешностью ±0,5 °C и от 0 до 100 % относительной влажности с погрешностью около ±2 % [7]. Опрашивать его можно не чаще одного раза в две секунды, но для аудитории этого более чем достаточно.

Управлять датчиками и индикацией будет плата Arduino Uno на микроконтроллере ATmega328P с тактовой частотой 16 МГц [8]. У платы 14 цифровых входов-выходов (6 из них поддерживают ШИМ) и 6 аналоговых входов, она программируется через USB в бесплатной среде Arduino IDE. Плата выбрана не за мощность, а за доступность: она есть в лаборатории колледжа, и студенты уже работали с ней на занятиях. Сравнение вариантов приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение вариантов датчика для прототипа

Тип датчика	**Что измеряет**	**Плюсы**	**Минусы**
MOX-датчик (например, MQ-135)	сумму газов, «эквивалент CO_2»	очень дешёвый	не избирателен к CO_2, долгий прогрев
Датчик летучих органических веществ	летучие вещества, расчётный CO_2	малый размер	показывает не CO_2, а оценку
NDIR-датчик MH-Z19B	CO_2	избирательность, приемлемая точность	дороже, нужен прогрев

Источник: составлено автором по [6]. Выбран NDIR-датчик: он дороже, но только он измеряет именно CO_2.

2. Разработка и испытание прототипа

2.1 Схема и сборка устройства

Структура прототипа показана на рисунке 1. Датчики передают данные в микроконтроллер, программа сравнивает концентрацию CO_2 с порогами и включает нужный цвет светодиода, а на дисплей выводятся все три величины.



Рисунок 1 – Структурная схема прототипа «Светофор CO_2»

Подключение выполнено на макетной плате без пайки. Датчик MH-Z19B получает питание 5 В от платы, его выход TX соединён с цифровым выводом 10 Arduino, а вход RX — с выводом 11 через делитель напряжения из резисторов 1 кОм и 2 кОм, чтобы не подавать на вход датчика пятивольтовый сигнал платы. Датчик DHT22 подключён к выводу 2 с подтягивающим резистором 10 кОм. Дисплей 1602 с переходником I2C занимает только два вывода — A4 (SDA) и A5 (SCL). Общий катод RGB-светодиода соединён с землёй, а три его анода через резисторы 220 Ом — с выводами 5, 6 и 9. Перечень элементов приведён в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень элементов прототипа

Элемент	Назначение	Выводы Arduino
Arduino Uno R3	управление, обработка данных	—
MH-Z19B	измерение CO_2	D10 (приём), D11 (передача)
DHT22 (AM2302)	температура и влажность	D2
ЖК-дисплей 1602 с модулем I2C	вывод показаний	A4, A5
RGB-светодиод с общим катодом	цветовая индикация	D5, D6, D9
Резисторы 220 Ом (3 шт.), 10 кОм, 1 кОм, 2 кОм	ограничение тока, подтяжка, делитель	—
Макетная плата, провода, корпус	монтаж	—

Корпус мы смоделировали в бесплатном редакторе трёхмерной графики и напечатали на 3D-принтере колледжа из пластика PLA. В стенках сделаны прорези для забора воздуха, причём датчик CO_2 вынесен к боковой стенке, подальше от платы и дисплея: электроника немного нагревается, и это искажало бы показания DHT22. Светодиод выведен на верхнюю крышку под матовый рассеиватель, чтобы цвет было видно с последних рядов.

Сборка заняла два занятия. Главная трудность возникла с датчиком CO_2: при первом включении он показывал 500 ppm независимо от того, дышали на него или нет. Оказалось, что выводы RX и TX были перепутаны. После исправления датчик стал отвечать на запросы, но первые минуты выдавал неправдоподобные значения. Производитель предупреждает, что датчику нужен прогрев после включения [6], поэтому в программу добавлена пауза с запасом, на 3 минуты, с надписью «Прогрев» на дисплее.

2.2 Программа и пороги индикации

Программа написана на языке Arduino (C++) в среде Arduino IDE. Полный текст приведён в приложении А. Для датчика DHT22 использована открытая библиотека DHT sensor library компании Adafruit [10], а датчик CO_2 опрашивается напрямую через последовательный порт: программа посылает команду из девяти байт и получает девятибайтный ответ, в котором

концентрация записана двумя байтами, а последний байт служит контрольной суммой.

Алгоритм работы показан на рисунке 2. После прогрева устройство раз в десять секунд опрашивает датчики, сглаживает показания CO_2 средним по трём последним измерениям, выводит результаты на дисплей и выбирает цвет светодиода.

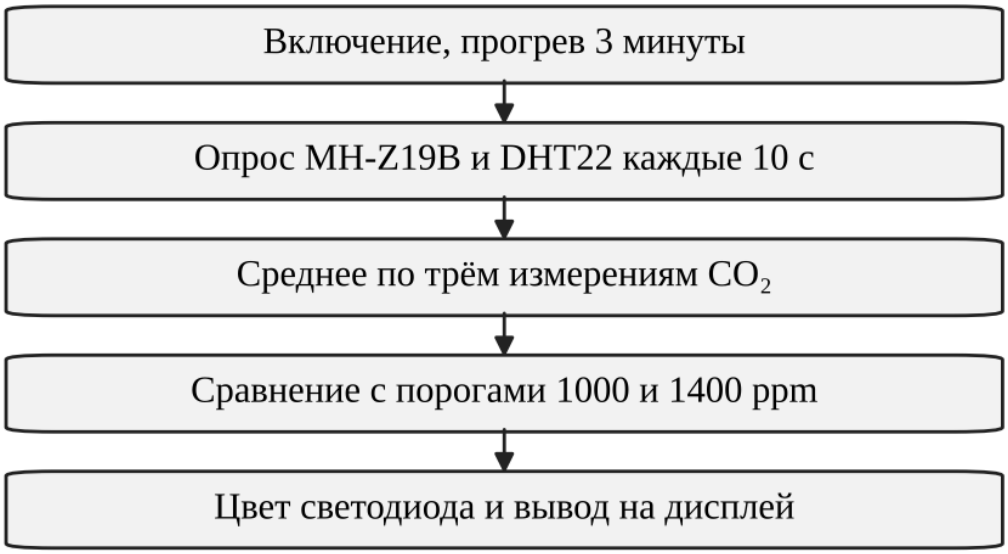


Рисунок 2 – Алгоритм работы программы

Пороги выбраны по классам качества воздуха ГОСТ 30494-2011 (параграф 1.2). Чтобы светодиод не «мигал», когда концентрация колеблется около границы, введён гистерезис 50 ppm: например, с жёлтого на зелёный индикатор переключается только тогда, когда концентрация опустится ниже 950 ppm.

Таблица 4 – Пороги цветовой индикации

Цвет	**Концентрация CO_2, ppm**	**Класс по ГОСТ 30494-2011**	**Что делать**
зелёный	менее 1000	1–2	ничего, воздух хороший
жёлтый	1000–1400	3	проветрить на ближайшей перемене
красный	более 1400	4	открыть окно сейчас

Источник: составлено автором по [1; 9].

Сглаживание пришлось добавить после первых проб. Когда кто-то из студентов проходил рядом с устройством или наклонялся к нему, показания на несколько секунд подскакивали на 200–300 ppm. Среднее по трём измерениям, то есть за полминуты, убрало эти всплески, но оставило устройство достаточно быстрым для аудитории.

2.3 Испытание в аудитории

Прототип испытывали в течение одного учебного дня в аудитории площадью около 50 м² и высотой потолка 3 м. В аудитории занималась группа из 25 студентов, прошло четыре пары. Устройство стояло на шкафу у стены, на высоте около 1,5 м, вдали от окна и двери. Показания каждые десять минут записывали в таблицу. Все результаты в этом параграфе — условные данные для примера.

Перед испытанием проверили нулевую точку. Устройство на 20 минут вынесли на открытый балкон, где оно показало 430 ppm. Это близко к фоновой концентрации [9], и калибровку решили не менять.

На первых двух парах проветривание проводили по обычному расписанию, то есть почти не проводили: окно открывали ненадолго в большой перерыв. На третьей и четвёртой парах окно открывали на каждой перемене, как только индикатор загорался жёлтым. Результаты показаны на рисунке 3.

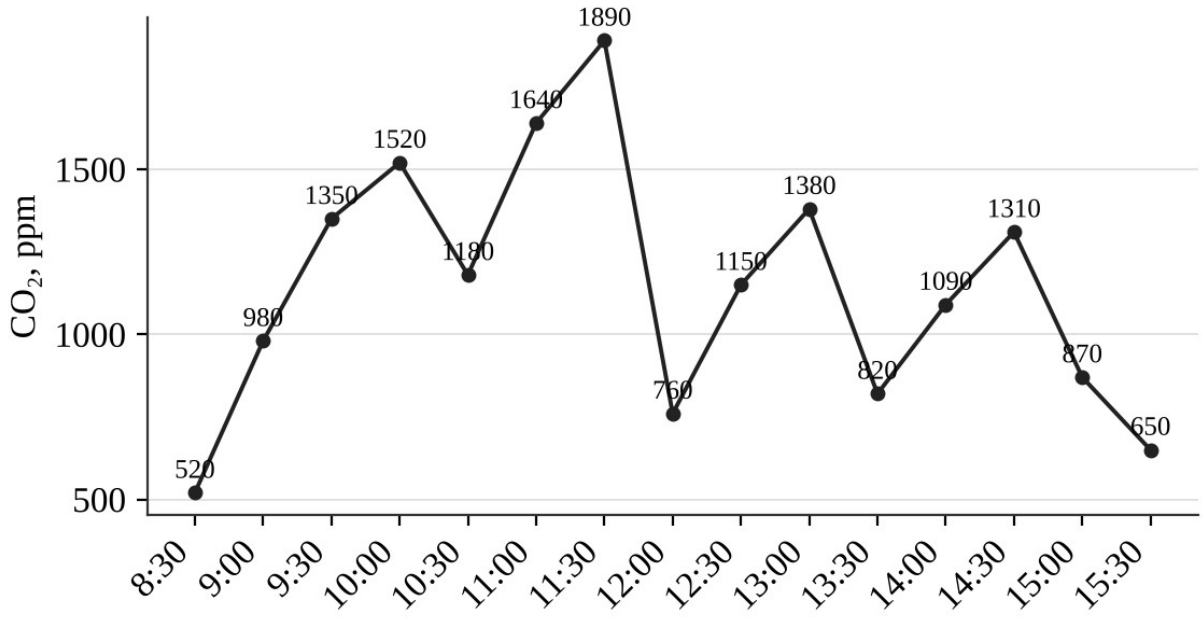


Рисунок 3 – Концентрация CO_2 в аудитории в течение учебного дня

Условные данные для примера.

На первой паре концентрация за полтора часа выросла с 520 до 1520 ppm и перешла в красную зону. Короткое проветривание на перемене снизило её лишь до 1180 ppm, и к концу второй пары она достигла 1890 ppm — максимума за день. После большой перемены с открытым окном концентрация упала до 760 ppm. На третьей и четвёртой парах проветривание по сигналу индикатора не давало ей подняться выше 1400 ppm. Сводные результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытания по парам

Пара	Проветривание	Начало, ppm	Максимум, ppm	Время в красной зоне, мин
1	нет	520	1520	20
2	короткое, на перемене	1180	1890	60
3	по сигналу индикатора	760	1380	0
4	по сигналу индикатора	820	1310	0

Примечание – Условные данные для примера: значения не являются результатами реальных измерений и показывают, как оформляются результаты испытаний прототипа.

Температура в аудитории за день менялась от 20,5 до 23,0 °C, относительная влажность — от 28 до 37 %. Проветривание на перемене

охлаждало воздух на 1,5–2 °C, но за первые 15 минут пары температура восстанавливалась. Низкая влажность объясняется работой отопления: в холодное время года наружный воздух сухой.

Проверка гипотезы. На условных данных гипотеза подтвердилась. Без проветривания концентрация CO_2 за пару превысила 1400 ppm, а проветривание на перемене по сигналу индикатора удерживало её в зелёной и жёлтой зонах и возвращало к началу следующей пары ниже 1000 ppm.

У испытания есть ограничения. Устройство было одно и стояло в одной точке аудитории. Точность MH-Z19B ниже, чем у лабораторных газоанализаторов, и сравнить показания с поверенным прибором мы не смогли. Поэтому прототип годится как индикатор «пора проветрить», но не как измерительный прибор для санитарного контроля.

2.4 Себестоимость и инструкция пользователя

Себестоимость прототипа рассчитана по ценам интернет-магазинов электронных компонентов осенью 2025 года (таблица 6). Цены — условные данные для примера: они меняются от магазина к магазину и приведены для оценки порядка затрат.

Таблица 6 – Себестоимость прототипа

Элемент	Количество	Цена, руб.
Плата Arduino Uno R3 (совместимая)	1	700
Датчик MH-Z19B	1	1600
Датчик DHT22	1	300
Дисплей 1602 с модулем I2C	1	350
RGB-светодиод, резисторы, провода, макетная плата	1 комплект	250
Пластик PLA для корпуса (около 60 г)	—	120
Блок питания 5 В, 1 А, с кабелем USB	1	250
Итого		3570

Примечание – Условные данные для примера: цены ориентировочные.

Получилось около 3,5 тыс. рублей на одно устройство, причём почти половина суммы приходится на датчик CO_2. Если собирать устройства для нескольких аудиторий, можно заменить Arduino Uno на более компактную и дешёвую плату Arduino Nano с тем же микроконтроллером и отказаться от макетной платы в пользу пайки.

Чтобы прототипом мог пользоваться любой преподаватель, мы составили инструкцию пользователя на одной странице (приложение Б). В ней объяснено, где ставить устройство, сколько ждать после включения, что означают цвета и как ухаживать за прибором. Инструкцию прочитали двое преподавателей и отметили, что им не хватало ответа на вопрос «что делать, если индикатор всё время красный». Такой пункт добавлен.

После испытания прототип оставлен в аудитории, где занимается наша группа. Следующий шаг — добавить запись показаний на карту памяти, чтобы видеть изменения за неделю, и собрать второй экземпляр для компьютерного класса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение литературы показало, что концентрация углекислого газа — надёжный показатель того, насколько давно в помещении обновлялся воздух. Эксперименты У. Сатиш и Дж. Аллена указывают на снижение результатов тестов на принятие решений уже при концентрации около 1000 ppm [4; 5]. Санитарные правила требуют проветривать учебные помещения на переменах [3], а ГОСТ 30494-2011 позволяет перевести концентрацию CO_2 в классы качества воздуха [1].

Для прототипа выбран инфракрасный датчик MH-Z19B, датчик температуры и влажности DHT22 и плата Arduino Uno. Разработаны схема подключения, корпус и программа с тремя цветовыми зонами: до 1000 ppm, от 1000 до 1400 ppm и выше 1400 ppm.

Испытание в аудитории на условных данных показало, как прототип помогает управлять проветриванием: без него концентрация к концу второй пары достигла 1890 ppm, а при проветривании по сигналу индикатора не поднималась выше 1400 ppm. Гипотеза подтвердилась. Себестоимость устройства составила около 3,5 тыс. рублей.

Все задачи проекта решены, цель достигнута: создан действующий прототип «Светофор CO_2» с инструкцией пользователя. Устройство не заменяет поверенный измерительный прибор, но даёт преподавателю и студентам простой сигнал о том, что пора открыть окно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : межгосударственный стандарт : издание официальное. – Текст : непосредственный.

2. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» : постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 : [с изменениями и дополнениями]. – Текст : электронный // ГАРАНТ.РУ : информационно-правовой портал. – URL: https://base.garant.ru/400274954/ (дата обращения: 22.10.2026).

3. «Школьные» СанПиН. – Текст : электронный // ГАРАНТ.РУ : информационно-правовой портал. – URL: https://www.garant.ru/article/1479461/ (дата обращения: 22.10.2026).

4. Satish, U. Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance / U. Satish, M. J. Mendell, K. Shekhar [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2012. – Vol. 120, no. 12. – P. 1671–1677. – DOI 10.1289/ehp.1104789.

5. Allen, J. G. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments / J. G. Allen, P. MacNaughton, U. Satish [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2016. – Vol. 124, no. 6. – P. 805–812. – DOI 10.1289/ehp.1510037.

6. What is the difference between MH-Z19B and MH-Z19C? / Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. – URL: https://www.winsen-sensor.com/knowledge/what-is-the-difference-between-mh-z19b-and-mh-z19c.html (дата обращения: 22.10.2026). – Текст : электронный.

7. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module AM2302 / Aosong Electronics Co., Ltd. – URL:

https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf (дата обращения: 20.10.2026). – Текст : электронный.

8. UNO R3 : документация / Arduino. – URL: https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/ (дата обращения: 20.10.2026). – Текст : электронный.

9. Trends in atmospheric carbon dioxide (CO2) / NOAA Global Monitoring Laboratory. – URL: https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/ (дата обращения: 20.10.2026). – Текст : электронный.

10. DHT sensor library : Arduino library for DHT11, DHT22, etc Temperature & Humidity Sensors / Adafruit Industries. – URL: https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library (дата обращения: 22.10.2026). – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ

Программа для Arduino Uno. Используются стандартные библиотеки SoftwareSerial и Wire, библиотека DHT sensor library [10] и библиотека LiquidCrystal_I2C для дисплея с переходником I2C.

```
// Светофор CO2: MH-Z19B (UART), DHT22, LCD1602 I2C, RGB-светодиод
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>

SoftwareSerial co2Serial(10, 11);      // RX, TX
DHT dht(2, DHT22);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
const byte R = 5, G = 6, B = 9;
const int LOW_T = 1000, HIGH_T = 1400, HYST = 50;
byte cmd[9] = {0xFF,0x01,0x86,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x79};
int hist[3];          // три последних измерения CO2
byte k = 0;
byte zone = 0;        // 0 зелёный, 1 жёлтый, 2 красный

int readCO2() {
  byte resp[9];
  co2Serial.write(cmd, 9);
  if (co2Serial.readBytes(resp, 9) != 9) return -1;
  if (resp[0] != 0xFF || resp[1] != 0x86) return -1;
  byte sum = 0;
  for (byte i = 1; i < 8; i++) sum += resp[i];
  if ((byte)(0xFF - sum + 1) != resp[8]) return -1;  // CRC
  return resp[2] * 256 + resp[3];
}

void setColor(byte r, byte g, byte b) {
  analogWrite(R, r); analogWrite(G, g); analogWrite(B, b);
}

void setup() {
  co2Serial.begin(9600); dht.begin();
  lcd.init(); lcd.backlight();
  pinMode(R, OUTPUT); pinMode(G, OUTPUT); pinMode(B, OUTPUT);
  lcd.print("Progrev 3 min");
  setColor(0, 0, 80);
  delay(180000);                     // прогрев датчика
  int first = readCO2();
  for (byte i = 0; i < 3; i++) hist[i] = first > 0 ? first : 400;
  lcd.clear();
}

void loop() {
  int c = readCO2();
  if (c > 0) { hist[k] = c; k = (k + 1) % 3; }
  int avg = (hist[0] + hist[1] + hist[2]) / 3;
  float t = dht.readTemperature(), h = dht.readHumidity();
```

```
  if (zone == 0 && avg > LOW_T) zone = 1;
  else if (zone == 1 && avg > HIGH_T) zone = 2;
  else if (zone == 1 && avg < LOW_T - HYST) zone = 0;
  else if (zone == 2 && avg < HIGH_T - HYST) zone = 1;
  if (zone == 0) setColor(0, 255, 0);
  else if (zone == 1) setColor(255, 120, 0);
  else setColor(255, 0, 0);

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("CO2 "); lcd.print(avg); lcd.print(" ppm   ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(t, 1); lcd.print("C  ");
  lcd.print(h, 0); lcd.print("%   ");
  delay(10000);
}
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

«СВЕТОФОР CO_2». ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Где поставить

На высоте 1–1,5 м, у стены или на шкафу, не ближе 1 м от окна, двери, батареи и мест, где сидят люди. Не закрывайте прорези корпуса.

Как включить

Подключите блок питания к розетке. На дисплее появится надпись «Progrev», светодиод загорится синим. Через 3 минуты устройство начнёт показывать концентрацию CO_2, температуру и влажность.

Что означают цвета

– **зелёный** (менее 1000 ppm) — воздух хороший;

– **жёлтый** (1000–1400 ppm) — проветрите аудиторию на ближайшей перемене;

– **красный** (более 1400 ppm) — откройте окно сейчас.

Если индикатор всё время красный

Проверьте, не стоит ли устройство рядом с людьми. Если после проветривания в течение 10 минут цвет не меняется, сообщите ответственному за прибор: возможно, нужна проверка датчика на открытом воздухе.

Уход

Протирайте корпус сухой салфеткой. Не используйте рядом с устройством аэрозоли. Раз в месяц выносите устройство на 20 минут на открытый воздух: показания должны быть около 400–450 ppm.