

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
Даровских С.Н.

« ____ » _____ 2020 г.

Беспроводной сенсорный узел углекислого газа CO₂
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – Д.11.03.02.2020.434.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы
_____ В.В. Новиков
« ____ » _____ 2020 г.

Автор работы
студент группы КЭ-411
_____ А.А. Куравин
« ____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер
_____ В.Д. Спицына
« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

РЕФЕРАТ

Куравин А.А. Беспроводной сенсорный узел углекислого газа CO₂. - Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-411; 2020, 47 с., библиографический список 23 наименований, 17 рис.

Многочисленные научные работы свидетельствуют о том, что методы контроля уровня концентрации того или иного газа в воздухе постоянно развиваются, внедряются в практику жизнедеятельности. Современные технологические устройства отличаются точностью, стабильностью, надёжностью, компактностью, простотой в использовании. Но и им на смену с течением времени приходят более совершенные устройства.

Многие системы вентиляции, даже самые современные, не совершенны. Зачастую, они работают с нарушением регулирования расхода наружного воздуха. Использование же высокоточных датчиков углекислого газа позволяет вовремя выявить уровень содержания CO₂ в воздухе и соответственно откорректировать эффективность вентиляции.

В данной работе мы разработали устройство, удовлетворяющее техническому заданию. В отличие от стационарных газоанализаторов, разработанное нами устройство имеет небольшие габаритные показатели.

Основное назначение портативного газоанализатора – измерение концентрации углекислого газа в воздухе и обнаружение его опасных концентраций. Внедрение данного устройства позволит выявить проблемы в системе вентиляции организации.

					<i>ЮУрГУ – Д 110302.2020.434.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Куравин А.А.</i>			Беспроводной сенсорный узел углекислого газа CO ₂	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Новиков В.В.</i>					3	47
<i>Н. Контр.</i>		<i>Спицына В.Д.</i>			ЮУрГУ, кафедра ИКТ			
<i>Утверд.</i>		<i>Даровских С.Н.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Анализ технологии беспроводного сенсорного узла углекислого газа CO ₂	7
1.1 Аналоговые методы измерения CO ₂	7
1.2 Цифровые методы измерения CO ₂	9
2 Анализ проблемы контроля концентрации CO ₂	13
2.1 Предельно допустимая концентрация	13
2.2 Медицинское обоснование опасности CO ₂	15
3 Анализ датчиков CO ₂	20
3.1 Датчик TGS4161	20
3.2 Датчик MG811	23
3.3 Датчик MH-Z19	25
3.4 Датчик MQ135	28
4 Проектирование устройства, реализующего измерение концентрации углекислого газа в воздухе	32
4.1 Контроллер Arduino	32
4.2 Выбор сетевого датчика	34
4.2.1 Определение типа сетевого датчика	34
4.2.2 Сетевой модуль ESP8266 ESP-07	36
4.3 Выбор элемента питания	38
4.4 Электрическая схема детектора углекислого газа.....	40
4.5 Корректировка датчика MQ135.....	41
4.6 Требования к установке детекторов углекислого газа.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	46

ВВЕДЕНИЕ

Об угрозе длительного воздействия углекислого газа на человека не говорят каждый день в новостях, в результате чего осведомленность людей в этой области практически равна нулю. Во всем мире только начинают задумываться о всех вероятных результатах действия углекислоты, в то время как некоторыми болезнями, вызванными постоянным поглощением воздуха с высоким содержанием CO₂, люди страдают уже сейчас.

В некотором смысле это можно рассматривать как бездействие природоохранных организаций, которые обязаны участвовать в научно-исследовательской работе в предоставленной области, поскольку любое невыполнение обязательств должно прежде всего иметь подтвержденное обоснование. В некоторых государствах, таких как США или Великобритания, они начали проявлять больший интерес к проблемам воздействия углекислого газа на человека не так давно, тогда как в России исследования проводились только в 1950-х годах. Что не менее важно, результаты, полученные в ходе исследований, показывают все основания рассматривать вопрос об организации контроля содержания углекислого газа как крайне необходимый.

В целях пробуждения интереса общества к задачам экологического развития, сохранения и охраны окружающей среды в Российской Федерации 2017 год был назначен годом экологии. Это значит, что тема на данный момент – одна из наиболее актуальных. Очень важно донести важность этой проблемы, в первую очередь, до руководителей крупных организаций, поскольку значительная часть рабочего времени людей проходит в помещении, и человек зачастую не имеет возможности влиять на повседневную жизнь, складывающуюся в организации. Взрослый человек способен кардинально решить проблему, если он чувствует пагубное влияние окружающего микроклимата на свое здоровье. Ребенок же зачастую остаётся заложником ситуации и вынужден поглощать воздух низкого качества на протяжении всего занятия, испытывая различные дискомфортные ощущения из-за повышенной концентрации CO₂ в помещении.

Сферы применения сенсорных узлов:

- климатические системы и автоматическая вентиляция;
- контроль микроклимата в помещениях, где работают люди, и на производстве, где нарушения технологических процессов недопустимы;
- контроль содержания углекислоты во входящем воздушном потоке;
- проверка текущего уровня и быстрой нормализации нарушенного газообмена.

Игнорировать повышенный уровень CO_2 в помещениях нельзя. Датчики углекислого газа способны своевременно сигнализировать о нарушении микроклимата, а значит, можно запустить вентиляцию или проветрить комнату, чтобы оперативно исправить ситуацию и не допустить дальнейшего ее усугубления.

1 Анализ технологии беспроводного сенсорного узла углекислого газа CO₂

В соответствии с техническим заданием, основной целью выпускной квалификационной работы являются разработка газоанализатора, реализующего анализ концентрации CO₂ в окружающем воздухе. Применение газоанализатора актуально во многих сферах жизнедеятельности общества, особенно в образовательных учреждениях.

Будут составлены 2 схемы: схема подключения датчика и схема его габаритных размеров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить соответствующие задачи:

- изучить методы построения газоанализирующих датчиков;
- разработать устройство газоанализатора.

Разработка будет проводиться с использованием необходимой литературы и справочных данных.

1.1 Аналоговые методы измерения CO₂

Контроль уровня CO₂ необходим во всех областях, где этот газ существует в составе. Углекислый газ присутствует не только в помещениях и атмосфере, но и в воде, а также частично в почве. В зависимости от этого способы определения содержания CO₂ различаются по типу, ввиду их многообразия и объемности. Рассмотрим методы, относящиеся к определению уровня углекислоты в воздухе помещений.

Методические пособия для специалистов в области гигиены рекомендуют метод определения углекислого газа посредством отбора проб воздуха для анализа. Пробы воздуха в помещении отбирают в различные емкости: газовые пипетки, откалиброванные бутылки, резиновые камеры или мешки. Образцы взятого воздуха подвергаются химическому анализу. В зависимости от выбранного метода используются твердые сорбенты в качестве поглотительных

сред для паров и газов: активированный уголь, графит. Для анализа образцы могут быть взяты один раз, чтобы обнаружить самую высокую концентрацию, а также в течение суток непрерывно. Продолжительность отбора составляет не более 20 минут, в зависимости от метода анализа и содержания примесей в воздухе. Отбор проб следует проводить на расстоянии 1,5 метра от пола, на уровне дыхания зрелого человека. По причине того, что отбор может осуществляться при разных температурах, необходимо довести состояние воздуха до нормальных условий, и только 20°C и давление 760 мм рт.ст.

Дальнейшая проверка проб воздуха, собранных в здании, может быть проведена различными способами. Более точным является метод Субботина-Нагорского, принцип которого заключается в том, что титрованным раствором едкого бария ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) поглощается углекислый газ из определенного объема воздуха. По разности титров раствора бария до и после поглощения углекислого газа определяют его количество во взятом для исследования объеме воздуха. Этот метод считается наиболее точным, но он громоздок.

По причине громоздкости данного метода на практике, в основном, применяется экспресс-метод Лунге-Цеккендорфа, принцип которого заключается в пропускании исследуемого объема воздуха через титрованный раствор Na_2CO_3 в присутствии кислотно-основного индикатора фенолфталеина. Раствор фенолфталеина, который имеет розовую окраску в щелочной среде, после связывания CO_2 обесцвечивается (кислая среда).

Не углубляясь в суть вышеописанных методов, приходим к выводу, что аналоговые методы определения содержания CO_2 крайне не удобны и могут быть использованы лишь для разового измерения концентрации этого газа. А мониторинг помещения должен проводиться с интервалом в 10 минут, что практически невозможно при использовании этих методов.

1.2 Цифровые методы измерения CO₂

Проблема, заключающаяся в сложности определения концентрации CO₂ с использованием аналоговых методов, была известна уже давно, и это привело к разработке цифровых устройств – газоанализаторов.

Газоанализатор – это устройство, предназначенное для анализа газовой среды, определения состава газовой смеси и измерения количества и концентрации в ней необходимого компонента.

Принцип работы газоанализатора основан на поглощении в определенной последовательности специальными реагентами составляющих веществ газовой смеси. В случае, когда концентрация измеряемого вещества выше установленной, газоанализатор оповещает об этом специальным звуковым сигналом.

Базовые компоненты, входящие в состав газоанализатора любого типа, это – корпус, защищающий все элементы устройства, аккумулятор и датчик газоанализатора (преобразователь исследуемого компонента газовой смеси в электрический сигнал).

Одна из обширных классификаций газоанализаторов – это разделение их на автоматические и ручные.

Ручные газоанализаторы газа – это переносные приборы, для работы которых необходимы действия специалиста по забору проб для анализа. Поэтому полученные результаты можно получить только через несколько минут. Ручные газоанализаторы могут использоваться как для контрольных или лабораторных исследований, так и для проверки газоанализаторов автоматического типа.

Автоматические устройства находятся в постоянном действии, то есть непрерывно измеряют необходимые характеристики нужного вещества

Существует 3 типа автоматических газоанализаторов:

1. Химические (объемно-манометрические). Такие устройства определяют характеристики газовой смеси с помощью химических реакций ее компонентов. Действие прибора основано на поглощении компонента или всей газовой смеси специальным веществом, которое вступит с ним в химическую реакцию. Такой

прибор позволяет анализировать широкий круг газовых компонентов с помощью подбора необходимых поглотителей, а также измерять многокомпонентные газовые смеси.

2. Газоанализаторы, действие которых основано на физических методах анализа с физико-химическими процессами, а именно:

2.1. Термохимические газоанализаторы. Они определяют энергию выделяемого тепла при текущей в смеси газов химической реакции. Такие устройства используют для определения концентраций горючих газов.

2.2. Электрохимические газоанализаторы. В основу работы этих приборов входит выделение определенного реагента, который вступает в реакцию с нужным компонентом газовой смеси, т.е. аппараты измеряют концентрацию газа в смеси по значению электропроводимости поглотившего газ специального раствора. Такого рода приборы могут применяться для измерения токсичных газов в любых помещениях, в том числе во взрывоопасных зонах.

2.3. Фотоионизационные газоанализаторы. Их работа заключается в измерении силы тока, который вызывается ионизацией молекул газов и паров фотонами, излучаемыми источником вакуумного ультрафиолетового излучения.

2.4. Фотоколориметрические газоанализаторы используют в своей работе оптическую систему. Принцип действия этих устройств сводится к изменению цвета определенных веществ при их взаимодействии с изучаемым компонентом газовой смеси. Эти устройства используются для определения токсичных примесей в газовых смесях.

2.5. Хроматографические газоанализаторы. Принцип их действия основан на индикации количественного и качественного состава разделенной смеси газов. Используются они для измерения состава газовой смеси, твердых тел, жидкостей.

3. Физические газоанализаторы, основанные на физических методах анализа. В их числе:

3.1. Термокондуктометрические газоанализаторы. В основе их работы лежит измерение теплопроводности газов – при изменении состава газовой смеси

изменяется теплопроводность, а как следствие – сопротивление в терморезисторах. Данные полученные на выходе, позволяют определить состав конкретных компонентов газовой смеси. Термокондуктометрические газоанализаторы аппараты позволяют измерять газовые смеси, состоящие из нескольких компонентов.

3.2. Денсиметрические газоанализаторы основаны на измерении плотности газовой смеси. Аппараты используются главным образом для измерения содержания углекислоты, плотность которой значительно превышает плотность воздуха.

3.3. Магнитные газоанализаторы используются, в основном, для определения концентрации кислорода, так как этот компонент обладает сильной магнитной восприимчивостью. Устройства позволяют выборочно определять наличие кислорода в сложных газовых смесях.

3.4. Оптические газоанализаторы улавливают изменения оптических свойств газовой смеси – определенный газ поглощает излучение с определенной длиной волны. Оптические газоанализаторы разделяют на ультрафиолетовые, инфракрасные, спектрофотометрические, интерферометрические.

Измерения разных газов осуществляется различными методами, каждый прибор предназначен для измерений конкретного типа, следовательно, создать универсальный газоанализатор очень сложно.

По своему назначению газоанализаторы классифицируются на следующие группы: устройства для контроля технологических процессов и промышленных выбросов, измерения и анализ в процессе очистки воды, контроль в рудничной атмосфере, анализ выбросов двигателя, газоанализаторы систем обеспечения безопасности и охраны труда и пр.

По функциональным возможностям приборы анализа газа можно разделить на индикаторы, сигнализаторы, течеискатели, газоанализаторы. Индикаторы и течеискатели работают по принципу точечного оповещения с помощью линии индикаторов. Сигнализаторы оповещают звуковыми или оптическими

индикаторами о достижении исследуемого компонента заданного порога, при этом порогов может быть несколько. Газоанализаторы способны не только количественно оценивать исследуемый компонент с помощью индикаторов, но и имеют вспомогательные выходные сигналы.

2 Анализ проблемы контроля концентрации CO₂

Углекислый газ - естественный компонент окружающего воздуха, содержащийся в нём в концентрации примерно 400 ppm. Углекислый газ присутствует в окружающем нас воздухе всегда и не является чем-то вредным до тех пор, пока его концентрация находится в безопасных пределах. CO₂ в основном встречается в виде газа, но также существует и в твёрдом виде (сухой лёд). Углекислота входит в состав родниковой воды, выделяется при вырубке деревьев, при гниении и горении органических веществ, при дыхании живых существ. Этот газ также называют «парниковым газом», так как он поглощает тепло в атмосфере и часть его посылает обратно к поверхности земли, тем самым способствуя глобальному потеплению. Единицей измерения содержания CO₂ принято использовать величину ppm (от англ. parts per million, «частиц на миллион»), 1000 ppm = 0,1%. В России существует предельно допустимая концентрация (ПДК) углекислого газа в помещениях в ГОСТ 30494. Стандарт устанавливает допустимый уровень углекислого газа (CO₂) в помещениях от 1000 до 1400 ppm. Оптимальный уровень находится в диапазоне от 400 до 800 ppm.

Все источники CO₂ повышают общий уровень углекислоты на планете. Это оказывает серьёзное влияние на изменение климата, а также сказывается на самочувствии людей.

Влияние углекислого газа на человеческий организм недооценено. Не так давно люди стали всерьёз задумываться о причинах снижения уровня жизненной активности у городских жителей, особенно в мегаполисах, повышенной утомляемости, учащающихся головных болей. И углекислый газ является одной из главных причин подобного рода.

2.1 Предельно допустимая концентрация

Средняя концентрация углекислого газа, содержащегося в чистом воздухе – 0,04%. Однако в местах, заселённых людьми, такая цифра практически не

встречается. В городском воздухе содержание CO_2 составляет приблизительно 0,06-0,08%, и этот воздух через вентиляцию попадает в дома и рабочие помещения. Даже хорошая вентиляционная система не способна обеспечить нужную концентрацию CO_2 . Редким исключением является тот случай, когда человек проживает и работает в экологически чистом месте.

Углекислый газ производится клетками организма в количестве до 700г в день и распространяется по капиллярам. Передаётся он через кровь в растворённом виде или в составе белков (таких как гемоглобин). Основная часть CO_2 растворяется, при этом незначительная его часть преобразуется в слабую угольную кислоту под действием карбоангидразы эритроцитов. Слабая угольная кислота, в свою очередь, в водной среде распадается на ионы H^+ и HCO_3^- . Выделение углекислого газа происходит в лёгких через альвеолярную мембрану.

Основная функция CO_2 в организме заключается в регуляции дыхания через рецепторы аорты и продолговатого мозга, стимулирующего центр дыхания в стволовой части головного мозга.

Как было сказано выше, CO_2 производится человеком при выдохе. В спокойном состоянии человек поглощает в среднем 20-30 литров кислорода, выделяя при этом 18-25 литров углекислого газа. Таким образом, воздух, который выдыхает человек, содержит углекислоты примерно в 100 раз больше, чем он имеется в чистом воздухе атмосферы.

Было проведено большое исследование по выявлению максимально допустимой концентрации CO_2 в помещениях [1]. Результатами данного исследования пользуются многие экологи, пытающиеся объяснить людям опасность повышенного содержания углекислоты. Основным выводом является то, что в жилых и общественных помещениях значение концентрации CO_2 не должно превышать 1000ppm, а средняя суточная концентрация должна быть ниже 500ppm. Превышение этого уровня приводит к увеличению количества жалоб на качество воздуха, а также проявляются первые признаки гипоксии [2].

2.2 Медицинское обоснование опасности CO₂

Содержание CO₂ принято считать основным параметром антропогенного загрязнения воздуха, так как рост концентрации CO₂ в помещении напрямую связан с повышением интенсивности запахов, производимых продуктами человеческого обмена веществ. То есть, содержание CO₂ в помещении является показателем интенсивности его использования человеком.

Многие негативные ощущения, испытываемые человеком, являются следствием потребления воздуха плохого качества с высокой концентрацией CO₂. К симптомам нехватки свежего воздуха относятся апатия, снижение сосредоточенности и усидчивости, нарушение качества сна (и, как следствие, усталость с утра).

Еще 150 лет назад немецкий химик Макс фон Петтенкофер уже указывал «плохой воздух» как негативный фактор длительного пребывания в жилых помещениях и образовательных учреждениях, и выделил CO₂ как важнейший компонент оценки качества воздуха.

О том, что нормы CO₂ в помещении (ppm) действительно влияют на самочувствие людей, свидетельствуют многочисленные исследования, проводившиеся в странах Азии и Европы. Среди них:

– Индийские ученые из Калькутты определили, что CO₂ – опасный токсин, в повышенной концентрации приводящий к биохимическим изменениям вплоть до клеточных мембран, а также провоцирующий ацидоз. Исследовали около 600 человек из промышленных районов и пригорода, и выяснили, что у тех, кто живет в загазованной атмосфере, в среднем на 60% выше уровень бикарбоната в сыворотке крови.

– Ученые Робертсон из Великобритании рассчитал, что неблагоприятные изменения в человеческом организме начинаются уже при содержании CO₂ в пределах 426 ppm. Более существенные превышения провоцируют кратковременное перевозбуждение, непрекращающееся беспокойство и снижение желания проявлять физическую активность.

– Группа ученых из Финляндии во главе с Olli Seppanen задействовали в своем эксперименте более 30 тысяч человек и обнаружили, что в тех учреждениях, где концентрация углекислого газа не превышает 800ppm, люди работают с большей концентрацией внимания, реже жалуются на головную боль и меньше болеют респираторными инфекциями.

– В Италии ученые (члены Европейской комиссией DG SANCO в рамках программы «Health Effects of School Environment»), исследовали влияние CO₂ на детей (эксперимент проводился в 2006 году) и выявили, что при превышении уровня в 1000ppm у детей в 2 раза выше риск появления ринита, а сухой кашель возникает в 3,5 раза чаще. Дети, которые долго находятся в загазованных помещениях, имеют более уязвимую носоглотку.

– Корейские специалисты исследовали связь между астмой и концентрацией углекислого газа в квартирах, где живут больные дети. Выяснилось, что содержание CO₂ напрямую влияет на количество приступов.

– Аудиторская группа «KPMG» (Нидерланды) и ученые из Мидлсекского университетом (Великобритания) и провели эксперимент среди добровольцев – сотрудников офиса. Они доказали, что при превышении уровня в 800ppm внимательность снижалась на 30%, на уровне 1000ppm у людей начинались головные боли, Когда уровень достиг 1500ppm, то у большинства (80%) появилась усталость, а при 2000ppm 60% работников не смогли сосредоточиться на своих обычных действиях.

Все эти исследования так или иначе подтверждают: духота, головокружения, падение работоспособности и прочие симптомы общих недомоганий возникают не от недостатка O₂, а от избытка CO₂.

С медицинской точки зрения основное воздействие углекислый газ оказывает на центральную нервную систему. При концентрации, близкой к 20000 ppm, происходит ухудшение условно-рефлекторной деятельности, снижение вентиляционной функции легких, нарушение гомеостаза. А при концентрации около 50000 ppm угнетается электрическая активность мозга [3].

Основной причиной всех болезней органов является нарушение процессов метаболизма. Нарушается газообмен между организмом и окружающей средой. Это процесс состоит из трех этапов [23]:

- вентиляция – это поступление воздуха по воздухоносным путям в альвеолы во время вдоха и его удаление во время выдоха;
- диффузия или проникновение кислорода и углекислого газа через альвеолярно-капиллярную мембрану из альвеол в легочные капилляры и обратно;
- перфузия – доставка крови, обогащенной кислородом, по легочным артериям, распределение ее по капиллярам и удаление из них крови, богатой углекислым газом, в обратном направлении по легочным венам.

Из вышеприведенного следует, что в выдыхаемом воздухе проявляется результат изменений в любом из звеньев, что в той или иной степени способствует нарушению защитных механизмов иммунной системы.

При поглощении организмом воздуха с повышенной концентрацией CO_2 растет парциальное давление двуокиси углерода в легких и его растворимость в крови, из-за чего образуется слабая угольная кислота ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$), распадающаяся в конечном итоге на H^+ и HCO_2^- . Происходит закисление крови – газовый ацидоз. Чем выше концентрация углекислого газа во вдыхаемом воздухе, тем быстрее происходит уменьшение рН в крови.

Кислотно-щелочное равновесие является важным параметром, который поддерживается в крови человека в определенных пределах. Это необходимо для нормального функционирования различных систем организма, протекания биохимических реакций, оптимального функционирования ферментов.

При ацидозе могут быть следующие симптомы:

- тошнота, рвота;
- учащение частоты дыхания;
- головная боль;
- падение артериального давления;
- нарушения ритма сердца.

Ацидоз, в свою очередь, может привести организм к критическому состоянию. Некоторые возможные последствия:

- повышение свертываемости крови;
- инфаркт миокарда;
- нарушение функции мозга;
- кома;
- летальный исход.

В таблице 1 представлены последствия повышенного содержания CO₂ в помещении на человека[4].

Таблица 1 - Влияние повышенного содержания углекислого газа в помещении на организм человека.

Время влияния углекислого газа на организм человека	Результат влияния углекислого газа на организм человека (симптомы заболеваний и заболевания)
Кратковременное воздействие (несколько часов)	<ul style="list-style-type: none"> • Ощущение нехватки воздуха • Головная боль, головокружение • Усталость • Плохая концентрация внимания • Апатия • Ощущение жара • Раздражение глаз, носоглотки • Плохой сон
Длительное воздействие (регулярно, от нескольких часов до нескольких лет)	<p>Воздействие на носоглотку и дыхательную систему:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ринит • Обострение аллергии • Сухой кашель • Приступы астмы • Сухость слизистых оболочек

Продолжение таблицы 1

Время влияния углекислого газа на организм человека	Результат влияния углекислого газа на организм человека (симптомы заболеваний и заболевания)
	<p>Метаболический ацидоз. Возможные последствия:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Заболевания крови • Диабет • Заболевания сердечно-сосудистой системы • Увеличение массы тела • Хрупкость костей
	<p>Нарушения сна:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Бессонница • Отсутствие ощущения бодрости • Усиление храпа <p>Ухудшение репродуктивной функции человека.</p> <p>Негативные изменения в ДНК.</p>

3 Анализ датчиков CO₂

3.1 Датчик TGS4161

TGS4161 – датчик для определения концентрации углекислого газа от производителя FIGARO (рисунок 1). Используется в системах контроля качества воздуха.

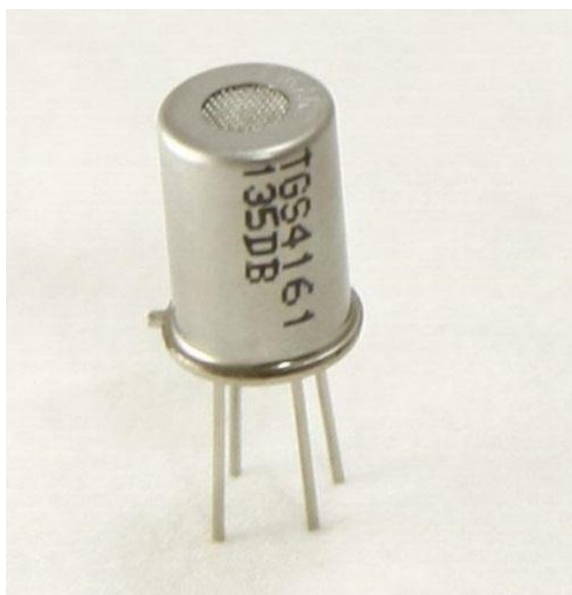


Рисунок 1 - Датчик TGS4161

Твердотельный электролитический датчик TGS4161 может определять концентрацию диоксида углерода в диапазоне от 350 ppm до 10000 ppm.

Элемент, чувствительный к CO₂, состоит из твердого электролита, находящегося между двумя электродами, и подложки печатного нагревателя из оксида рутения RuO₂. В соответствии с изменением электродвижущей силы, генерируемой между электродами, можно определить концентрацию CO₂ в воздухе. Для того, чтобы минимизировать влияние интерференционных газов, в верхней части крышки датчика содержится адсорбент – цеолит.

Датчик показывает линейную зависимость между изменением электродвижущей силы и концентрацией CO₂ в логарифмической шкале.

Ниже представлены график зависимости от влажности (рисунок 2) и график чувствительности (рисунок 3).

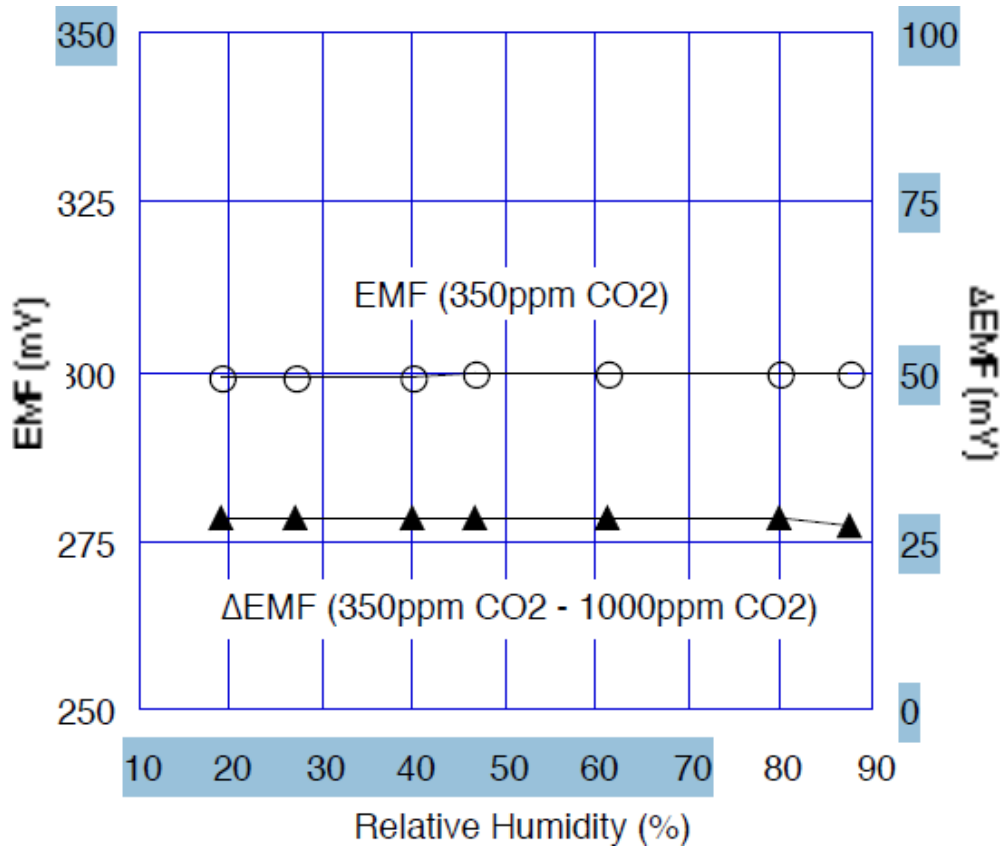


Рисунок 2 - Зависимость от влажности

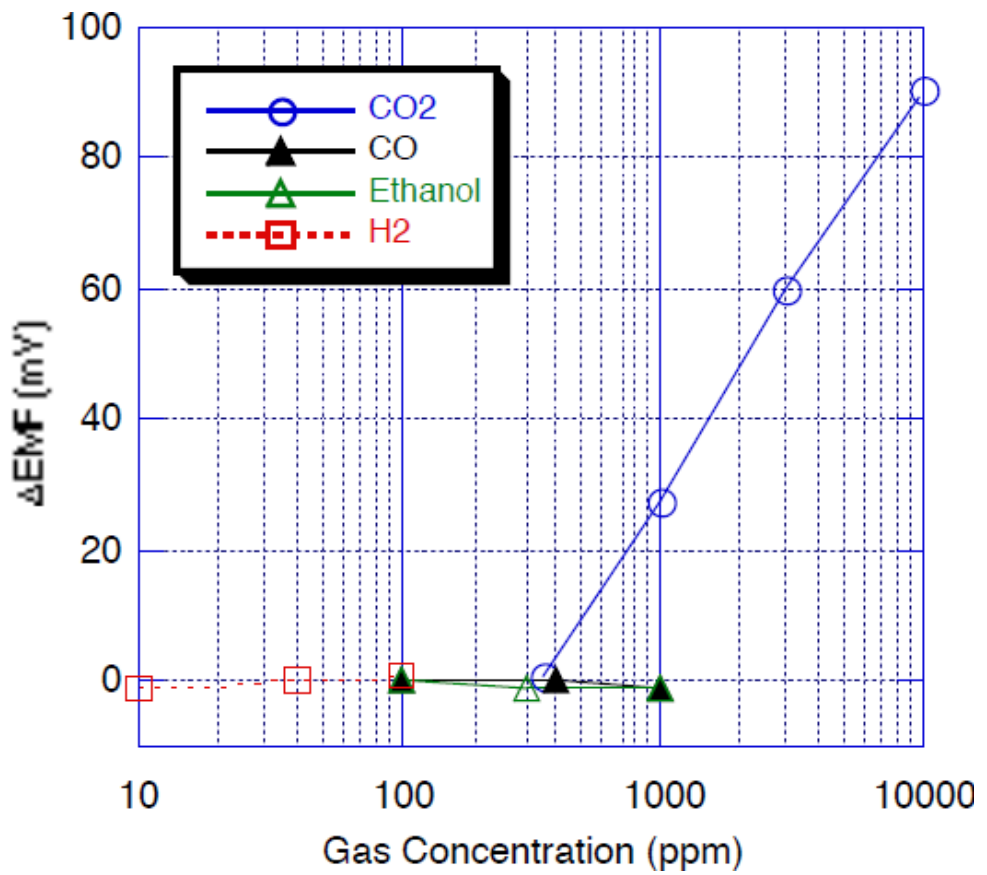


Рисунок 3 - График чувствительности

В таблице 2 приведены технические характеристики датчика [19].

Таблица 2 - Технические характеристики TGS4161

Датчик TGS4161			
Тип чувствительного элемента		Твердый электролит	
Детектируемые газы		Диоксид углерода	
Типичный диапазон обнаружения		350 ~ 10000 ppm	
Электрические характеристики	Сопротивление	R _H	70 ± 7 Ом при комнатной температуре
	Ток нагревателя	I _H	Приблизительно 50 мА
	Потребляемая мощность нагревателя	P _H	Приблизительно 250 мВт
	Электродвижущая сила	ЭДС	220~490 мВ (350 ppm CO ₂)
	Чувствительность	ΔЭДС	44~72 мВ
	Напряжение нагревателя	U _H	5.0 ± 0.2 В (DC)
Характеристики датчика	Время отклика	Приблизительно 1,5 минуты	
	Точность измерения	Приблизительно ±20% от 1000ppm CO ₂	
Условия эксплуатации		-10~50°C, 5~95%	
Условия хранения		-20~60°C, 5~90%	
Стандартные условия испытаний	Состояние испытательного газа	CO ₂ в воздухе при 20±2°C, 65±5% влажности	
	Состояние цепи	U _H = 5.0±0.05V DC	
	Период кондиционирования перед тестом	12 часов или дольше	

Стоимость датчика TGS4161 составляет 30\$.

Достоинства:

- низкое потребление энергии;
- высокая избирательность по CO₂;
- долгий срок службы.

Недостатки:

- высокая стоимость;
- зависимость показаний от влажности.

3.2 Датчик MG811

MG811 – датчик определения концентрации CO_2 в воздухе от производителя Hanwei (рисунок 4). Имеет высокую чувствительность к углекислому газу и умеренно чувствителен к этанолу и угарному газу.

Данный сенсор может применяться для определения концентрации CO_2 в воздухе, контроля процесса ферментации, мониторинга качества воздуха в помещении.



Рисунок 4 – Датчик MG811

Принцип работы этого датчика состоит в том, что он возвращает аналоговое напряжение, которое падает при повышении концентрации CO_2 . Для получения стабильных и точных результатов датчик должен быть прогрет. Для этого в его составе присутствует нагревательный элемент, требующий отдельного питания 5В. Прогрев датчика рекомендуется проводить в течение нескольких часов перед использованием. Так как в связи с работой нагревателя датчик потребляет большое количество тока, требуется подключение внешнего источника питания. MG811 также имеет потенциометр, который можно отрегулировать до нужного порогового значения. При достижении этого порога на датчике загорается светодиод. Газосенсор имеет 3 выхода: аналоговый, цифровой выход TTL, выход температурной компенсации.

Структура MG811 показана на рисунке 5.

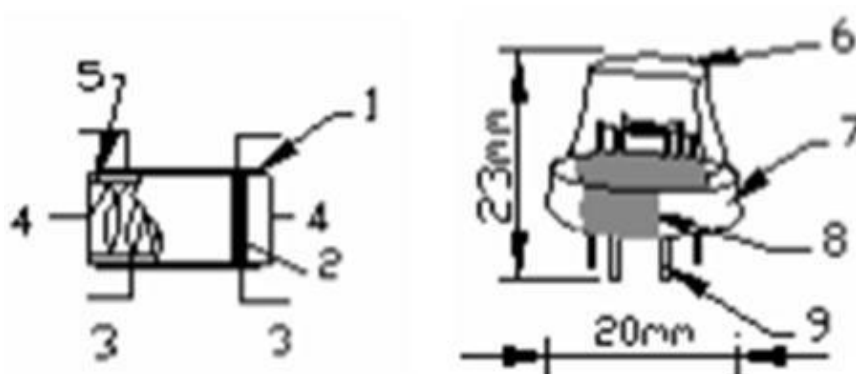


Рисунок 5 - Структура сенсора MG811

На рисунке 5 – 1 – слой твёрдого электролита, 2 - золотые электроды, 3 - платиновый слой, 4 – нагреватель, 5 - фарфоровая трубка, 6 - 100м двухслойная сетка из нержавеющей стали, 7 - кольцо, покрытое никелем и медью, 8 – бакелит, 9 - никелированный штифт.

На рисунке 6 показана кривая чувствительности датчика.

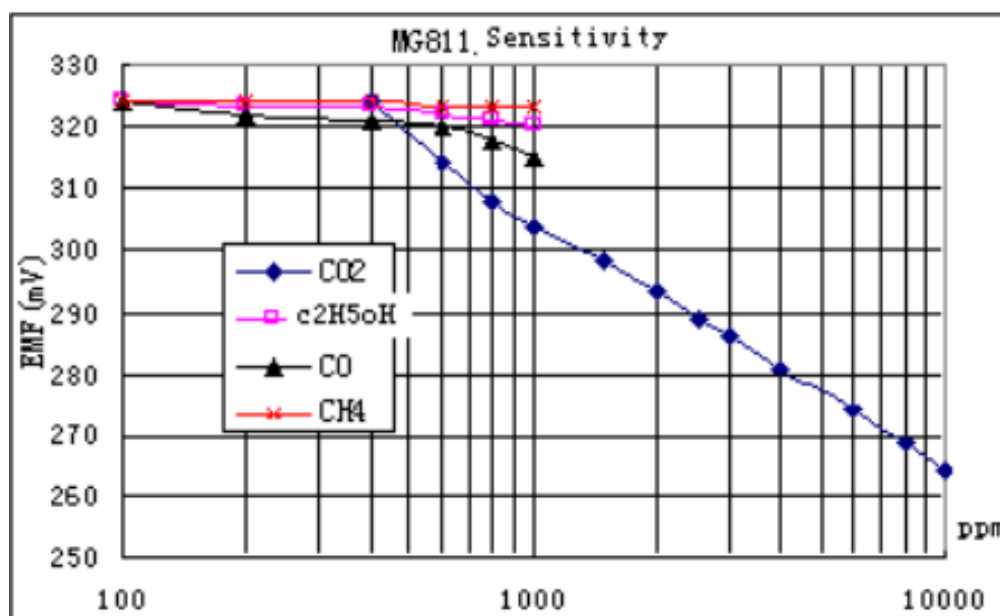


Рисунок 6 - Кривая чувствительности MG811

Ниже изображены зависимости датчика от температуры (рисунок 7) и влажности воздуха (рисунок 8) [20].

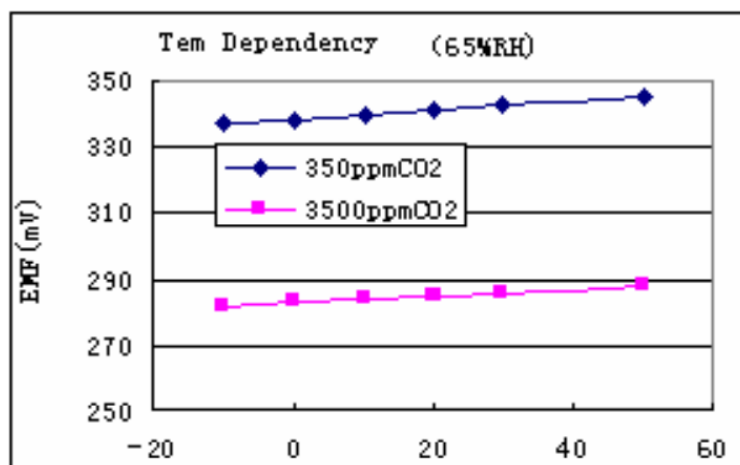


Рисунок 7 - Зависимость MG811 от температуры

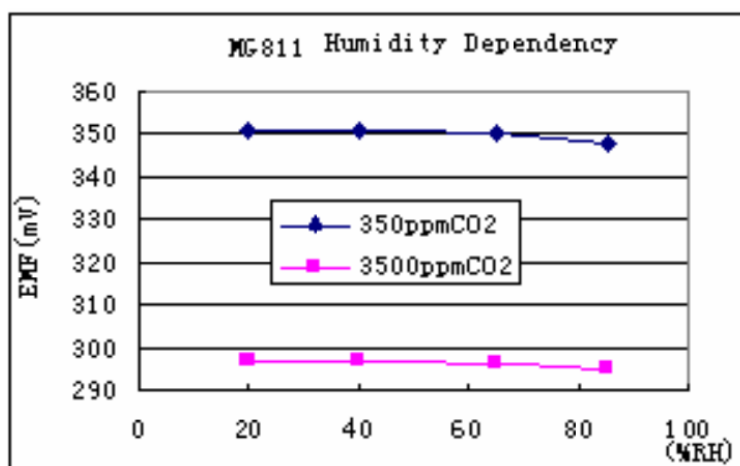


Рисунок 8 - Зависимость MG811 от влажности

Рыночная стоимость датчика MG811 составляет 20-25\$.

Достоинства:

- Высокая чувствительность и селективность по отношению к CO₂;
- Низкая зависимость от влажности и температуры.

Недостатки:

- Необходимость длительного прогрева перед использованием;
- Высокая стоимость.

3.3 Датчик MH-Z19

MH-Z19 – инфракрасный датчик CO₂ от китайского производителя Winsen Electronics (рисунок 9). Для определения концентрации газа используется недисперсионный инфракрасный метод (NDIR).

Области применения датчика:

- системы контроля качества воздуха в помещениях;
- холодильные системы HVAC;
- мониторинг уровня CO₂ в теплицах и шахтах;
- анализ выбросов в окружающую среду.



Рисунок 9 - Датчик MN-Z19

Принцип работы этого сенсора основан на поглощении ИК-излучения газом. Инфракрасным детектором с определённой чувствительностью измеряется интенсивность инфракрасного излучения до и после поглощения газом. Процесс поглощения ИК-излучения не зависит от кислорода и не требует использования химических веществ, а так же достаточно устойчив к различного рода помехам.

В состав MN-Z19 также входит температурный датчик, позволяющий компенсировать температурную зависимость.

В таблице 3 приведены технические характеристики этого датчика.

Таблица 3 - Технические характеристики MN-Z19

Характеристики	Значение
Рабочее напряжение	3.6 ~ 5.5VDC
Средний ток	< 18 мА
Уровень интерфейса	3,3 В

Продолжение таблицы 3

Характеристики	Значение
Диапазон измерений	0 ~ 0,5% VOL
Входной сигнал	UART
	PWM
Время разогрева	3 мин
Время отклика	$T_{90} < 1$ мин
Рабочая температура	0 ~ 50°C
Рабочая влажность	0 ~ 95% относительной влажности
Вес	21 г
Срок службы	> 5 лет
Габариты	33 × 20 × 9 мм (Д × Ш × В)

Для выхода в рабочий режим датчику требуется 3 минуты на разогрев. Измерения концентрации CO₂ происходят с задержкой около минуты. Когда концентрация газа приближается к верхней границе (5000 ppm), снижается точность, возможно получение ложно заниженных значений. Также, для стабильной работы датчика производитель не рекомендует использовать его в условиях запыленности. Из-за данной особенности сенсора ограничивается его использование в некоторых сферах[21].

Рыночная стоимость датчика варьируется от 30 до 40\$.

Достоинства:

- подходит для непрерывной работы с компьютером;
- возможность температурной компенсации;
- высокая точность и чувствительность;
- высокая избирательность;
- надежность.

Недостатки:

- отсутствие самокалибровки;
- высокая стоимость.

3.4 Датчик MQ135

MQ135 – газовый сенсор от производителя Waveshare Electronics (рисунок 10). Позволяет обнаруживать различные газы (аммиак, углекислый газ, азот, кислород, спирт), а также пыль и дым.

Используется в приборах для измерения качества воздуха в зданиях и офисах.

Применение газового датчика MQ135:

- обнаружение вредных газов;
- мониторинг качества воздуха;
- обнаружение загрязнения воздуха в помещениях;
- обнаружение промышленных загрязнений;
- портативное обнаружение загрязнения воздуха.



Рисунок 10 - Датчик MQ135

Основным элементом газовых сенсоров данной серии является небольшой нагревательный элемент. За счет электрохимического датчика, который находится внутри главного элемента, происходит химическая реакция, и из её результатов получают данные о концентрации того или иного газа. Рабочее напряжение этого датчика составляет 5В. Следует отметить, что из-за нагревательного элемента датчик потребляет достаточно большой ток, поэтому необходимо, чтобы блок питания обеспечивал 200 мА. Рекомендуется использовать внешний

источник питания. У датчика имеются аналоговый и цифровой выходы.

Для получения наиболее точных и стабильных результатов следует прогреть датчик, оставив его включенным на сутки. Так же, опираясь на технические характеристики датчика, перед снятием показателей необходим прогрев прибора около одной минуты.

Структура газового датчика MQ135 изображена на рисунке 11.

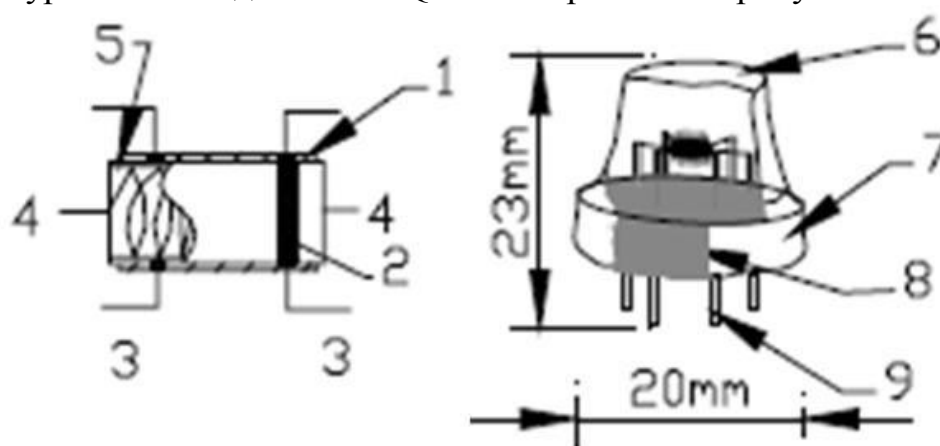


Рисунок 11– Структура MQ135

На рисунке 11 – 1 – газочувствительный слой, 2 – золотой электрод, 3 – платиновая электродная линия, 4– нагревательная обмотка из сплава никель-хрома, 5 – керамическая трубка, 6 – сеть антивзрыва, 7 - зажимное кольцо, 8 – бакелитовое основание, 9 – никелевые контакты с медным покрытием.

При использовании данного датчика обязательно производить регулировку чувствительности. Величина сопротивления MQ135 изменяется в зависимости от видов и концентраций газов.

На рисунке 12 приведены характеристики чувствительности MQ135 для нескольких газов.

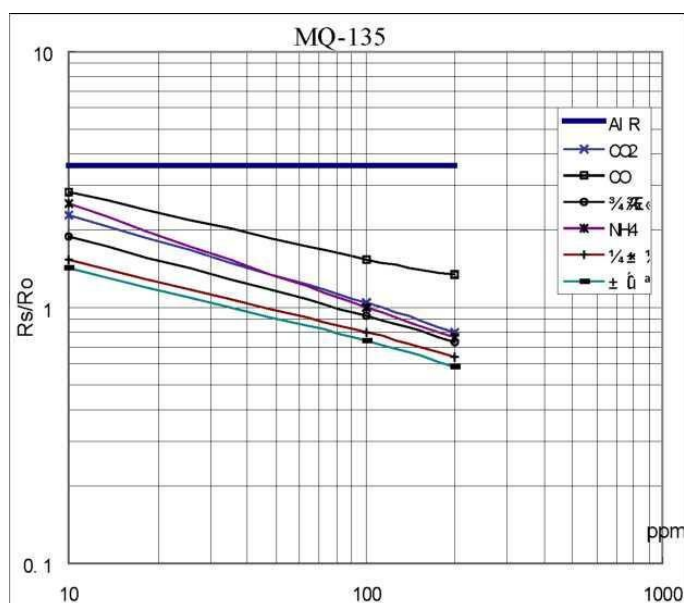


Рисунок 12 - Характеристики чувствительности MQ135 для нескольких газов

Газовый сенсор MQ135 – один из самых дешевых на рынке подобных датчиков. Его стоимость составляет около 5\$.

Технические характеристики:

- напряжение питания: 5В;
- потребляемый ток: 150мА;
- габариты: 32 × 20 × 22 мм (Д × Ш × В).

Достоинства:

- быстрый отклик;
- наличие аналогового и цифрового выводов;
- низкая цена.

Недостатки:

- длительный прогрев перед использованием;
- прогрев перед снятием показателей.

Вывод

Проведя сравнительный анализ всех представленных датчиков, определяющих концентрацию углекислого газа, был сделан выбор в пользу датчика MQ135. Главным критерием, по которому этот датчик подходит больше всего, является его стоимость.

Зависимость от температуры и влажности имеется практически у всех рассмотренных сенсоров. В нашем случае этот недостаток можно будет скорректировать путём установки дополнительного датчика температуры и влажности DHT11.

4 Проектирование устройства, реализующего измерение концентрации углекислого газа в воздухе

4.1 Контроллер Arduino

Arduino – торговая марка, производящая программно-аппаратные средства для разработки простых цифровых устройств и автоматики. С помощью комплекса продукции данной компании любой пользователь, не занимающийся программированием профессионально, может создавать устройства различной сложности. Аппаратная часть представляет собой плату – контроллер, имеющий множество цифровых и аналоговых входов и выходов. Программная оболочка Arduino IDE, предназначенная для программирования аппаратуры, бесплатна и доступна для всеобщего пользования. В Arduino IDE используется упрощенная версия языка C++, что позволяет легко научиться программированию. Ввиду открытости программного обеспечения существует множество доступных библиотек и готовых программ, количество которых постоянно пополняется. В отличие от большинства программируемых плат предшественников, Arduino не нужен отдельный программатор для загрузки нового кода, для этого используется простой USB-кабель.

Компания производит целый ряд контроллеров, отличных по характеристикам и предназначенных для разных целей и пользователей. Среди них самым популярным является Arduino UNO. Данная плата лучше всего подходит для начинающих. Arduino UNO основан на микроконтроллере ATmega328P, имеет 14 цифровых входов/выходов, подключение USB, разъем питания и многое другое. ArduinoUno может питаться от USB-соединения или от внешнего источника питания.

Стоимость данного контроллера на рынке колеблется от 7 до 35\$, в зависимости от места покупки.

На рисунке 13 изображен контроллер Arduino UNO, в таблице 4 приведены его технические характеристики.

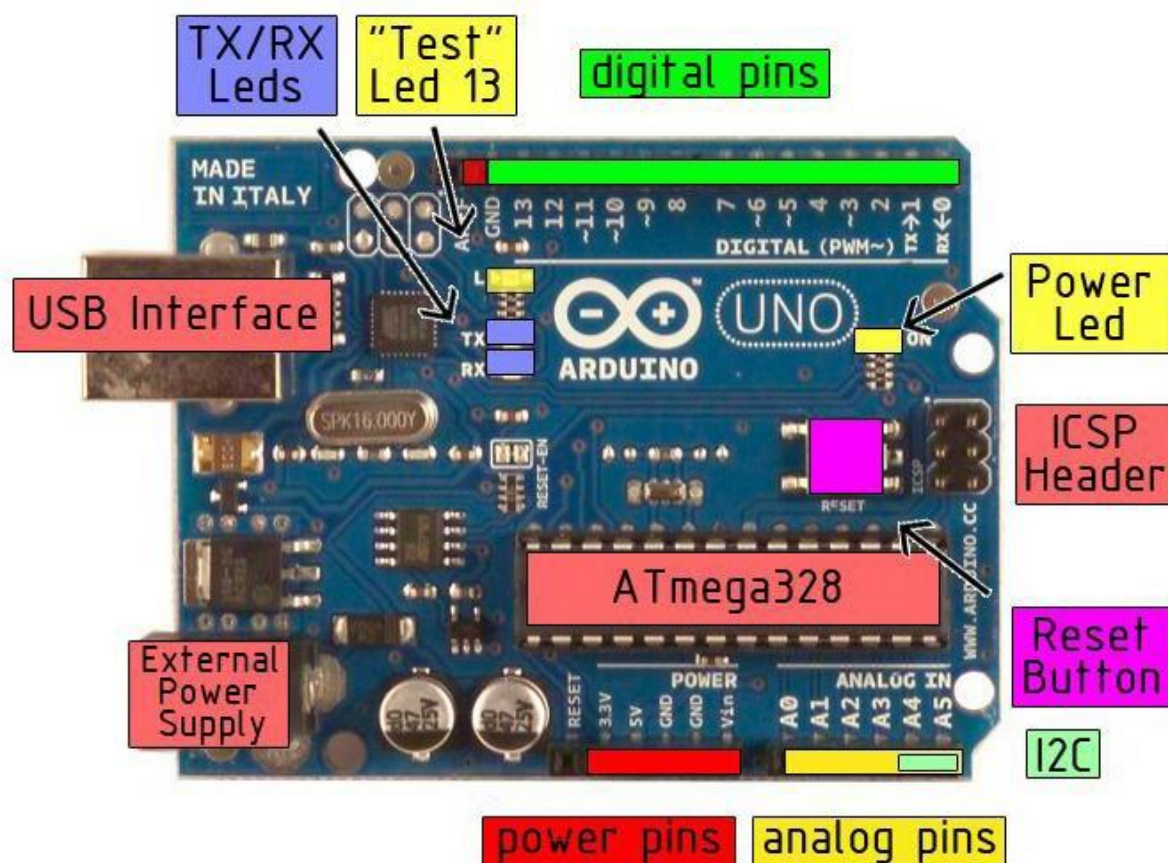


Рисунок 13 - ArduinoUno

Таблица 4 - Технические характеристики Arduino UNO

ArduinoUno	
МК	ATmega328P
Напряжение питания	5 В
Флеш-память, КБ	32
EEPROM, КБ	1
SRAM, КБ	2
Двоичные входы/выходы	14
ШИМ	6
Аналоговые входы	6
USB-интерфейс	ATmega8U2, ATmega16U2
Размеры, мм	68,6 × 53,3

4.2 Выбор сетевого датчика

4.2.1 Определение типа сетевого датчика

Для организации сети между устройствами регистрации углекислого газа и сервером необходимо выбрать сетевой датчик, который будет обеспечивать это сетевое взаимодействие.

Для передачи данных с контроллера Arduino в сеть используются дополнительные платы расширения (Shield). На рынке имеется большое множество различных плат, поэтому на первом этапе необходимо определиться, какого типа передача данных требуется в будущей системе мониторинга CO₂.

Система мониторинга углекислого газа представляет собой сеть взаимосвязанных датчиков. Каждое устройство, помимо того, что должно пересылать информацию на сервер, должно иметь возможность связаться с другими, соседними детекторами. Такая необходимость может возникнуть в ситуации, когда в помещении один из датчиков обнаружил большое превышение нормы газа, а другие нет. Устройство должно «разбудить» остальные детекторы, дать им команду экстренно осуществить замер показателей. При помощи подобной организации сети можно будет исключать единичные сбои в измерении показаний и, наоборот, быстро обнаруживать критическую ситуацию.

Центральный сервер, помимо локального взаимодействия с датчиками, обязательно должен иметь доступ к глобальной сети Интернет. Это условие является обязательным, потому что доступ к программному обеспечению, которое производит анализ данных, должен осуществляться только при подключении к облачному сервису. Установка программного обеспечения в каждой организации возможна, но является достаточно затратным делом, так как любые внештатные ситуации будут требовать наличия в учреждении специалиста в данной сфере. А все работы с облачным сервисом никак не коснутся конечного пользователя.

Для сохранения логики такого сетевого взаимодействия можно воспользоваться сетевыми технологиями, такими как Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth,

GSM/GPRS. С помощью каждой из перечисленных технологий существует возможность организовать необходимую сеть, нужно лишь выбрать способ, наиболее удобный для организации.

Параметры, по которым нужно оценить возможности сети:

1. Связь детекторов с центральным сервером по локальному соединению.
2. Взаимодействие между датчиками по локальной сети.
3. Доступ центрального сервера к глобальной сети Интернет.
4. Беспроводное соединение.
5. Работа компьютеров по организованной локальной сети.
6. Доступ компьютеров к интернету по организованной локальной сети.
7. Простой доступ ресурсов облачного сервиса конкретным датчикам с помощью средств сетевой технологии.

Оценка сетевых технологий по параметрам сведена в таблице 5.

Таблица 5 - Оценка сетевых технологий

Технология	Критерий						
	1	2	3	4	5	6	7
Ethernet	+	+	+	-	+	+	+
Wi-Fi	+	+	+	+	+	+	+
Bluetooth	+	+	-	+	+	-	-
GSM/GPRS	-	-	+	+	-	-	-

По описанному методу оценивания сетевых технологий очевидным лидером является технология Wi-Fi. Сетевая структура позволит организовать надежное взаимодействие датчиков с центральным сервером и между собой, а также позволит создать удобную локальную сеть, в которую можно будет включить компьютеры, либо внедриться в существующую сеть организации.

На следующем этапе необходимо выбрать сетевой модуль Wi-Fi для детектора.

4.2.2 Сетевой модуль ESP8266 ESP-07

Под ESP8266 понимается целая линейка модулей беспроводной связи, которые различаются своими характеристиками. Самым популярным Wi-Fi модулем на данный момент является ESP8266 ESP-01. В 2014 году, когда был выпущен этот Wi-Fi модуль, он произвел настоящий прорыв в сфере создания интернета вещей, так как по сравнению с другими модулями имеет небольшие размеры и отличался крайне низкой ценой. Но с появлением на рынке других модификаций из данной линейки стало ясно, что первый ESP-01 им уступает. Также профессионалы в сфере автоматизации отмечают ряд конструктивных недостатков ESP-01:

- большинство выводов SoC ESP8266EX в модуле ESP-01 находятся в «висячем» состоянии, т.е. никуда не подключены, что приводит к непредсказуемым состояниям и может приводить к повышенному потреблению и перегреву чипа;
- модуль ESP-01 не поддерживает режим «глубокого сна» (deep_sleep);
- модуль ESP-01 не имеет ни одной ножки, на которой нет сигналов при старте модуля, т.е. управлять им даже включением лампочки невозможно. Она будет моргать при включении.

Опираясь на данную информацию, было принято решение не использовать данную модификацию для детекторов.

В линейке ESP8266 имеются такие модули: ESP-01, ESP-02, ESP-03, ESP-04, ESP-05, ESP-06, ESP-07, ESP-08, ESP-09, ESP-10, ESP-11, ESP-12, ESP-13, WROOM, WROOM-02.

Изучив технические характеристики всех перечисленных модулей, выбираем модуль ESP-07 (рисунок 14). Он является качественной заменой ESP-01, так как обладает подобными характеристиками, но к тому же оснащен металлическим экраном, встроенной керамической антенной, антенным разъемом

для внешней антенны, что позволяет увеличить дальность Wi-Fi связи до нескольких сотен метров.



Рисунок 14 - ESP8266 ESP-07

ESP8266 ESP 07 – Wi-Fi последовательный модуль приемопередатчика, на основе ESP8266 SoC. SoC имеет встроенный протокол TCP/IP, делая его очень полезным в сфере интернет вещей. Диапазон работы этого модуля составляет до нескольких километров, что делает его отличным решением для робототехнических приложений, которым требуется дистанционное управление.

ESP-07 имеет встроенную керамическую антенну, 9 выводов GPIO, контакты UART (Rx, Tx) для связи с другими устройствами и возможность подключения внешней антенны.

Средняя стоимость данного модуля на рынке составляет не больше 4\$. В таблице 5 представлены его технические характеристики.

Таблица 5 - Технические характеристики ESP8266 ESP-07

Категория	Параметр	Значение
Параметры Wi-Fi	Протоколы Wi-Fi	802.11 b/g/n
	Диапазон частот	2.4GHz-2.5GHz (2400M-2483.5M)
Параметры оборудования	Периферийная шина	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir Remote Control. GPIO/PWM
	Рабочее напряжение	3.0~3.6В
	Рабочий ток	Среднее значение: 80мА

Продолжение таблицы 5

Категория	Параметр	Значение
	Рабочий диапазон температур	-40~125 °C
	Размер	16мм*21.2мм* 3мм
Параметры программного обеспечения	Режим Wi-Fi	station/softAP/SoftAP+station
	Безопасность	WPA/WPA2
	Шифрование	WEP/TKIP/AES
	Обновление прошивки	UART Download / OTA (via network) / download and write firm- ware via host
	Разработка программного обеспечения	Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
	Сетевые протоколы	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
	Конфигурация пользователя	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App

4.3 Выбор элемента питания

Для того чтобы выбрать подходящий источник питания для детектора углекислого газа, необходимо произвести расчет суммарной мощности всех компонентов.

В таблице 6 представлены компоненты детектора с заявленными в документации потребляемым током и напряжением.

Таблица 6 - Компоненты устройства, потребляемый ток и напряжение

Компонент устройства	Потребляемый ток (I)	Потребляемое напряжение (U)
MQ135	150 мА	5 В

Продолжение таблицы 6

Компонент устройства	Потребляемый ток (I)	Потребляемое напряжение (U)
DHT 11	2.5 мА	5 В
ESP-07	80 мА	3.6 В
Arduino UNO	18 мА	5 В

Расчет потребляемой мощности компонентов:

$$P = U \cdot I, \quad (1)$$

где P – мощность; I – сила тока; U – напряжение.

Таблица 7 - Компоненты устройства и потребляемая мощность.

Компонент устройства	Потребляемая мощность (P)
MQ135	0,75 Вт
DHT 11	0,0125 Вт
ESP-07	0,288 Вт
Arduino UNO	0,09 Вт
Суммарная потребляемая мощность(P_y)	1,1405 Вт

Емкость и напряжение батарейки «Крона»:

$$C_k = 0,5 \text{ А} \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

$$U_k = 9 \text{ В}, \quad (3)$$

Ток, потребляемый устройством:

$$I_y = \frac{P_y}{U_k} = 0,1267 \text{ А}, \quad (4)$$

Время, через которое батарея разрядится:

$$T = \frac{C_k}{I_y} = 3,94 \text{ ч}, \quad (5)$$

Для полной разрядки батареи «Крона» детектору углекислого газа потребуется около четырех часов непрерывной работы. Так как измерения на

устройстве должны производиться только раз в 10 минут, то, следовательно, датчики MQ135 и DHT 11 будут включаться с таким же периодом. Таким образом, за счет кратковременной работы двух датчиков суммарная потребляемая мощность устройства снизится. Но, так как контроллер Arduino UNO и модуль ESP-07 будут оставаться постоянно в рабочем состоянии, то, в конечном счете, батарея «Крона» будет разряжена в течение суток.

Из приведенного обоснования следует, что батарея в качестве основного элемента питания не целесообразна. Следует остановить выбор на подключении устройства к постоянной сети питания с помощью сетевого USB-адаптера 5В.

В любом учреждении существует возможность краткосрочного отключения электроэнергии. Для того чтобы исключить сброс настроек детекторов, а также чтобы предотвратить возможность выхода из строя компонентов устройства, необходимо предусмотреть резервный источник питания, в качестве которого можно установить батарею «Крона».

4.4 Электрическая схема детектора углекислого газа

На рисунках 15 и 16 представлены электрические схемы датчика MQ135 и модуля ESP-07.

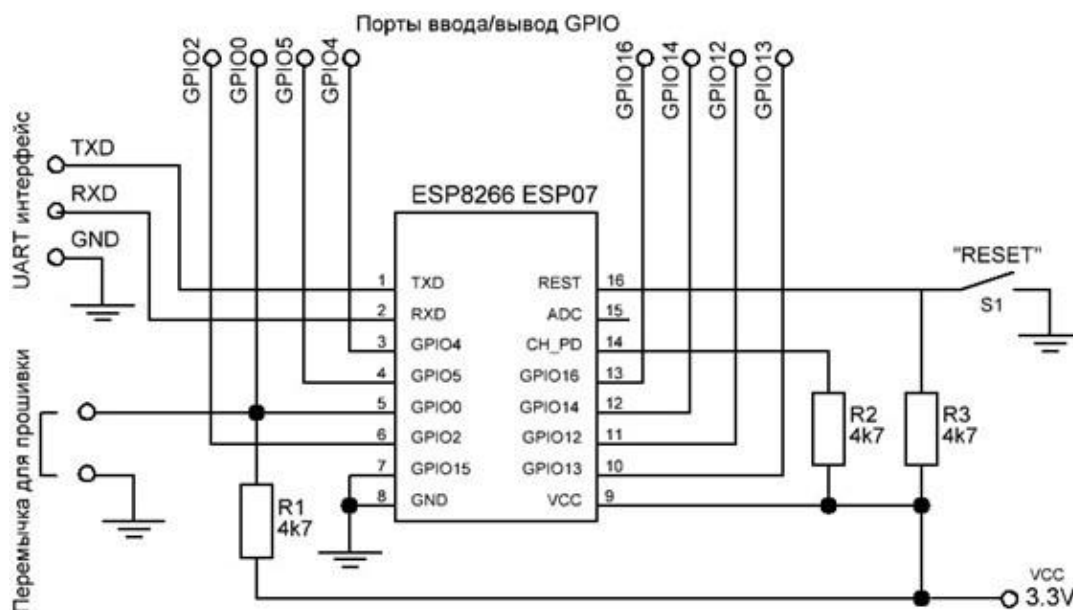


Рисунок 15 – Схема модуля ESP-07

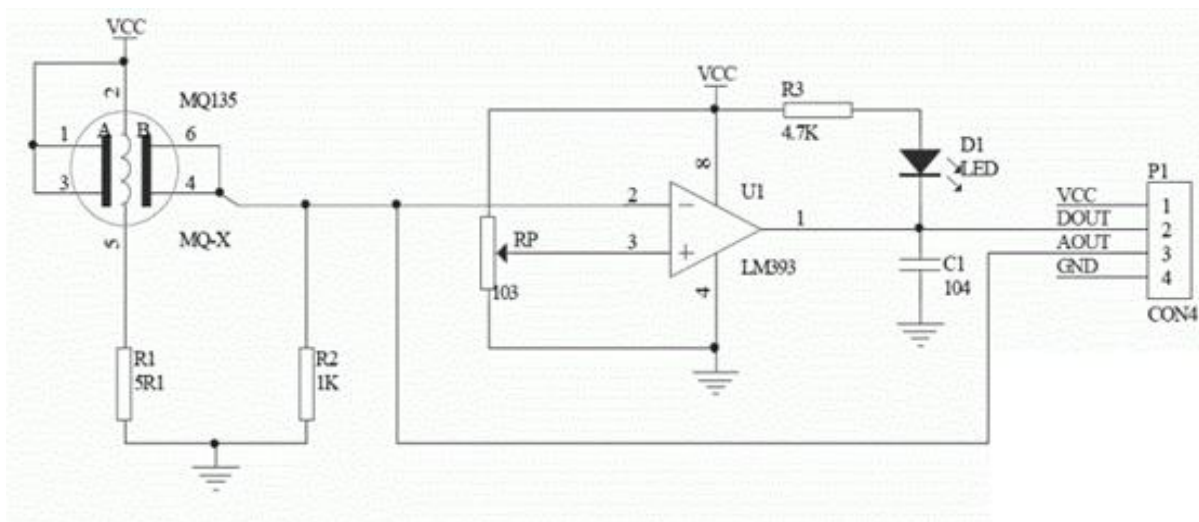


Рисунок 16 - Схема датчика MQ135

Общая электрическая схема устройства представлена на рисунке 17.

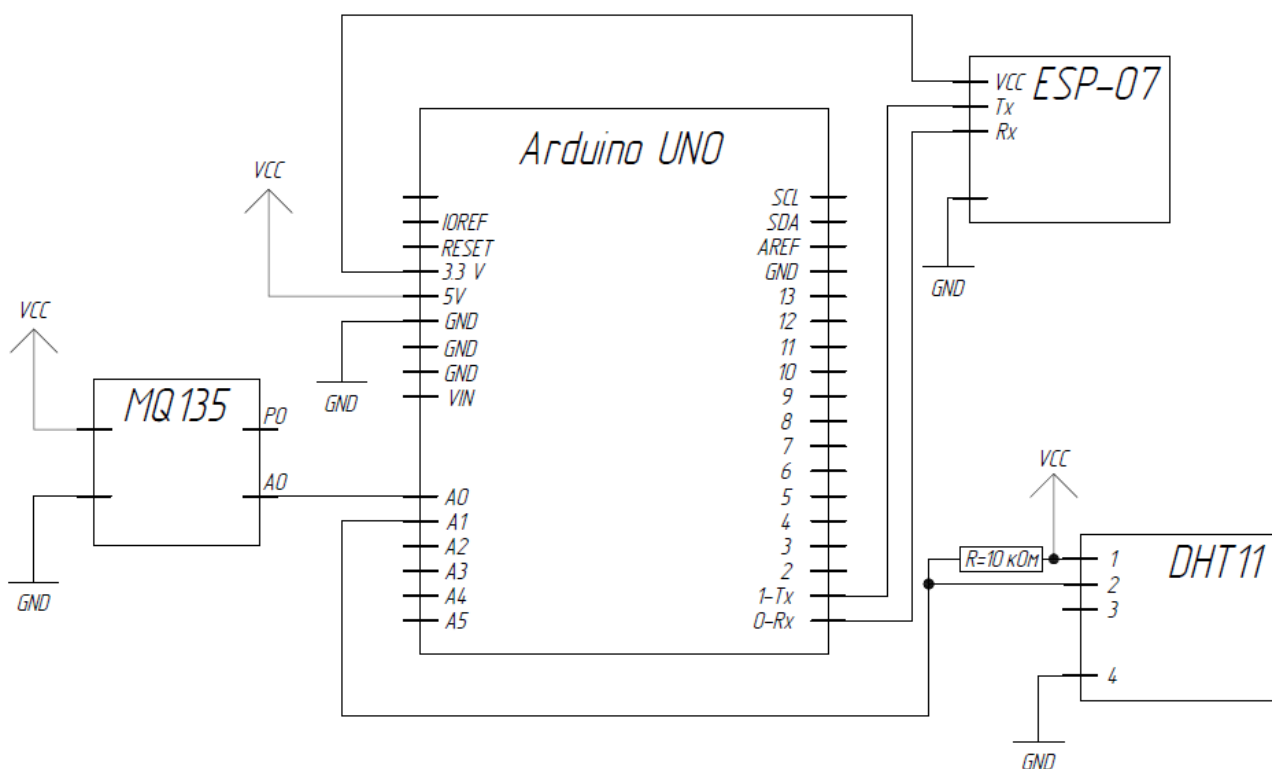


Рисунок 17 - ЭС детектора углекислого газа

4.5 Корректировка датчика MQ135

Поскольку в документации, прилагаемой к датчику MQ135, представлена

зависимость изменения величины $\frac{R_S}{R_0}$ от температуры и влажности окружающего воздуха, то необходимо произвести учет влияния данных параметров на измеряемую величину.

В документации представлены следующие графики (рисунок 18):

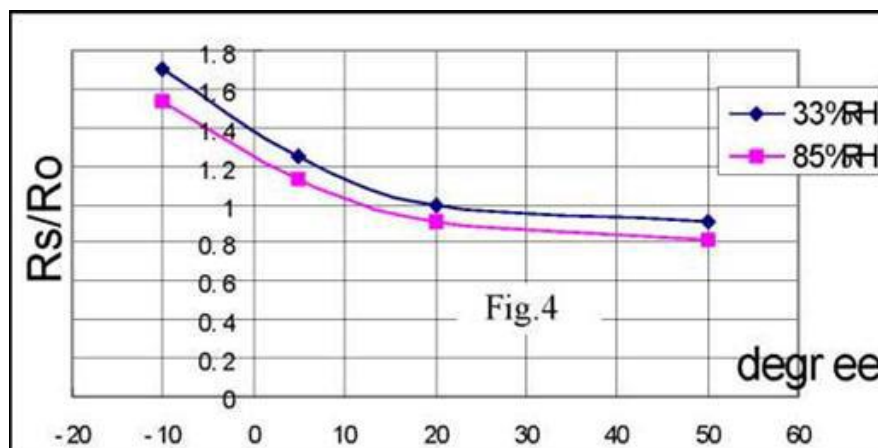


Рисунок 18 - Зависимость MQ135 от температуры и влажности

По оси абсцисс расположены значения температуры, по оси ординат расположено отношение R_S (измеряемое на MQ135 сопротивление) к R_0 (заданное калибровочное значение). За нормальные условия приняты температура 20 градусов Цельсия и 33% влажности воздуха, т.к. в данной точке R_S/R_0 равно единице.

При изменении температуры и влажности отношение R_S к R_0 меняется. На рисунке видно, что при повышении влажности на 52% (с 33% до 85%) второй график сдвинулся вниз на 0,06. Это значит, что на каждый процент изменения влажности должна вноситься корректировка равная $(-0.06/52)$.

Опираясь на данные графики, для поправки измерений были выведены следующие формулы.

Учёт влажности:

$$\left(\frac{R_S}{R_0}\right)' = \frac{R_S}{R_0} - \frac{0,06}{52}(h - 33), \quad (6)$$

где h – влажность в процентах; R_S - измеряемое на MQ135 сопротивление;

R_0 - заданное калибровочное значение.

Учёт температуры:

$$\left(\frac{R_S}{R_0}\right)'' = \left(\frac{R_S}{R_0}\right)' \cdot (0,0004 \cdot t^2 - 0,027 \cdot t + 1,3894), \quad (7)$$

где t – температура в градусах Цельсия; R_S - измеряемое на MQ135 сопротивление; R_0 - заданное калибровочное значение.

Поскольку в разрабатываемом детекторе углекислого газа установлен датчик температуры и влажности, то полученные поправки можно занести в программный код. Благодаря этому, производимые детектором измерения будут выводиться пользователю с учетом изменения температуры и влажности.

4.6 Требования к установке детекторов углекислого газа

Плотность окружающего нас воздуха $1,2041 \text{ кг/м}^3$, плотность выдыхаемого человеком углекислого газа $1,913 \text{ кг/м}^3$, следовательно, CO_2 тяжелее и, в конечном итоге, в помещении опускается на нижний уровень. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для установления верного значения концентрации углекислоты необходимо устанавливать детекторы на расстоянии $0,5\text{-}1$ метра от пола.

Поскольку CO_2 – это газ, значит, к нему применимо понятие диффузии. Это значит, что через какое-то время газ равномерно распространится по всему помещению и в любой точке концентрация будет одинаковой. Основываясь на данном положении можно сделать вывод, что детектор, установленный в конце помещения на расстоянии $0,5\text{-}1$ м от пола, будет фиксировать реальную концентрацию CO_2 во всем помещении.

Так как при моделировании системы мониторинга стоит учитывать и различные сбои при работе устройства, необходимо производить установку второго дополнительно датчика углекислого газа.

С помощью второго детектора можно будет добиться получения наиболее реальной картины. Так как замеры каждым датчиком предполагается

осуществлять не чаще одного раза в 10 минут, то при системе из двух устройств, которые будут запрограммированы на разное время начала работы, измерения будут производиться чаще.

Также при параллельной работе датчиков у системы мониторинга будет существовать возможность незапланированной проверки в случае регистрации одним устройством высокой концентрации, посредством запуска дублирующего устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной мною работы была разработана модель системы обнаружения опасных концентраций углекислого газа.

На первом этапе был проведён анализ проблемы контроля над концентрацией CO₂. В процессе изучения данного вопроса была подтверждена актуальность проекта и выявлена необходимость его реализации.

Следующим шагом стала разработка физической модели устройства регистрации углекислого газа. С помощью сравнительного анализа были выбраны наилучшие компоненты для построения качественного и недорогого устройства, была построена его электрическая схема.

Внедрение подобной системы в рабочий процесс позволит защитить людей от негативного воздействия на их здоровье больших концентраций CO₂. Ежедневный контроль над содержанием углекислоты в окружающем воздухе позволит снизить процент заболеваемости в учреждении, улучшить самочувствие учащихся и сотрудников, повысить процент успеваемости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О. В. Елисеева. К обоснованию ПДК двуокиси углерода в воздухе. Гигиена и санитария. – 1964. – № 8.
2. Adrie van der Luijt. Management CO2 levels cause office staff to switch off. Director of Finance online. 11.19.2007.
3. Report of the research project on evaluation of environmental NO2, CO2, benzene and lead exposures of Kolkata population by biological monitoring techniques / Dr. R. N. Chaudhuri, Dr. D. Sengupta.
4. П. Оле Фангер. Качество внутреннего воздуха в зданиях, построенных в холодном климате, и его влияние на здоровье, обучение и производительность труда людей. АВОК. – 2006. – № 2.
5. Обоснование допустимого уровня содержания диоксида углерода в воздухе помещений жилых и общественных зданий / Ю. Д. Губернский. Гигиена и санитария. - М., 2014. - № 6. - С. 37-41.
6. Oxidative DNA damage estimated by urinary 8-hydroxydeoxyguanosine and indoor air pollution among nonsmoking office employees / Chung-Yen Lua, Yee-Chung Maa, Jia-Min Lina, Chun Yu Chuangc, Fung-Chang Sunga. Institute of Environmental Health. National Taiwan University College of Public Health; 2008.
7. Kajtar L. et al. Influence of carbon dioxide pollutant on human well being and work intensity. Healthy Buildings. Lisbon, Portugal; 2006.
8. Effect of indoor CO, concentrations on wheezing attacks in children. Indoor Air / Kim C.S., Lim Y.W., Yang J.Y., Hong C.S., Shin D.C. Seoul, Korea; Proceedings: Indoor Air, 2002 (6): 492-7.
9. СНиП 41-01-2003 Строительные нормы и правила Российской Федерации. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
10. СТО НП "АВОК" 2.1-2008 Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена.

11. Badly polluted air in Europe's classrooms: Italian team presents study results to ERS Congress / European Respiratory Society Annual Congress, September 2–6, 2006.

12. ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

13. D. S. Robertson. Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere. Current science, vol. 90, no. 12, 25 June 2006.

14. ГН 2.2.5.2100-06 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".

15. СП 2.5.1198-03 «Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте».

16. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

17. EN 13779 «Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems».

18. Arduino UNO // arduino.ru. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno> (27.02.2017).

19. TGS 4161 // pub.ucpros.com/ URL: <http://pub.ucpros.com/download/tgs4161.pdf?osCsid=ov00kqc3mptbj679fmt0insbm6> (03.03.2017).

20. MG811 CO2 Sensor // eph.ccs.miami.edu. URL: <http://eph.ccs.miami.edu/precise/GasSensorSpecs/CO2.pdf> (10.03.2017).

21. Intelligent Infrared CO2 Module (Model: MH-Z19) // winsen-sensor.com. URL: <http://www.winsensensor.com/d/files/PDF/Infrared%20Gas%20Sensor/NDIR%20CO2%20SENSOR/MH-Z19%20CO2%20Ver1.0.pdf> (12.03.2017).

22. MQ135 Semiconductor Sensor for Air Quality Control // china-total.com. URL: <http://www.china-total.com/Product/meter/gas-sensor/MQ135.pdf> (15.03.2017).

23. <http://www.rusmedserver.ru/med/narodn/legkie/3.html>

