

# ВЕНТИЛЯЦИЯ, КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ПАНДЕМИЕЙ КОРОНАВИРУСА

2020-03-30

К.т.н., доц.В.В.Левчий

## Риск заражения коронавирусом можно прогнозировать по уровню углекислого газа CO<sub>2</sub>

В средствах массовой информации дается много рекомендаций по противодействию распространению коронавируса, это и правила личной гигиены, соблюдение дистанции, защитные маски, ограничение общения и т.д.

К сожалению, предлагая людям оставаться дома и не выходить на улицу, слабо разъясняется вопрос, как снизить риск заражения вирусом в помещении. Попробуем восполнить этот пробел на примере вентиляции помещений.

### Теория

Научно доказано, что качество воздуха, которым мы дышим в помещении, прямо влияет на вероятность заболевания инфекциями, передающимися воздушно-капельным путем, такими как туберкулез, корь, грипп и риновирусные инфекции. К числу последних, относится и коронавирус (COVID-19), пандемия которого началась в Китае в декабре 2019 года и быстро распространилась на весь мир.

Для прогнозирования риска передачи инфекционных заболеваний передающимися воздушно-капельным путем внутри помещений в современной науке используется уравнение Wells–Riley (1978 г.).

$$P = \frac{D}{S} = 1 - \exp\left(-\frac{I p q t}{Q}\right)$$

Где:

- P - вероятность заражения;
- D - количество случаев заболевания;
- S - количество контактирующих людей в помещении;
- I - число больных людей в помещении,;
- p - частота дыхания человека (м<sup>3</sup>/с);
- q – скорость квантовой генерации инфекции больным человеком (квант/с);
- t - общее время нахождения в помещении (с);
- Q – количество свежего воздуха, поступающего в помещение за единицу времени (м<sup>3</sup>/с).

Однако, на практике, использование этого уравнения затруднено, поскольку предполагает наличие установившихся условий и требует точного измерения величины подачи наружного воздуха. К сожалению, сейчас в большинстве квартир, магазинов, школ, офисов и больниц или вообще нет организованного притока свежего воздуха через приточную вентиляцию или помещения имеют малоэффективную вентиляцию, которая не может обеспечить его требуемое количество. В большинстве случаев, свежий воздух поступает в помещения за счет естественной инфильтрации, которую очень сложно контролировать.

В научном исследовании S. N. Rudnic (Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Boston, MA, USA) и D. K. Milton (Department of Medicine, The Channing Laboratory, Brigham and Women's Hospital and Harvard Medical School, Boston, MA, USA), результаты которого изложены в статье [«Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration»](#) авторы предлагают альтернативный подход к прогнозированию риска инфицирования заболеваниями, передающимися воздушно-капельным путем. В основном уравнении новой теории для оценки количества свежего воздуха в помещении авторы предлагают использовать уровень содержания CO<sub>2</sub> как индикатор качества воздуха. Полученное в исследовании уравнение является нестационарной версией уравнения Wells–Riley, которое теперь применимо для расчетов и в плохо вентилируемых помещениях. Также определяется соотношение между средним числом инфицирования и качеством воздуха, что демонстрирует вероятность существования достижимой критической доли вдыхаемого воздуха в помещении, ниже которой воздушное распространение респираторных инфекций и гриппа не произойдет.

Для оценки вероятности распространения инфекции среди людей, S. N. Rudnic и D. K. Milton используют показатель R<sub>0</sub> - основное репродуктивное число. Это количество вторичных инфекций, которые возникают, когда один инфицированный находится в обществе других людей,

восприимчивых к этой инфекции. Если значение  $R_0 > 1$ , инфекция будет распространяться. Чем больше значение  $R_0$ , тем больше вероятность развития эпидемии.

Репродуктивное число для инфекционных заболеваний, распространяющихся в помещениях ( $RA_0$ ), может быть выражено следующим образом:

$$R_{A0} = (n - 1) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{fqt}{n}\right) \right]$$

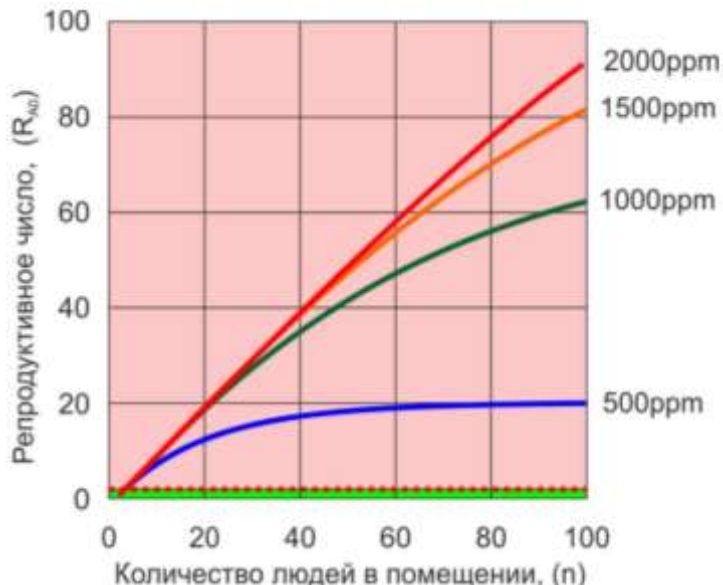
где:

- $RA_0$  – репродуктивное число для инфекционных заболеваний в помещениях;
- $n$  – количество людей в помещении;
- $f$  – доля воздуха в помещении, выдыхаемого находящимися в нем людьми;
- $q$  – скорость квантовой генерации инфекции больным человеком (квант / с);
- $t$  – общее время нахождения в помещении (с).

Для оценки доли воздуха, выдыхаемого людьми и скорости квантовой генерации инфекции больным человеком ученые предлагают использовать значение уровня  $CO_2$ , как наиболее адекватного показателя.

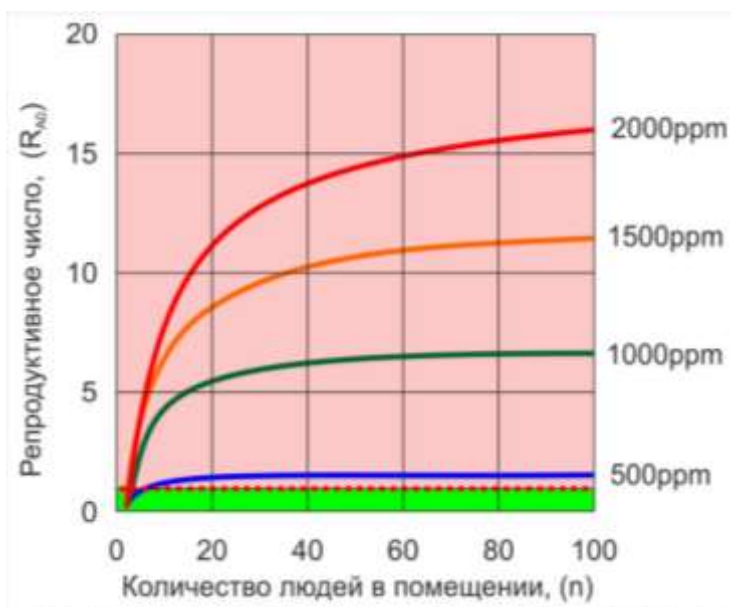
В итоге, авторы исследования приводят графики вероятности заражения в зависимости от содержания  $CO_2$  в воздухе помещения для трех разных видов инфекций.

Семейство кривых, показанных на графике сверху, описывает возможность заражения при гипотетической вспышке кори со скоростью квантовой генерации инфекции кори  $q = 570$  (1/ч). В этом случае, репродуктивное число ( $RA_0$ ) увеличивается почти линейно с увеличением количества людей при высоких концентрациях  $CO_2$ . Тем не менее, репродуктивное число ( $RA_0$ ) не увеличивается напрямую с увеличением численности людей при низких концентрациях  $CO_2$ . В последнем случае, рост вероятности заболевания с увеличением количества людей происходит значительно медленнее.



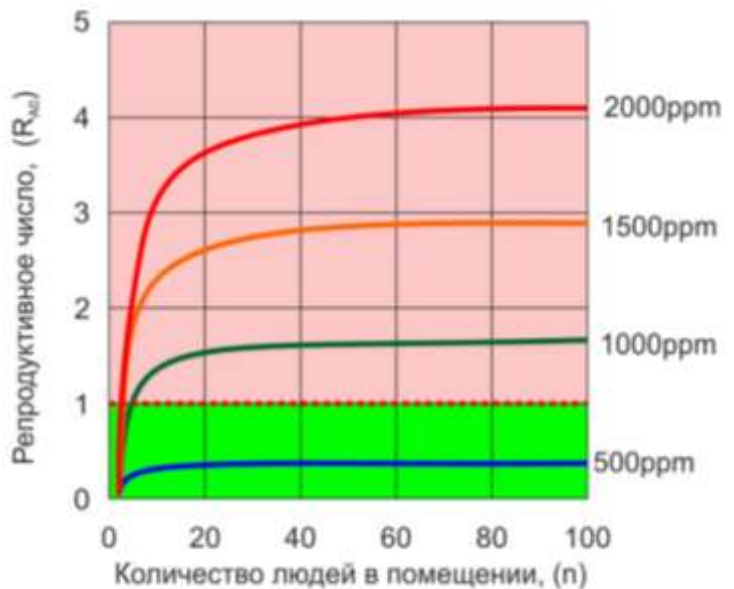
Но даже при самых низких концентрациях  $CO_2$ , репродуктивное число намного больше 1. Это говорит о том, что корь будет распространяться очень быстро даже в зданиях с очень хорошей вентиляцией.

На рисунке сверху приведены графики изменения репродуктивного числа ( $RA_0$ ) для гипотетической вспышки гриппа, характеризующейся скоростью квантовой генерации 100 (1/ч), где предполагается, что инфицированный человек останется в здании в течение 4 часов. Снова видно выравнивание величины репродуктивного числа ( $RA_0$ ), хотя на этот раз оно происходит даже при высоких концентрациях  $CO_2$ . При низких концентрациях  $CO_2$  величина репродуктивного числа ( $RA_0$ ) падает ниже 1. Критическая повторно вдыхаемая фракция составляет 0,25% что эквивалентно концентрации  $CO_2$  приблизительно 500 ppm. Таким



образом, очень высокие показатели подачи наружного воздуха при ограничении количества людей в помещении могут быть эффективными в ограничении распространения гриппа.

На рисунке вверху приводится семейство кривых репродуктивного числа ( $R_{eff}$ ) для риновирусных инфекций, к которым относится и коронавирус (COVID-19). В этом случае, скорость квантовой генерации инфекции больным человеком была принята исходя из экспериментальных данных на уровне  $q = 4$  (1/ч). Также предполагается, что в течение всего времени инфицированный человек проводит в здании в общей сложности 24 ч. На всех кривых присутствует стабилизация уровня для количества людей больше 20. И если приточная вентиляция обеспечит уровень содержания  $CO_2$  не выше 600-700 ppm, можно рассчитывать на предотвращение распространения инфекции.



### Выводы

Исходя из результатов исследования становится очевидно, что одним из эффективных способов снижения риска распространения риновирусной инфекции, к которой относится коронавирус является организация качественной приточно-вытяжной вентиляции, которая обеспечит уровень  $CO_2$  не выше 600-700 ppm.

Если в помещении отсутствует система приточно-вытяжной вентиляции, этого эффекта можно добиться регулярным проветриванием с постоянным мониторингом уровня  $CO_2$ .

### Рекомендации.

#### Как правильно вентилировать помещения в условиях угрозы распространения респираторных инфекций.

Самыми правильными и эффективными способами вентиляции будут способы, применяемые в медицинских учреждениях и т.н. «чистых комнатах». В таких системах, приток свежего воздуха осуществляется ламинарным потоком через специальные воздухораспределители. Например через потолочные ламинаторы в одном направлении, например сверху – вниз. Рециркуляция воздуха полностью исключается, а приточный воздух тщательно фильтруется в HEPA фильтрах. Вентиляционное оборудование и автоматика кроме заданной температуры и влажности постоянно поддерживают избыточное давление в помещении. Это препятствует проникновению внешнего загрязненного воздуха.

К сожалению, такой способ дорогостоящий и имеет высокие эксплуатационные расходы.

Менее затратным является использование стандартной приточно-вытяжной вентиляции. В этом случае свежий воздух через приточную установку подается в помещение. Вытяжная установка вытягивает отработанный воздух из помещения. В приточной установке свежий воздух очищается от пыли, подогревается или охлаждается.

Действующими строительными нормами регламентируется кратность воздухообменов, которая рассчитывается в зависимости от назначения помещения, количества людей, их режима пребывания и количества загрязнений, которые выделяются внутри. Уровень  $CO_2$  действующими строительными нормами в настоящее время не регламентируется. Поэтому, если вы хотите контролировать риск распространения респираторных заболеваний, нужно измерять уровень  $CO_2$  и регулировать производительность приточной и вытяжной систем для поддержания  $CO_2$  не выше 600-700 ppm.

Для измерения содержания  $CO_2$  можно приобрести готовый комнатный монитор качества воздуха, который измеряет как минимум температуру, влажность и содержание  $CO_2$ . Цена на эти устройства начинается с 3000 грн.

Но можно из комплектующих, которые есть в интернет-магазине <https://arduino.ua> самостоятельно собрать переносное устройство для измерения содержания  $CO_2$  в окружающем воздухе. Такое устройство будет полезным при посещении общественных мест – транспорта,

магазинов, аптек и т.д. Если уровень CO<sub>2</sub> будет превышать 600-700 ppm это укажет на повышенный риск заражения коронавирусом.

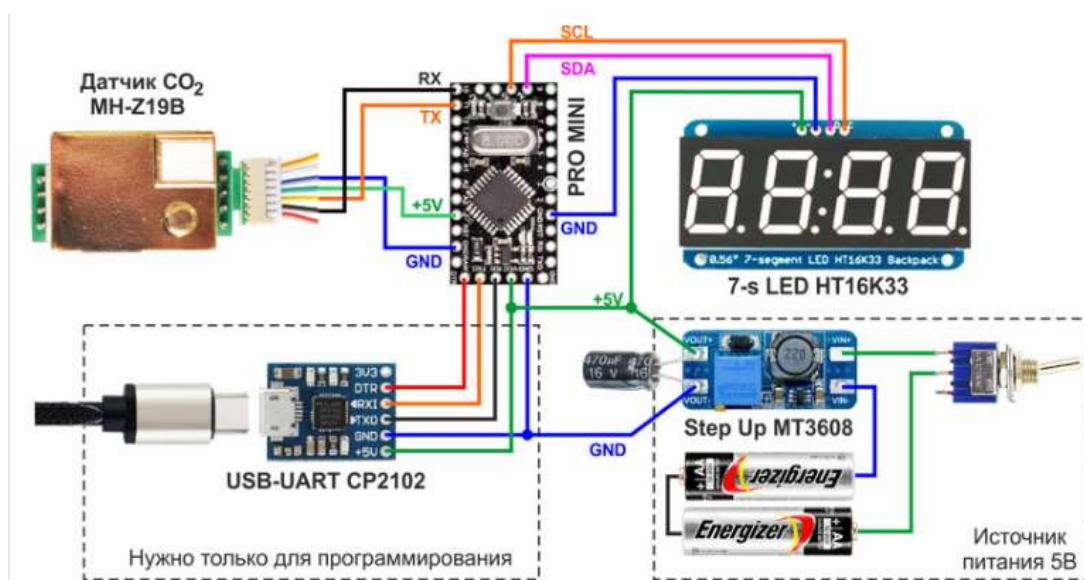
### Как самостоятельно изготовить простое устройство для измерения уровня CO<sub>2</sub> в воздухе.

Ниже приводится описание порядка изготовления переносного измерителя (монитора) уровня содержания углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в окружающей атмосфере.

Для этого вам потребуются:

- датчик углекислого газа [MH-Z19B](#);
- микроконтроллер [Arduino PRO MINI](#), или аналогичный ему, например Arduino UNO;
- переходник [USB-UART CP2102](#). Если вы будете использовать микроконтроллер Arduino с USB разъемом, этот переходник вам не понадобится;
- 7-сегментный индикатор на HT16K33;
- повышающий преобразователь [MT3608](#) или аналогичный, для обеспечения питания 5В от двух батареек AA/AAA. Можно также для питания измерителя использовать два Li-Ion [аккумулятора 18650](#). Тогда вам понадобится DC-DC понижающий преобразователь напряжения, например, на микросхеме [LM2596](#). Если вы не планируете делать измеритель переносным, питание можно осуществлять по USB кабелю от компьютера или запитать от Power Bank.

Соберите схему, как показано на рисунке внизу.



Загрузите в микроконтроллер программу, листинг которой доступен для скачивания по ссылке внизу.

Для работы вам понадобятся несколько библиотек:

- **SoftwareSerial.h** – библиотека для работы с программным портом UART. Эта библиотека, как правило присутствует по умолчанию. Если ее нет, скачайте ее с <https://github.com/PaulStoffregen/SoftwareSerial>
- **MHZ19.h** - библиотека для работы датчиком CO<sub>2</sub> MH-Z19B. Скачайте ее с <https://github.com/strange-v/MHZ19>

**Adafruit\_LEDBackpack.h, Adafruit\_GFX.h** - библиотеки для работы с 7-ми сегментным индикатором. Устанавливается в Arduino IDE через меню Инструменты – Управление библиотеками.

Средний ток, потребляемый схемой – 30 мА. Периодически, при измерении уровня CO<sub>2</sub>, датчик MH-Z19B потребляет ток в импульсе до 150 мА. Для корректного измерения необходимо дать прогреться датчику 30-60с, после чего он будет показывать текущее содержание CO<sub>2</sub> в окружающей атмосфере.

```

/*
Измеритель уровня углекислого газа CO2
(C)2020 ООО "ЛИК", http://lic.com.ua
*/
#include "MHZ19.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_LEDBackpack.h"
#include "Adafruit_GFX.h"

#define ledPin1 13 //светодиод на плате контроллера
#define DEBUG
#define DISPLAY_ADDRESS 0x70

SoftwareSerial mySerial(10, 11); //Объявляем программный порт на выводах 10(RX), 11(TX)
MHZ19 mhz(&mySerial); //Объявляем датчик CO2 MHZ-19B
Adafruit_7segment clockDisplay = Adafruit_7segment(); //Объявляем 7-сегментный дисплей HT16K33

uint32_t timer_co2 = 0;
int MHZ_CO2 = 0;
int MHZ_T = 0;
boolean switchDisplay = false;

void setup(){
  //Инициализируем 7-сегментный дисплей
  clockDisplay.begin(DISPLAY_ADDRESS);
  clockDisplay.clear();
  clockDisplay.setBrightness(1);
  //Инициализируем программный и аппаратный порты
  mySerial.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) { }
  Serial.println("Start programm!");
  //Устанавливаем диапазон <2000ppm для датчика CO2
  mhz.setRange(MHZ19_RANGE_2000);
}

void loop() {
  if ((millis()-timer_co2) > 5000) {
    MHZ19_RESULT response = mhz.retrieveData();
    if (response == MHZ19_RESULT_OK) {
      MHZ_CO2 = mhz.getCO2(); //Получаем уровень углекислого газа в воздухе, CO2
      MHZ_T = mhz.getTemperature(); //Получаем температуру воздуха, CO2
      if (switchDisplay) clockDisplay.print(MHZ_CO2, DEC);
      else clockDisplay.print(MHZ_T, DEC);
      clockDisplay.writeDisplay();
      Serial.println("CO2="+String(MHZ_CO2)+"ppm, T="+String(MHZ_T)+"°C");
      digitalWrite(ledPin1,(not digitalRead(ledPin1)));
      switchDisplay = not switchDisplay;
    } else {
      Serial.println("MHZ19 ERROR = "+String(response));
    }
    timer_co2 = millis();
  }
}

```

[Скачать полный листинг программы](#)

[Джерело: За матеріалами сайту https://arduino.ua/](https://arduino.ua/)