

ИНСТРУКЦИЯ К ПРОГРАММНОМУ КОДУ DIY-КОНТРОЛЛЕРА ПРИТОЧНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ НА БАЗЕ ПРОЕКТОВ ESPHOME И HOME ASSISTANT

I. Аннотация

Данный программный код контроллера приточной системы вентиляции разработан для автоматического управления скоростью оборотов приточного вентилятора в зависимости от внешних датчиков температуры и CO₂, подключенных как локально, так и удаленно.

II. Описание программной части

Программным «фреймворком» для разработки, компиляции и прошивки является открытая платформа ESPHome. Данный программный код представляет из себя конфигурацию для проекта ESPHome и реализует всю необходимую логику работы контроллера.

Данный программный код разрабатывался для совместной работы в программной инфраструктуре открытой операционной системы умного дома Home Assistant и весь функционал контроллера вентиляции будет доступен только при использовании его вместе с сервером умного дома на базе операционной системы Home Assistant. Тем не менее, контроллер поддерживает полностью автономную работу, но с ограниченной функциональностью.

III. Описание аппаратной части

Для работы программного кода возможно использовать любой контроллер, поддерживаемый платформой ESPHome. Рекомендуется использовать ESP32 или ESP8266. Оригинальный код разрабатывался для работы с контроллером ESP32. Так как система вентиляции представляет из себя комплексный набор устройств, ниже будет приведен перечень дополнительных электронных и электрических устройств, необходимых для работы приточной установки. Оригинальный код контроллера и его функционал разрабатывался с учетом этого конкретного набора компонентов:

1. **Приточный вентилятор ERA Typhoon 160 2SP** – канальный вентилятор с АС-двигателем, имеющий две обмотки мотора, которые реализовывают две «аппаратных» ступени расхода воздуха;
2. **Регулятор скорости вентилятора Cityron CTY-1.8** – контроллер, позволяющий изменять переменное напряжение от 0 до 230 вольт, сохраняя при этом чистую синусоидальную форму переменного тока. Важной особенностью данного контроллера является управляющий вход 0-10 вольт, который позволяет менять выходное переменное напряжение в зависимости от поданного на управляющий вход;
3. **Конвертер ШИМ-сигнала PW1VA01** – преобразовывает ШИМ-сигнал в напряжение 0-10 вольт в зависимости от частоты импульсов ШИМ;
4. **Плата ESP32 WROOM** – основной контроллер, обеспечивающий получение данных с датчиков, вычисление необходимой скорости работы и передачу управляющего сигнала на вентилятор, реле и другие возможные устройства;
5. **Датчик температуры Dallas DS18B20** – основной температурный датчик, устанавливаемый в приточный канал и предназначенный для измерения температуры входящего (поступающего) уличного воздуха

6. **OLED-дисплей SSD1306** – необходим для индикации основных параметров работы контроллера;
7. **Кнопка без фиксации** – служит для активации дисплея на определенный период времени;
8. **Датчик углекислого газа (CO2) Sensirion SCD40** (или SCD41) – датчик, используемый для измерения уровня CO2 в вентилируемом помещении. Ключевой элемент обратной связи для логики управления скоростью работы вентилятора. В данном проекте, реализовано удаленное подключение датчика CO2. Он подключен и передает показания в Home Assistant через дополнительную плату ESP8266, а данный контроллер вентиляции получает данные этого датчика через Home Assistant, а не напрямую. Тем не менее, возможно легко модифицировать код контроллера для локального подключения датчика если такое возможно и таким образом существенно улучшить автономность системы;
9. **Релейный модуль с опторазвязкой одноканальный** – опциональный компонент. Служит для переключения обмоток вентилятора ERA Typhoon 160 2SP что расширяет диапазона возможностей регулировки расхода воздуха и уровня шума;
10. **Датчик дыма MQ-2** – опциональный компонент. Устанавливается в приточный канал вместе с датчиком температуры и служит для определения наличия дыма в приточном канале и своевременном отключении вентиляции. Появление данного датчика в логике работы системы обусловлено частым сжиганием костров в весенне-осенний период в местности проживания автора. Возможна замена датчика на другие, более актуальные, например датчики VOC, в зависимости от ваших потребностей. При этом код потребует минимальных изменений. Так же возможно использовать версию кода без логики аварийного отключения;
11. **Датчик влажности и температуры SHT40/41** – опциональный компонент. Датчик устанавливается в приточный канал. Служит для определения уровня влажности, что может быть полезно в зимний период. В логике работы в текущей версии кода не участвует и в конфигурации не прописан. Так же возможно зарезервировать показания температуры на случай отказа основного датчика (в текущем коде не реализовано).

IV. Дополнительное оборудование, планируемое к реализации в будущих версиях

1. Датчик тока и напряжения PZEM-004 – предназначен для мониторинга переменного напряжения и потребляемого тока. Планируется к установке два датчика:

- первый, для мониторинга тока и текущего напряжения вентиляторов. Это поможет лучше отслеживать ситуацию фактической работы вентилятора и обнаружения возможных сбоев в работе контроллера Cityron CTY-1.8;

- второй, для мониторинга потребляемого тока и напряжения канального нагревателя.

Установка двух датчиков необязательна. Но установка одного общего датчика тока и напряжения PZEM-004 необходима для расчета потребляемой энергии, который потребуется для будущей логики работы канального подогревателя;

2. Канальный нагреватель на РТС-элементе – устанавливается в приточный канал. РТС-элемент обеспечивает динамический нагрев с изменяемым током, а так же улучшает пожаробезопасность;

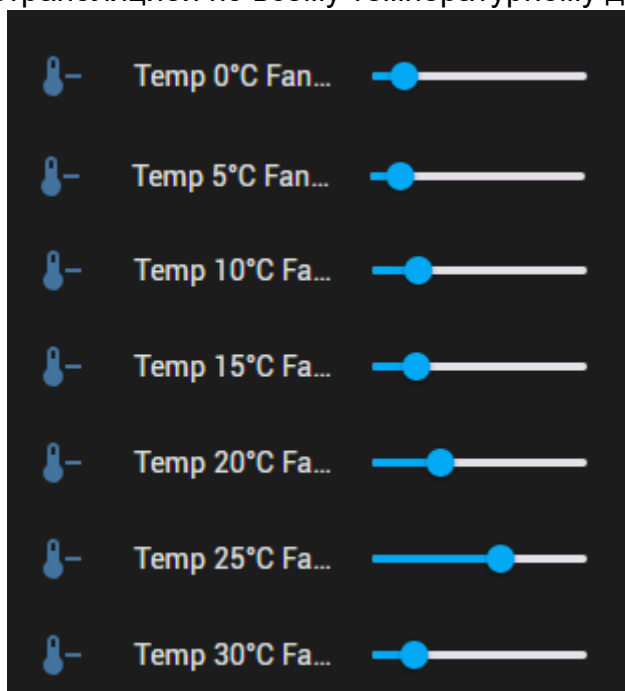
3. Термостат для канального нагревателя, с возможностью удаленной установки температуры. Рассматривается REX C-100 (но он не совсем соответствует требованиям), а также включение термостата в логику работы основного контроллера - ВОПРОС ОТКРЫТЫЙ.

4. Датчик температуры Dallas DS18B20 – температурный датчик, устанавливаемый в приточный канал после нагревателя и предназначенный для измерения температуры непосредственно приточного воздуха (поступающего в помещение) и используемый для вычисления дельты температуры нагрева.

V. Основная логика работы контроллера приточной вентиляции

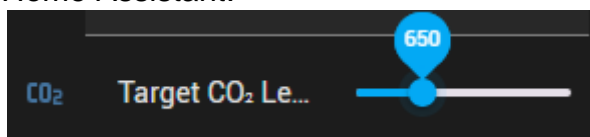
Данный код контроллера приточной вентиляции основан на принципе поддержания необходимого уровня CO2 в помещении. Параметр уровня CO2 является основным ориентиром для определения необходимой скорости работы вентилятора и, соответственно, регулировки расхода воздуха. В тоже время, постоянное поддержание оптимального уровня CO2, особенно в зимний период, приводит к неоправданно высокому расходу электрической энергии (в случае наличия электрического канального подогревателя) или высокому уровню дискомфорта (в случае его отсутствия).

В связи с этим, в основной логике контроллера было реализовано компромиссное решение – ограничение скорости работы вентилятора (и соответственно расхода воздуха) в зависимости от температуры приточного воздуха. Это позволяет установить предельную скорость работы вентилятора для экономии электричества зимой или, в случае отсутствия канального подогревателя, – уменьшения сквозняков и холодных потоков воздуха до комфортного уровня. Определение предельной скорости предполагается с помощью настройки температурной кривой лимита скоростей вентилятора. Температурная кривая реализована в коде контроллера в виде семи точек от 0 до 30 градусов с шагом 5 градусов. Данные точки доступны в Home Assistant через API и предполагают установку предельной скорости (от 0% до 100%) с дальнейшей автоматической экстраполяцией по всему температурному диапазону.



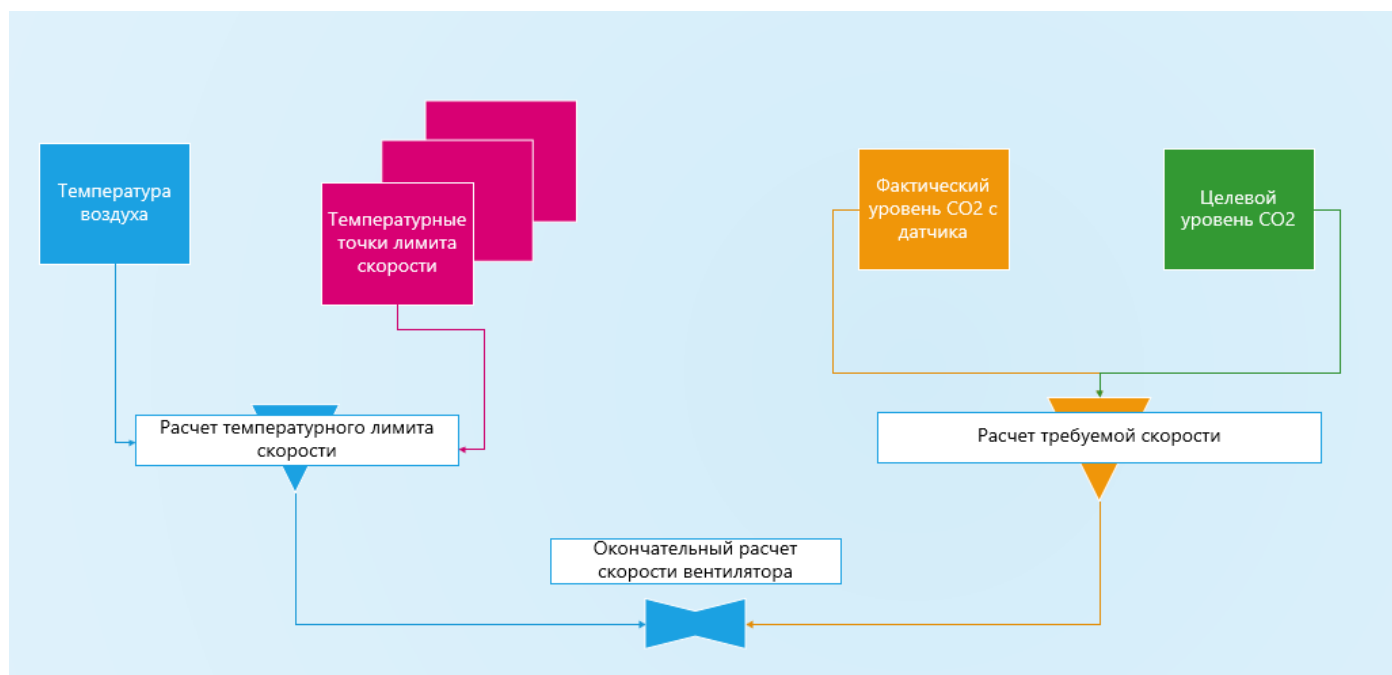
В коде контроллера реализован виртуальный сенсор температурного лимита скорости, который рассчитывает предельную скорость вентилятора в зависимости от текущей температуры входящего воздуха. Предполагается, что пользователь опытным путем настроит необходимые ему предельные скорости работы вентилятора под свою конкретную модель вентилятора, площадь и планировку вентилируемого помещения.

Параллельно с вычислением лимита скорости по температуре поступающего воздуха, контроллер вычисляет необходимую скорость работы по данным датчика CO₂. Для этого реализована установка целевого уровня CO₂ в помещении. Используя данные текущего уровня CO₂ и установленного значения целевого уровня, контроллер линейно увеличивает скорость, пропорционально уровню превышения фактического значения CO₂ над целевым. Для удобства, реализован настраиваемый порог целевого уровня CO₂ в помещении, доступный для настройки из Home Assistant.



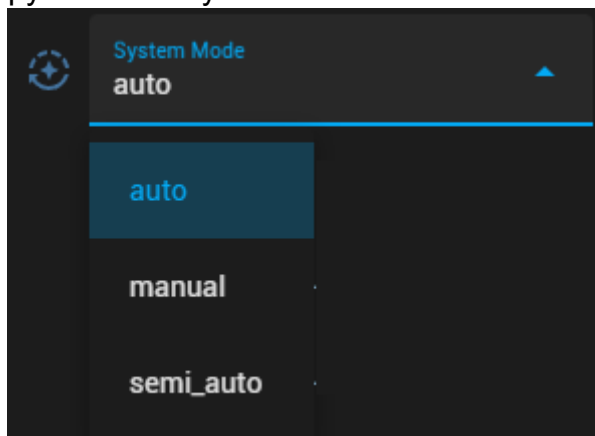
Итоговая скорость определяется наименьшим значением. Таким образом, лимит скорости по температуре всегда имеет приоритет над требуемой скоростью по датчику CO₂. Это позволяет не только ограничивать расход воздуха в холодный период, но и снижать скорость вентилятора вплоть до полного его отключения, когда уровень CO₂ в доме достигает заданной (как правило в случае отсутствия людей в вентилируемом помещении). Преимуществом данного алгоритма является простота настройки и оптимальная работа, которая позволяет поддерживать достаточно комфортный уровень CO₂, достигая при этом максимальной энергоэффективности и не принося дискомфорта от излишних потоков холодного воздуха.

Блок-схема основного расчета скорости для Автоматического режима:

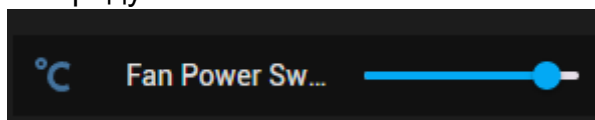


VI. Логика управления контроллером

В контроллере реализовано 3 основных режима работы: автоматический, ручной и полуавтоматический.



1. **Автоматический режим.** Работает на основной логике, описанной в разделе V. Дополнительно интегрирована возможность автоматического переключения обмоток вентилятора ERA Typhoon 160 2SP, расширяющая диапазон расхода воздуха вентилятора. Пользователю доступна настройка порога переключения обмоток от 0 до 30 градусов. Для исключения «дребезга» применяется гистерезис в 1 градус.

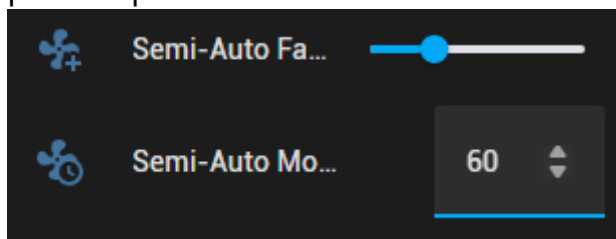


Кроме этого, в алгоритм определения итоговой скорости включена коррекция скорости с динамическим коэффициентом 1.4 при переключении обмоток, для исключения резкого перепада расхода воздуха. При использовании других вентиляторов данную логику необходимо изменить или удалить.

Данный режим является основным, он выбирается при загрузке контроллера, а также контроллер переходит в него при любых нештатных ситуациях.

2. **Ручной режим.** Позволяет вручную устанавливать скорость, а также включать, выключать вентилятор и переключать его обмотку (если доступно) на неопределенное время, пока есть связь с Home Assistant. Данная возможность представлена штатным компонентом «fan» платформы ESPHome. Реализована синхронизация скоростей и состояния данного компонента с фактической скоростью и состоянием в других режимах.

3. **Полуавтоматический режим.** Устанавливает заданную пользователем скорость на определенное им время. Настройка скорости и времени доступна из Home Assistant. Параметры применяются при выборе Полуавтоматического режима работы.



Контроллер позволяет использовать установку скорости от 0 до 100% на время от 1 до 600 минут (можно легко расширить или уменьшить диапазоны в коде).

Таким образом этот режим предоставляет пользователю возможность приостановить работу вентиляции или включить режим интенсивного проветривания на определенное время. После истечения времени контроллер перейдет в автоматический режим работы.

VII. Вспомогательная логика работы контроллера приточной вентиляции

В связи с тем, что код контроллера разрабатывался под конкретные комплектующие, перечисленные в разделе III, потребовалась реализация дополнительной логики для обеспечения их работы:

1. Преобразование диапазона управляющего напряжения из 0 – 10 вольт в 1 – 10 вольт. Связано с особенностью работы регулятора оборотов Cityron CTY-1.8. Данный контроллер перестает подавать переменный ток при управляющем напряжении ниже 1 вольта. В связи с этим, в основном программном выходе реализовано соответствующее масштабирование напряжения, которое применяется на финальном этапе установки скорости: 0% - 0V, 1% - 1.1V, 100% - 10V.

2. Разгон вентилятора (speedup). Вентилятор ERA Typhoon 2SP 160 корректно работает с регулятором оборотов Cityron CTY-1.8 при напряжении выше 100 вольт (около 15% скорости). Если вентилятор остановлен, напряжение ниже 100 вольт может не запустить его. При этом уже запущенный вентилятор корректно работает с низким напряжением, обеспечивая минимальный расход воздуха.

Так как логика работы контроллера предполагает его запуск с низких скоростей (5% и выше) для гарантированного запуска вентилятора реализована логика разгона (speedup) в коде виртуального выхода (template output). При каждом запуске вентилятора скриптом активируется защитный период на 10 секунд. Если сразу при включении или в течении времени защитного периода была попытка установки скорости ниже 15% - автоматически активируется вспомогательный режим speedup. В режиме speedup скорость принудительно устанавливается на 15% на 10 секунд игнорируя в течении этого времени любые другие запросы скоростей в любых режимах. По истечении 10 секунд контроллер устанавливает последнюю запрошенную скорость и продолжает работу в текущем основном режиме (автоматическом, ручном или полуавтоматическом).

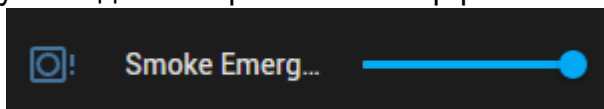
Данная логика гарантирует стабильный запуск приточного вентилятора с любых скоростей и должна быть полезна не только для конкретной модели ERA Typhoon 160 2SP, но и для других моделей вентиляторов после корректировки продолжительности и скорости в режиме разгона.

Ручных настроек режима разгона в контроллере не предусмотрено, так как ожидается что это системная логика, которая работает постоянно в жестко заданном режиме под конкретную модель вентилятора. Но при необходимости ее можно достаточно просто изменить или удалить из основного template выхода.

VIII. Аварийный режим работы

В контроллере предусмотрен аварийный режим для остановки вентиляции в случае неприемлемых показателей поступающего воздуха. В конкретном коде используется параметр концентрации дыма, отслеживаемый датчиком дыма MQ-2. Можно достаточно просто перепрофилировать режим под другой датчик, отслеживающий другие параметры или не использовать данный функционал.

В оригинальной версии датчик MQ-2 передает уровень задымления в процентах. Так как аналоговый датчик требует точной калибровки и настройки под конкретные условия работы, реализован порог срабатки аварийного режима, доступный для настройки из интерфейса Home Assistant.



При сработке предусмотрен гистерезис 10% - аварийный режим отменится после снижения уровня задымления на 10% ниже заданного. Для более эффективного отслеживания уровня дыма (или других соединений) в приточном канале после остановки вентиляции, предусмотрен режим периодической активации вентилятора с текущей скоростью автоматического режима каждые 20 минут на 30 секунд. Это позволяет эффективно обновить воздух в приточном канале и получить актуальные данные уровня загрязнения. Настроек периодичности и времени в Home Assistant не предусмотрено, так как это считается системным режимом, но их можно легко отредактировать напрямую в коде при необходимости.

Важно отметить, что данный режим работает только при активном Автоматическом режиме. Если до наступления события задымления были активны другие режимы (не относится к Разгону), то при активации аварийного режима автоматически активируется Авторежим и вентиляция отключится с периодическим проветриванием датчика. При этом в аварийном режиме у пользователя сохраняется возможность вручную установить Полуавтоматический или Ручной режим с любой установкой скорости, на любое время или снова включить Авторежим. Логика аварийного режима продолжит работу, а в основном статусе работы контроллера отображение состояния Задымления останется в любом режиме, пока не произойдет автоматическая отмена по достижении нужных показателей качества воздуха.

Так как сенсор MQ-2 требует качественной калибровки и отладки, для быстрого отключения аварийного режима предполагается установка порога в 100%. При этом сенсор MQ-2 ограничен показаниями 90%, таким образом при таком параметре аварийный режим никогда не будет активирован или немедленно отключится в случае неправильной активации. Так же необходимо обратить внимание на подключение MQ-2 к ESP32. Оптимальная точность работы достигается при питании датчика от 5 вольт. При этом необходимо подключать сигнальные провода к ESP через делитель, для согласования логических уровней 5В в 3.3В.

IX. Сборка и установка контроллера приточной вентиляции

1. Для надежности, простоты подключения и обслуживания рекомендуется сборка контроллера в стандартный корпус на DIN-рейку с последующим его монтажом в шкаф или электрический щит. Рядом с контроллером на DIN-рейке так же размещается:

- регулятор оборотов Cityron CTY-1.8;
- DC блок питания на 12 вольт, не менее 1 ампера (рекомендуется 2 ампера);
- защитный автомат на 2 ампера при подключении без канального подогревателя;

2. Рекомендуется применять 38-пин ESP32 плату типа WROOM вместе с платой расширения (фиолетовая). Данная плата устанавливается в 6-модульный корпус типа GИАНТА D6MG-BK. Для установки в конкретно эту модель корпуса необходима 3D-печать переходной детали, которая формирует крепление платы расширения, места для установки плат PW1VA01 и стабилизатора питания 5В, клеммных колодок;

3. Требуется пайка проводов от контактов платы расширения до клеммных зажимов. Рекомендуется применять провода толщиной 20-22 AWG в силиконовой изоляции. Для облегчения пайки можно использовать флюс-гель Amtech NC-559 или подобные;

4. Требуется печать лицевой заглушки с посадочными местами под дисплей и кнопку активации дисплея;

5. Установка датчиков тока предполагается в корпус вент-щита за пределами корпуса контроллера вентиляции;

6. При установке в 6-модульный корпус, будет доступно 24 точки подключения к клеммным колодкам. Предлагается следующая карта контактов:

КАРТА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ESP32 К КЛЕММНЫМ КОЛОДКАМ КОНТРОЛЛЕРА											
										Датчики температуры щита, чердака,	
Регулятор скорости СТУ-1.8	Резерв 0-10В	ОБЩИЙ	Реле переключения обмоток	Реле подогревателя	LM2596S	LM2596S	Датчик дыма MQ2	Бинарный вход MQ2	ОБЩИЙ	Датчик температуры входящего DS18B20	
0-10 V	0-10 V	GND	RELAY-1	RELAY-2	5 V	5V	GPIO33	GPIO32	GND	GPIO4	3.3V
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GPIO13	GPIO14	GND	GPIO26	GPIO27	5V	5 V	ADC1	ADC2	GND	1-wire	3.3 V
пины микроконтроллера ESP32						пины микроконтроллера ESP32					
										резистор 4 kOm	
					GPIO23	- кнопка дисплея					
			LR7843	-	GPIO25	- вентилятор охлаждения					
пины микроконтроллера ESP32						пины микроконтроллера ESP32					
VCC	LR7843	GND	GPIO21	GPIO22	3.3V	5 V	RX2	TX2	GND	RX1	TX1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12 V	12 V	GND	SDA	SCL	3.3 V	5V	GPIO16	GPIO17	GND	GPIO18	GPIO19
Внешний блок питания 12В	Вентилятор охлаждения	ОБЩИЙ	Датчики влажности SHT40		ESP32 LDO	LM2596S	Датчик тока вентиляторов PZEM-004T		ОБЩИЙ	Датчик тока подогревателя PZEM-004T	
			Датчик качества воздуха ENS160								
			Дисплей SSD1306								

Описание:

GPIO4 – 1-wire для датчиков температуры Dallas DS18B20
 GPIO13 – основной PWM выход на вентилятор (через PW1VA01)
 GPIO14 – дополнительный PWM выход (заслонка, вентилятор)
 GPIO26 – реле переключения обмоток

GPIO27 – реле подогревателя (так же встроенное реле доступно в Cityron CTY-1.8)
GPIO16 – RX UARTа датчика тока PZEM-004
GPIO17 – TX UARTа датчика тока PZEM-004
GPIO18 – RX UARTа датчика тока PZEM-004 (дополнительный)
GPIO19 – TX UARTа датчика тока PZEM-004 (дополнительный)
GPIO21 – SDA шины I2C для датчиков
GPIO22 – SCL шины I2C для датчиков
GPIO23 – кнопка активации дисплея
GPIO25 – реле внутреннего вентилятора охлаждения
GPIO32 - датчик дыма MQ-2 цифровой сигнал (требуется делитель при питании от 5В)
GPIO33 – датчик дыма MQ-2 аналоговый сигнал (требуется делитель при питании от 5В)

Компоненты для сборки:

№	Наименование	Примерная цена (2025 г.)	Где приобрести
1.	Корпус для РЭА на DIN-рейку D6MG	650р	OZON, ЧипДип
2.	Плата ESP32 Wroom с платой расширения	500р	AliExpress, OZON
3.	Конвертер ШИМ PW1VA01, 2 шт.	300р	AliExpress
4.	DC-DC преобразователь LM2596(S)	250р	OZON, AliExpress
5.	Драйвер управления нагрузкой LR7843	250р	OZON, AliExpress
6.	OLED-дисплей I2C SSD1306	200р	OZON, AliExpress
7.	Клеммные колодки винтовые	150р	Розничные магазины электротоваров
8.	Провода в силиконовой изоляции 20-22 AWG	400р	AliExpress, OZON
9.	Стойки для печатных плат М3 25-30 мм 4 шт.	300р	OZON, AliExpress
10.	Тактовая кнопка	150р	OZON, AliExpress
11.	3D-печать	50р	При наличии собственного 3D-принтера

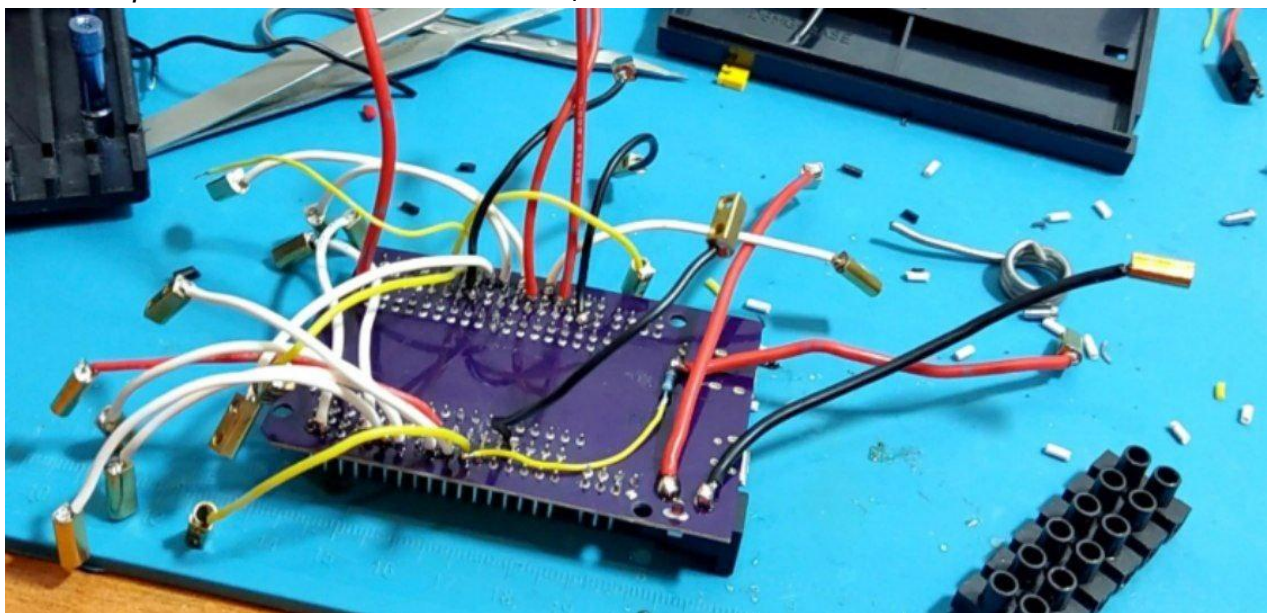
Итоговая стоимость комплектующих для контроллера составит около **3 тысяч рублей** в ценах 2025 года.

Основные этапы сборки:

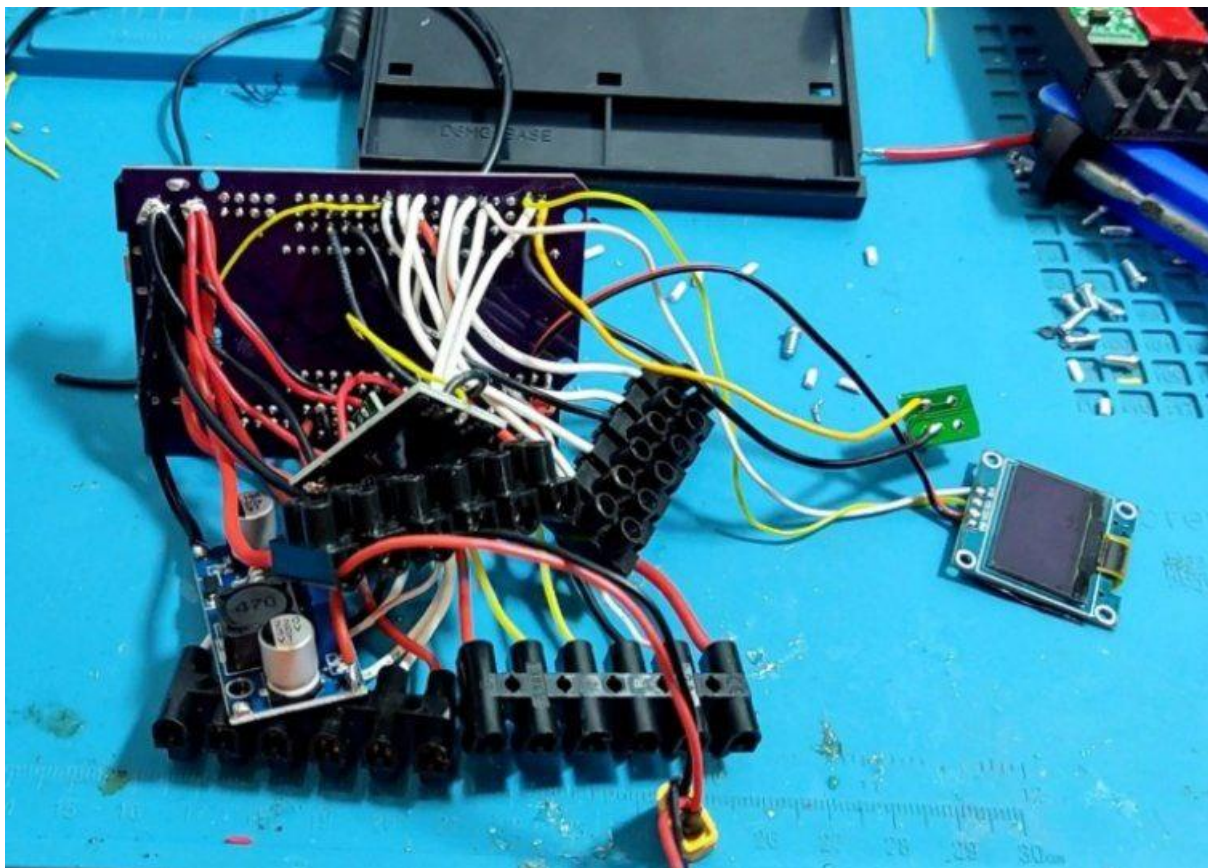
Комплектующие для сборки:



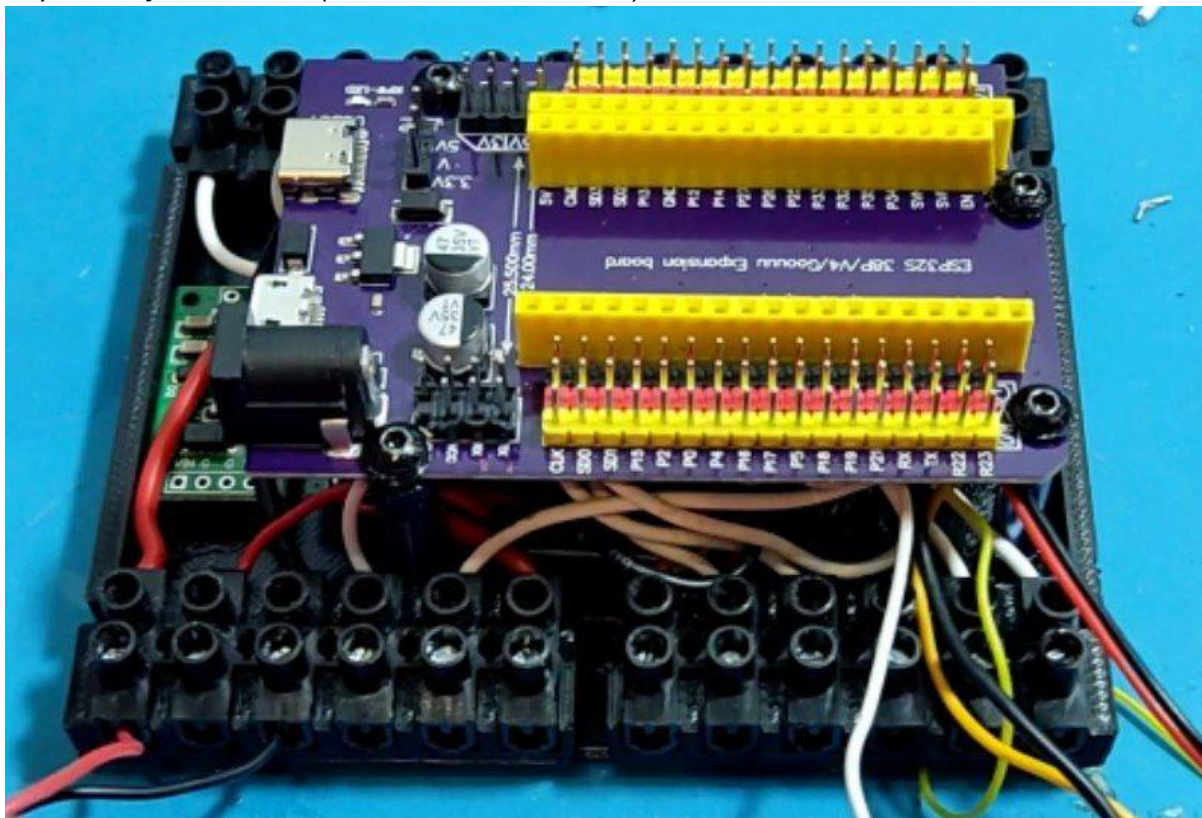
Пайка проводов к контактным площадкам и клеммным зажимам:



Установка клеммных колодок в соответствии с картой контактов и пайка вспомогательных плат:



Установка платы расширения, вспомогательных плат и клеммных колодок на переходную деталь (3D-печать из PETG):



Установка переходной детали вместе с контроллером в основной корпус:



Финальный вид:



Расшифровка индикации статусного дисплея:

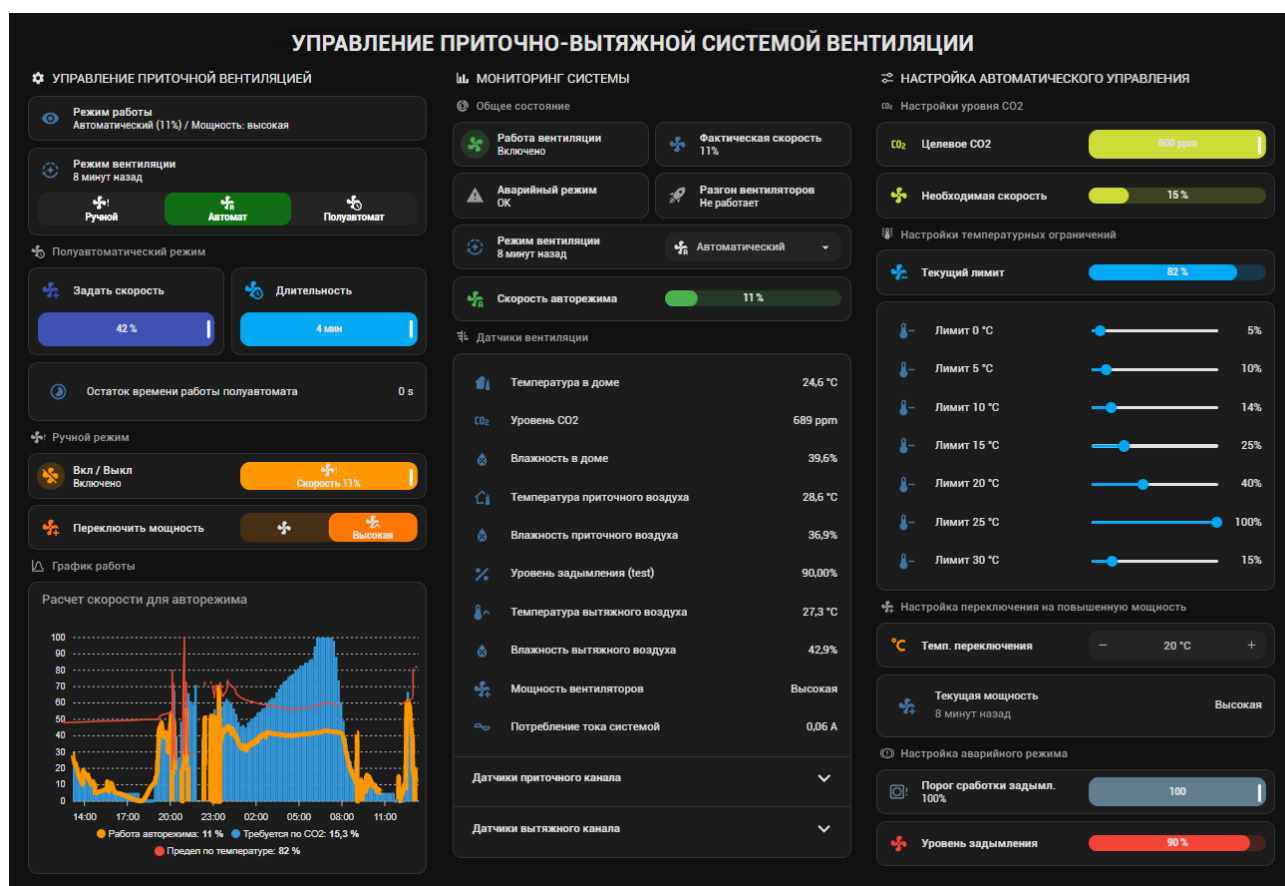


Х. Настройка интерфейса Home Assistant

Для удобства работы предлагается корректно настроить интерфейс lovelace в Home Assistant для полноценного мониторинга и управления контроллером. Для оптимальной работы рекомендуется использовать компоненты slider-entity-row, а также кастомные карточки, такие как:

- github.com/Nerwyn/custom-card-features
- github.com/RomRider/apexcharts-card

Примерный вид интерфейса Home Assistant для управления контроллером:



XI. Дополнительная информация

Отказ от ответственности

Данный проект системы вентиляции на базе ESPHome предоставляется и распространяется по принципу «как есть» (as-is), без каких-либо явных или подразумеваемых гарантий. Автор не гарантирует корректность работы, безопасность или пригодность решения для конкретных условий эксплуатации.

Использование материалов проекта осуществляется на ваш собственный риск. Вы самостоятельно несете ответственность за любые последствия, включая возможный ущерб оборудованию, имуществу или здоровью, возникшие в результате применения предложенных решений. Перед внедрением системы настоятельно рекомендуется:

- провести аудит кода на соответствие стандартам безопасности;
- протестировать решение в контролируемых условиях;
- убедиться в соблюдении норм и правил эксплуатации инженерных систем.

Участие сообщества

Автор приветствует любой вклад в развитие проекта, а также публикацию кода на площадке GitHub для совместного исправления ошибок, оптимизации и реализации новых идей.

Благодарю за интерес к проекту!

XII. История изменений

- 1.0 – 23.05.2025 – первая публичная версия.
- 1.1 – 26.05.2025 – добавлены фото сборки контроллера, обновлена карта подключения, обновлена инструкция по сборке, добавлены фото этапов сборки, мелкие правки текста.