

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 приточного вентилятора и температурой электрического нагревателя 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 ЕС-вентилятор, управляемый сигналом PWM или 0-10В с выводом тахометра (необязательно)** – канальный вентилятор с DC-двигателем, имеющий встроенный электронный контроллер управления скоростью, предпочтительно с датчиком оборотов (тахометром), например Dastech HDD/HF-xxxPE или Sensdar SE-Axxx E-01;
2. **Конвертер ШИМ-сигнала PW1VA01 (при необходимости)** – преобразовывает ШИМ-сигнал в напряжение 0-10 вольт в зависимости от частоты импульсов ШИМ. Необходим, если вы подключаете управляющий сигнал через 0-10В;
3. **PTC-нагреватель, управляемый через SS-реле (SSR)** – нагревательный элемент в корпусе с электроникой, обычно SSR с термостатами защиты от перегрева (например, Naveka PTC 1.9A) под ваш диаметр воздуховодов;
4. **Плата ESP32 WROOM (2 шт.)** – установлена в основной контроллер, обеспечивающий получение данных с датчиков, вычисление необходимой скорости работы и передачу управляющего сигнала на вентилятор, реле и нагреватель; а так же в качестве дополнительной платы, играющей роль локального контроллера нагревателя;

5. **Датчики температуры Dallas DS18B20 (2 шт.)** – основные температурные датчики, устанавливаемые в приточный канал до и после нагревателя и предназначенный для измерения температуры входящего (поступающего) уличного воздуха и нагретого приточного воздуха;
6. **OLED-дисплей SSD1306 (2 шт.)** – необходим для индикации основных параметров работы контроллера; опционально устанавливается и в нагреватель;
7. **Кнопка без фиксации (2 шт.)** – служит для активации дисплея на определенный период времени; опционально устанавливается и в нагреватель;
8. **Конвертер TTL в RS485 на базе чипа XY-017 (2 шт.)** – служит для преобразования UART-интерфейса ESP32 в Modbus-интерфейс. Необходим для соединения контроллера нагревателя с основным контроллером вентиляции на большом расстоянии (несколько метров и больше);
9. **AC-DC блок питания 5В 2А** – необходим для питания контроллера нагревателя, датчика температуры и других устройств в нем;
10. **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 необходимо (с помощью дополнительных конвертеров XY-017) и таким образом создать полностью автономную систему, независимую от Wi-Fi доступности сервера HA;
11. **Релейный модуль с опторазвязкой двухканальный** – опциональный компонент. Служит для коммутации секций РТС-элемента нагревателя. Помогает оптимизировать нагрев в условиях разной температуры и расхода воздуха;
12. **Энергетический датчик PZEM-004T (v.3.0, лучше 4.0)** – опциональный компонент. Служит для мониторинга потребления электроэнергии нагревателем, что позволяет активировать функционал ограничения потребления энергии приточной системой вентиляции;
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. Принципы и общая схема работы приточной системы

1. Основными принципами проекта являются: автономность, отказоустойчивость, простота настройки и предсказуемость работы приточной системы. Несмотря на кажущуюся сложность, регулировка уже настроенной системы вентиляции сводится лишь к нескольким параметрам: желаемой температуре, CO2 и потребляемого электричества.

2. Аппаратно приточная система разделена на два контроллера: контроллер вентиляции (основной) и контроллер нагревателя (вспомогательный). Несмотря на то, что технически возможно все реализовать в одном контроллере, на практике правильнее будет разделить перемещение и нагрев воздуха по следующим причинам:

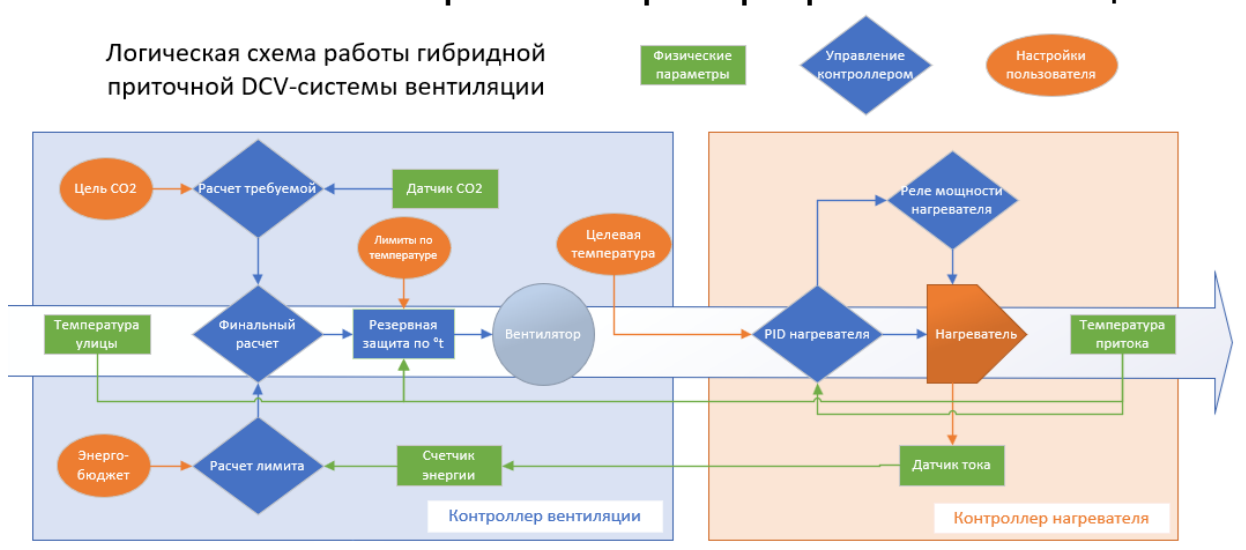
- Сложность кода: суммарно код двух контроллеров содержит более 3 тысяч строк кода конфигурации yaml;
- Сложность коммутации: дополнительная проводка к реле и датчикам нагревателя от основного контроллера затруднит монтаж;
- Теплотери: основная причина разделения нагревателя и вентилятора.

Важно понимать, что текущая архитектура приточной системы вентиляции создавалась в контексте конкретного места установки, а именно: неотапливаемый чердак частного жилого дома. В связи с тем, что вентканалы проходят по чердаку, присутствуют ощутимые теплотери несмотря на утепление (приблизительно 0,2-0,5 градуса на метр воздуховода). Для их минимизации оптимальна установка электрического нагревателя непосредственно перед разделением основной магистрали на ветки (в идеале, перед камерой статического давления). Установка вентилятора напротив, рекомендуется как можно дальше от вентиляционных выходов в доме, для минимизации уровня шума и вибраций.

Таким образом, расстояние между вентилятором и нагревателем в случае автора составило около 10 метров и сделало целесообразным разделение приточного вентилятора и электрического нагревателя.

В случае установки системы над натяжным или каркасным потолком или других отапливаемых местах возможно целесообразнее объединить контроллеры вентиляции и нагревателя.

V. Основная логика работы контроллера приточной вентиляции



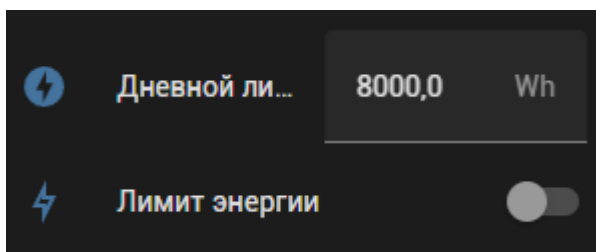
Данный код контроллера приточной вентиляции основан на принципе поддержания необходимого уровня CO₂ в помещении. Параметр уровня CO₂ является основным ориентиром для определения необходимой скорости работы вентилятора и, соответственно, регулировки расхода воздуха и его нагрева в случае необходимости. 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 были реализовано компромиссное решение – ограничение скорости работы вентилятора (и соответственно расхода воздуха) в зависимости от температуры поступающего воздуха и потребленной электроэнергии (опционально). Это позволяет установить лимит потребляемого электричества для экономии зимой или, в случае отсутствия канального подогревателя, – уменьшения сквозняков и холодных потоков воздуха до комфортного уровня.

Итоговая скорость вентилятора формируется из целевого значения, рассчитанного по датчику CO₂ и ограничивается двумя ступенями: бюджетом энергии и температурой приточного воздуха. Обе ступени можно отключить или настроить таким образом, чтобы они не ограничивали скорость, рассчитанную по датчику CO₂.

1. Ограничитель по лимиту энергии

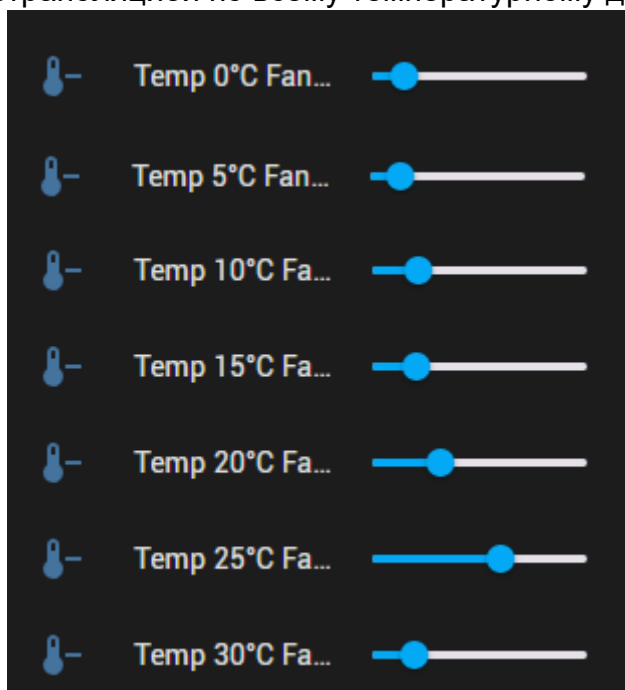
Со стороны пользователя, для активации бюджета энергии необходимо установить лимит электричества на сутки в Вт*ч (например, 10000 это 10 кВт) и активировать соответствующий переключатель. Данные сущности доступны в Home Assistant через API. Так же необходим подключенный счетчик энергии от датчика PZEM-004T. В коде контроллера реализован виртуальный сенсор энергетического лимита скорости, который рассчитывает текущий rate расхода энергии и на основе PI-регулятора формирует предельную скорость вентилятора в зависимости от доступного остатка энергии. Если функция лимита по энергии активна, то итоговая скорость вентилятора ограничивается в соответствии с лимитом. Это приводит к недостатку воздухообмена и некоторому росту CO₂. Предполагается что пользователь сам настроит под себя необходимый баланс потребления электричества и концентрации CO₂.



Стоит отметить, что расчет скорости по лимиту энергии сильно зависит от физических характеристик нагревателя и вентилятора и может потребовать подстройки PI-коэффициентов под конкретное оборудование.

2. Ограничитель по температуре воздуха

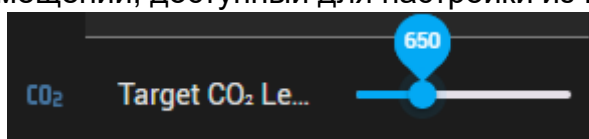
Определение предельной скорости предполагается с помощью настройки температурной кривой лимита скоростей вентилятора. Температурная кривая реализована в коде контроллера в виде семи точек от 0 до 30 градусов с шагом 5 градусов. Данные точки доступны в Home Assistant через API и предполагают установку 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.

3. Целевая скорость по датчику CO2

Параллельно с вычислением лимитов скорости по потребленной энергии и 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.



4. Формирование итоговой скорости

Итоговая скорость определяется наименьшим значением из трех вычисленных скоростей: лимита энергии, температурных ограничений и требования CO2. Если

активатор лимита энергии неактивен, используются две скорости (температурный лимит и требования CO₂). Таким образом, если лимит скорости по доступной энергии включен, то он имеет приоритет над требуемой скоростью по датчику CO₂, но одновременно с этим лимит скорости по температуре активен всегда и имеет высший приоритет.

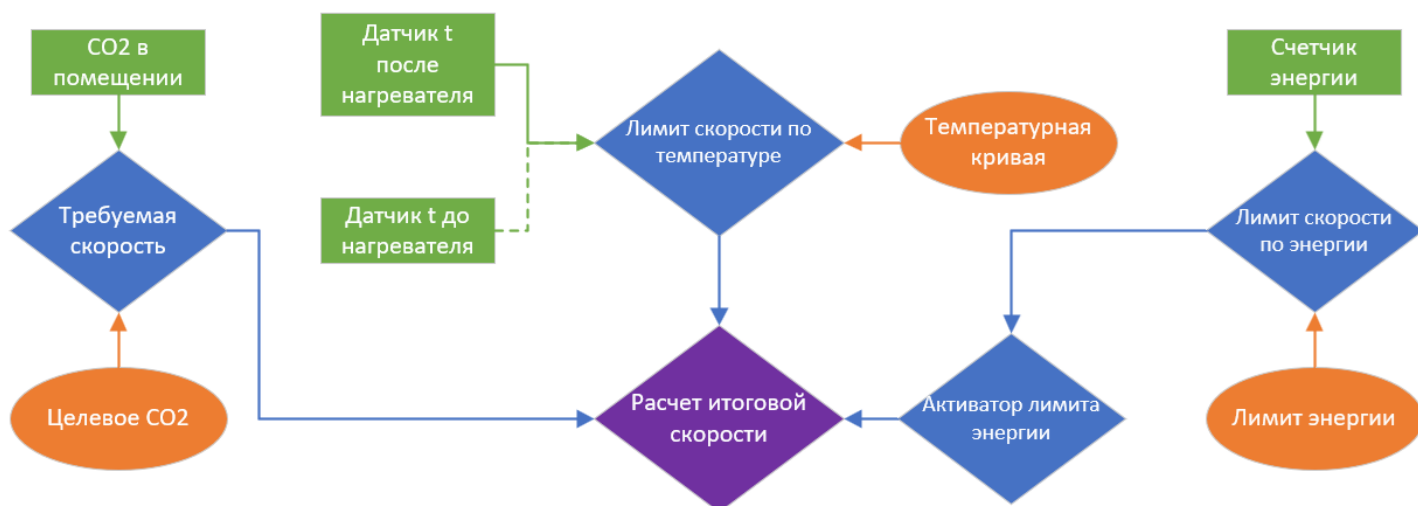
5. Дополнительные особенности работы алгоритма

В системах с установленным электрическим нагревателем (по умолчанию в данной конфигурации) контроллер обладает данными с двух температурных датчиков: до и после нагревателя. Основным является датчик после нагревателя. С ним по умолчанию работает PID-алгоритм нагревателя, а также виртуальный датчик расчета скорости по лимиту температуры. Таким образом, в случае отказа нагревателя, скорость вентилятора будет автоматически регулироваться согласно температурному лимиту.

Кроме того, предусмотрено резервирование датчика температуры. В случае отказа датчика приточного воздуха (после нагревателя), контроллер автоматически переключится на датчик входящего (уличного воздуха) и скорость продолжит регулироваться по температурным лимитам.

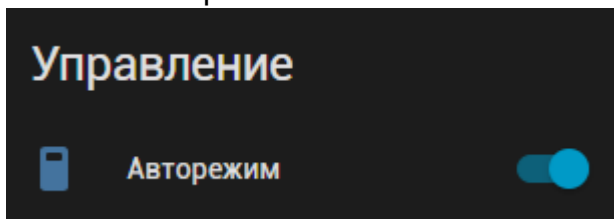
Данный алгоритм позволяет не только ограничивать расход энергии или воздуха в холодный период, но и снижать скорость вентилятора вплоть до полного его отключения, когда уровень CO₂ в доме достигает заданной (как правило в случае отсутствия людей в вентилируемом помещении). Преимуществом данного алгоритма 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*:



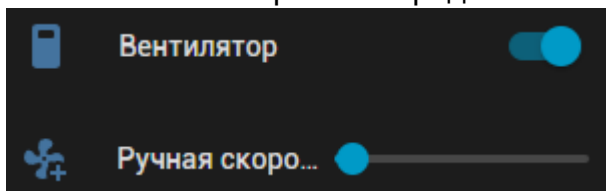
VI. Логика управления контроллером

Контроллер работает в двух основных режимах: ручной и автоматический (авторежим). По умолчанию контроллер загружается с включенным автоматическим режимом.

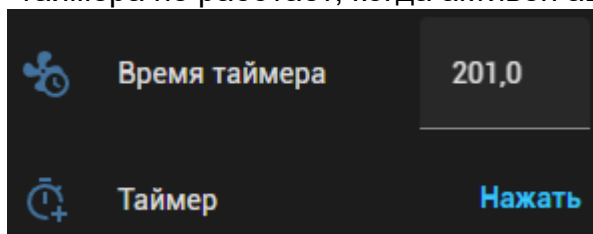


1. **Автоматический режим.** Работает на основной логике, описанной в разделе V. Данный режим является основным, он активируется при загрузке контроллера, а также контроллер переходит в него при любых нештатных ситуациях.

2. **Ручной режим.** Позволяет вручную устанавливать скорость, а также выключать вентилятор на неопределенное время, пока есть связь с Home Assistant.



2.1. **Опция таймера.** В ручном режиме у пользователя есть возможность установить таймер (в минутах) для перехода в авторежим. Это позволяет временно приостановить работу вентиляции или включить режим интенсивного проветривания на определенное время. После истечения времени контроллер перейдет в автоматический режим работы. Кнопка таймера не работает, когда активен авторежим.



VII. Вспомогательная логика работы контроллера приточной вентиляции (системная логика, не настраиваемая в Home Assistant).

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 1.5 – 10 вольт. Связано с особенностью работы ЕС-вентилятора Dastech HDD-200PE, который работает при напряжении 1-1.5В. В связи с этим, в основном программном выходе реализовано соответствующее масштабирование напряжения, которое применяется на финальном этапе установки скорости. Данные параметры можно подстроить под свой вентилятор.

2. **Разгон вентилятора (speedup).** ЕС-вентилятор Dastech HDD-200PE в соответствии с инструкцией должен запускаться при управляющем напряжении не ниже 3 вольт. Так как логика работы контроллера предполагает его запуск с низких скоростей (1% и выше) для корректного запуска вентилятора реализована логика

разгона (speedup). 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, соответствующей ниже 3В управляющего напряжения - автоматически активируется вспомогательный режим speedup. В режиме speedup принудительно устанавливается 3В управляющего напряжения 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 Dastech HDD-200PE, но и для других моделей вентиляторов после корректировки продолжительности и управляющего напряжения в режиме разгона.

3. *Калибровочная таблица скоростей.* В коде реализована калибровочная таблица для задания линейного соответствия процентов скорости по оборотам вентилятора. Так как расход воздуха почти напрямую зависит от количества оборотов вентилятора, пользователь может задать соответствие физических оборотов логическим процентам скорости. Для определения значений требуется тахометр (датчик оборотов) вентилятора (поддерживается в коде).

Пример: рабочие обороты вентилятора от 500 до 3500 RPM, конечные точки: 500 RPM – 1%, 3500 – 100% т.е. диапазон 3000 оборотов. Необходимо узнать промежуточные точки: в ручном режиме определить логический процент, который соответствует определенным оборотам. Для 10% оборотов определяем логический процент скорости на 800 RPM (500+300), например он будет 15% - следовательно в таблице задаем соответствие 15% -> 10%. И так далее, для оптимальной калибровки требуется 10-15 точек.

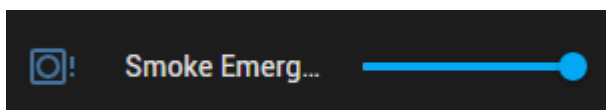
Если калибровочная таблица задана, устанавливаемый процент скорости будет точно соответствовать проценту от рабочего диапазона оборотов вентилятора, что должно обеспечить более линейный расход воздуха. Но данный функционал необязателен, и можно его не применять в работе. По умолчанию заданы 10 точек без данного преобразования.

Вышеописанная системная логика в коде собрана в едином скрипте apply_speed, который применяется при любом изменении скорости. Настройка параметров его работы под конкретный вентилятор задается в константах скрипта.

VIII. Аварийный режим работы основного контроллера вентиляции

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.



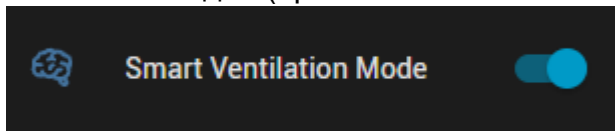
При сработке предусмотрен гистерезис 10% - аварийный режим отменится после снижения уровня задымления на 10% ниже заданного. Для более эффективного отслеживания уровня дыма (или других соединений) в приточном канале после остановки вентиляции, предусмотрен режим периодической активации вентилятора с 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 Авторежим не был активен, то при активации аварийного режима автоматически активируется Авторежим и вентиляция отключится с периодическим проветриванием датчика. При этом в аварийном режиме у пользователя сохраняется возможность отключить авторежим и самостоятельно установить любую скорость 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. Экспериментальный функционал

В качестве эксперимента в контроллере реализован триггер отсутствия людей в доме, который при активации отключает нагреватель приточной системы и повышает скорость вентилятора для более быстрого проветривания. Это позволяет экономить расход электроэнергии и использовать ее дневной лимит позже в течении дня (при включенном лимите энергии).



Данный триггер двухступенчатый и требует первичного сигнала отсутствия людей в доме от сервера Home Assistant:

1-ая ступень: сработка триггера отсутствия людей в доме по данным Home Assistant (например, отключились от wi-fi все смартфоны членов семьи, выключен ТВ, нет сработок от датчиков присутствия);

2-ая ступень: контроллер вентиляции при получении сигнала отсутствия людей по данным НА анализирует уровень CO₂ в доме – если наблюдается устойчивое снижение в течении 5-10 минут – активирует основной триггер отсутствия.

При активном триггере:

- нагреватель блокируется (отключается);
- сенсор автоскорости принудительно переключается на скорость по CO₂ минуя все ограничения с множителем 1,5 (на 50% выше);
- триггер сбрасывается по достижению скорости по CO₂ = 0%
- триггер так же сбрасывается при получении сигнала присутствия людей по данным Home Assistant.

По умолчанию функционал умной вентиляции отключен. Если данный функционал не планируется к использованию можно удалить switch: и interval: относящийся к данному режиму из кода конфигурации контроллера.

X. Логика работы системы подогрева

При наличии приточного нагревателя и связи с ним по Modbus, контроллер позволяет автоматически включать его и поддерживать заданную пользователем температуру. Для этого в контроллере реализован параметр целевой температуры приточного воздуха. Если температура после нагревателя окажется ниже заданной, контроллер автоматически включит нагреватель и будет поддерживать с помощью него заданную температуру.

Контроллер вентиляции принимает от нагревателя по Modbus следующие данные:

- температуру приточного воздуха (после подогрева);
- потребляемую электрическую мощность;
- текущий ток нагревателя;
- счетчик потребленной энергии;
- текущий режим нагревателя;
- флаги разрешения работы и перегрева нагревателя.

Контроллер вентиляции передает нагревателю по Modbus следующие данные:

- команды включения и отключения нагревателя;
- целевую температуру нагрева;
- сигнал сброса счетчика энергии (раз в сутки);
- текущие обороты с тахометра вентилятора (при наличии).

В системе нагревателя реализована необходимая защита для работы:

1. Отключение при неработающем вентиляторе
2. Отключение при перегреве.
3. Отключение при отсутствии связи с основным контроллером по Modbus.

Подробнее логика работы нагревателя описана в разделе логики работы контроллера нагревателя приточной вентиляции.

XI. Контроллер нагревателя приточной вентиляции

Контроллер приточного нагревателя, это отдельный локальный контроллер на базе ESP32, размещенный в корпусе нагревателя. Он непосредственно управляет исполнительными устройствами нагревателя, а также считывает показания с датчиков.

Нагреватель приточной вентиляции представляет собой модифицированный нагреватель Naveka PTC 1.9. Оригинальное устройство состоит из:

1. Нагревательного PTC-элемента на 1.9 кВт
2. Твердотельного реле (SSR)
3. PID-регулятора REX-C100 с термопарой
4. Контактora
5. Термостатов защиты от перегрева

Из-за отсутствия возможности удаленной уставки температуры в ПИД-регуляторе REX C-100 было принято решение о замене его на ESP32. При этом были добавлены дополнительные устройства. Модифицированный нагреватель состоит из:

1. Нагревательного PTC-элемента на 1.9 кВт
2. Контроллера ESP32
3. Твердотельного реле (SSR)
4. Двухканальной релейной платы
5. ~~PID-регулятор REX-C100 с термопарой~~ (заменено на ESP32)
6. ~~Контактор~~ (удален)
7. Термостатов защиты от перегрева
8. Энергетического датчика PZEM-004T
9. Датчика температуры DS18B20
10. Дисплея SSD1306
11. AC-DC 5V 2A блока питания
12. Конвертера XY-017 (для интерфейса Modbus).

1. Общая схема управления нагревом

Основным силовым управляющим элементом остается штатное твердотельное реле (SSR), которое получает управляющий сигнал напрямую от GPIO ESP32. Управляющий сигнал формируется программным PID-контроллером ESPHome через платформу `slow_pwm` с циклом 10 секунд. Сенсором обратной связи является датчик температуры DS18B20. Для улучшения стабильности нагрева реализована схема динамического подключения секций нагревателя с помощью платы с двумя электромеханическими реле.

Нагревательный PTC-элемент в Naveka PTC 1.9 содержит в себе 3 секции, которые могут быть запитаны отдельно. В обновленной схеме нагревателя две боковые секции подключены через одно реле, а центральная секция через второе. Это реализует две аппаратных ступени мощности примерно в 1200 и 700 ватт. Таким образом, комбинируя включения реле можно задавать аппаратную мощность нагревателя 0, 700, 1200 и 1900 ватт.

Программный код контроллера нагревателя содержит в себе алгоритм автоматического переключения реле мощности в зависимости от текущего уровня PID-сигнала. Например, если при мощности 700 ватт сигнал PID длительное время выше 70%, контроллер автоматически переключает реле на мощность 1200 ватт и наоборот. Благодаря этому контроллер более точно удерживает температуру воздуха, что полезно при сильных колебаниях расхода воздуха и его температуры. Кроме того, программный код защищает электромеханические реле выполняя переключение без нагрузки, только когда SSR неактивно. Это сильно продлевает срок службы реле и практически исключает ситуацию с залипанием контактов.

2. Аварийная защита нагревателя

1) Программная по температуре воздуха

Контроллер принудительно заблокирует SS-реле и отключит электромеханические, если температура датчика DS18B20 превысит заданное значение (по умолчанию в коде 45 градусов, можно изменить). При этом в регистре Modbus передается активный аварийный флаг перегрева.

2) Программная по оборотам вентилятора

Контроллер принудительно заблокирует SS-реле и отключит электромеханические, если обороты вентилятора опустятся ниже заданного минимума (в случае с Dastech HDD-200PE это 350 RPM). При этом в регистре Modbus флаг разрешения работы будет передаваться неактивным.

3) Программная по связи с контроллером вентиляции

Контроллер принудительно заблокирует SS-реле и отключит электромеханические, если более 20 секунд не поступали данные от основного приточного контроллера по Modbus. При этом в регистре Modbus флаг разрешения работы будет передаваться неактивным.

4) Аппаратная по температуре

В модифицированной версии штатные термостаты защиты от перегрева размыкают не катушку контактора, а питание AC-DC 5В блока питания, от которого запитан контроллер и катушки электромеханических реле. При сработке защитного термостата обесточенные катушки реле размыкают питающие контакты секций РТС-нагревателя, а SS-реле дополнительно перестает подавать ток, так как не получает сигнала от обесточенного контроллера.

5) Физическая защита

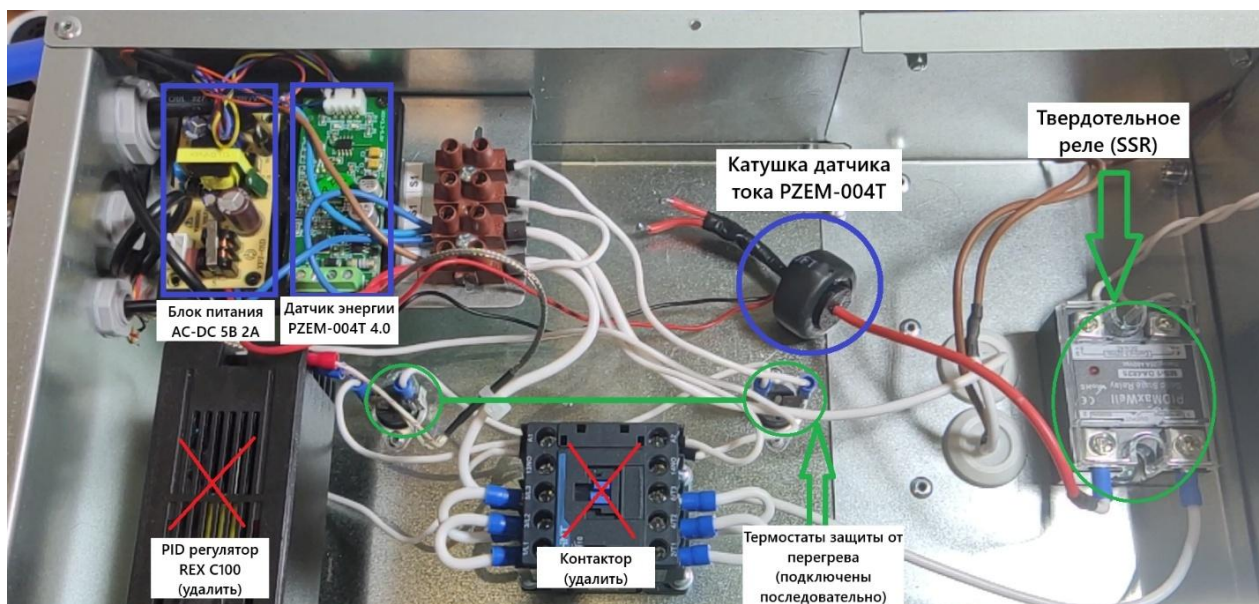
РТС-элемент сам по себе снижает ток и соответственно нагрев при повышении температуры. Защитный автомат на 10А по линии питания нагревателя обязателен и защитит от превышения тока.

Дополнительные примечания.

Электромеханический контактор был исключен из схемы, так как при работе его обмотки издадут ощутимо слышимый гул в ночное время в канале вентиляции.

XII. Модернизация нагревателя

Электронные компоненты нагревателя Naveka РТС 1.9 расположены в нижнем отсеке. Для доступа к нему необходимо снять нижнюю крышку нагревателя. На фото ниже представлен промежуточный этап модернизации нагревателя, установлены блок питания и датчик энергии:



Основной блок электроники (для удобства и надежности установки рекомендуется печатать переходной детали):

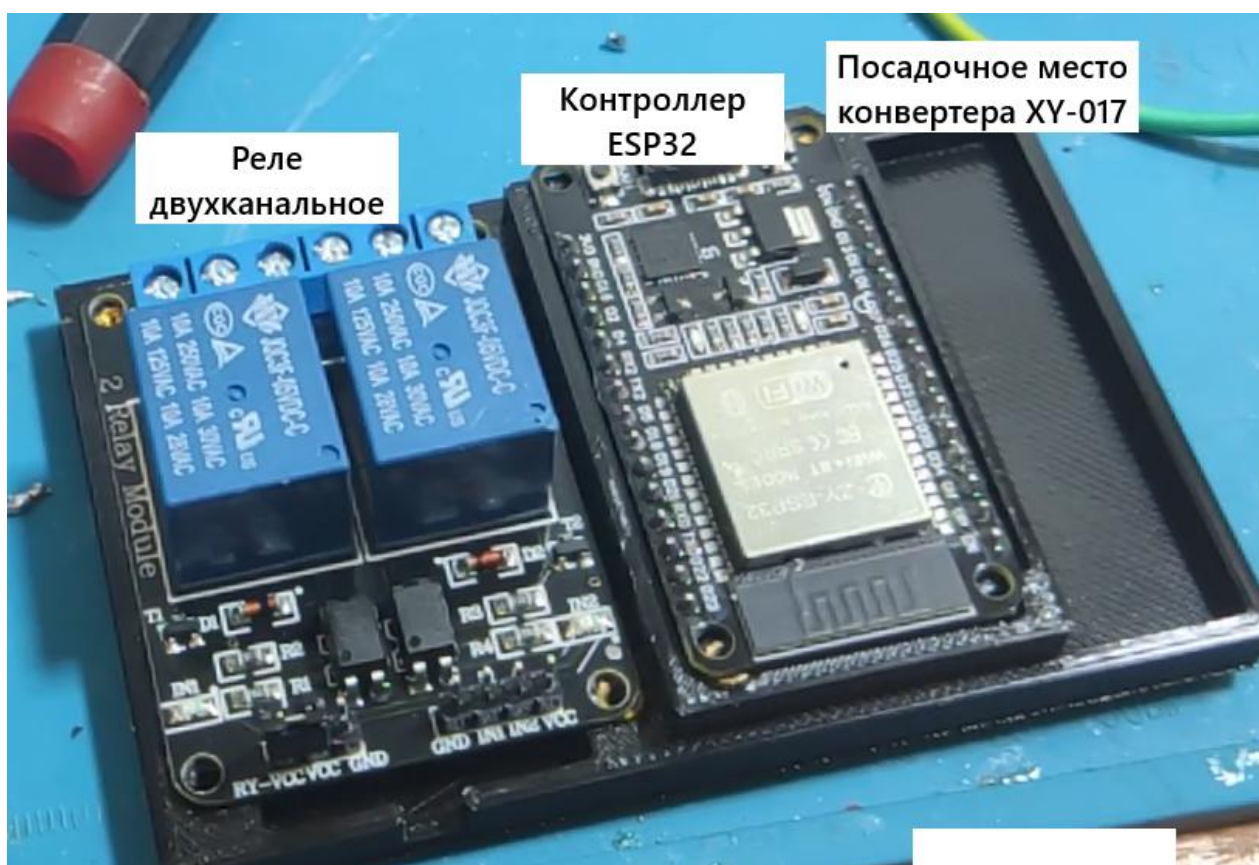
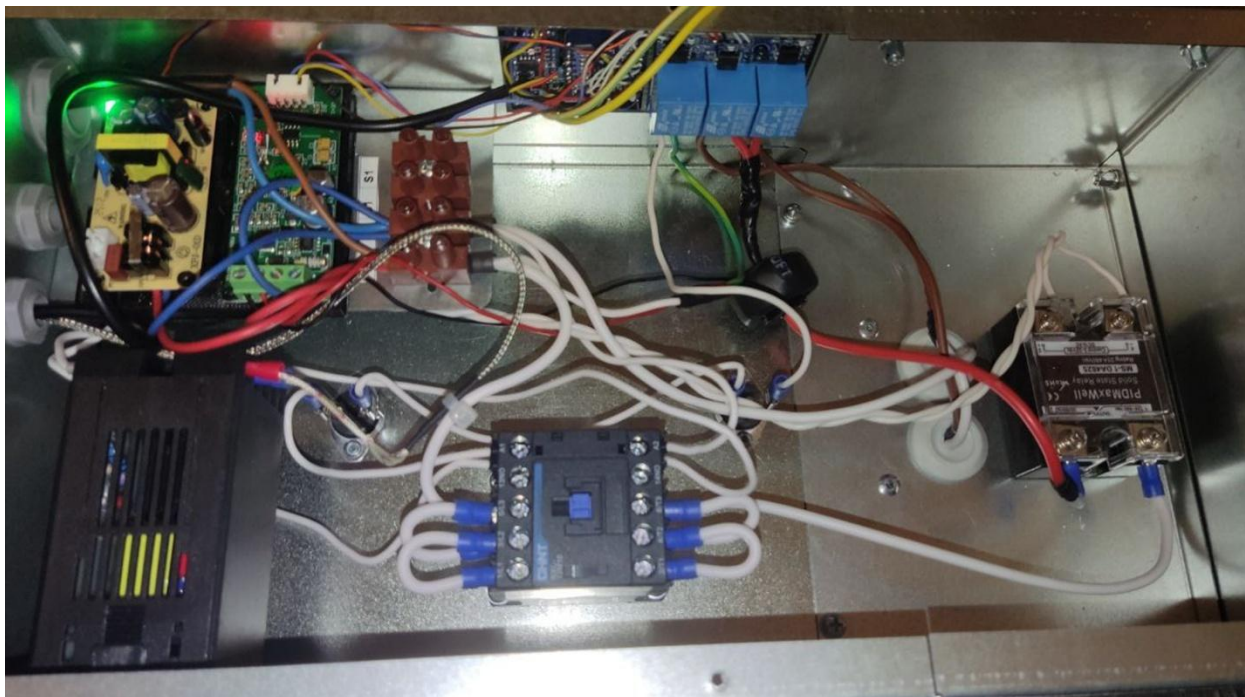
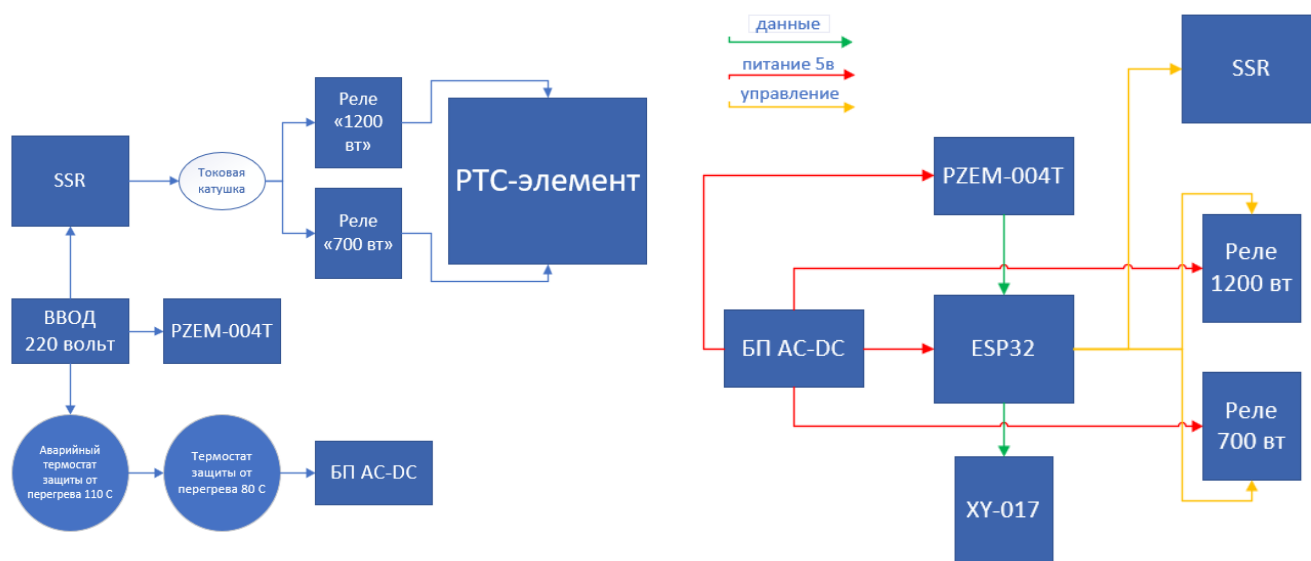


Фото тестовой сборки (до удаления REX C-100 и контактора):



Высоковольтная и низковольтная схемы подключения:



Рекомендации:

- возможна установка дисплея SSD1306 для отображения основных параметров (в коде предусмотрено);
- крайне желателен тахометр вентилятора для определения фактической работы и движения воздуха.
- проще и дешевле собрать приточный нагреватель самостоятельно на базе корпуса карманного фильтра и PTC-элемента на 1500-2000 ватт. Кроме этого потребуется приобрести SSR например PIDmaxwell ms-1 da4825 и опционально биметаллический защитный термостат.

XIII. 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:

- DC блок питания на 12 вольт, не менее 1 ампера (рекомендуется 2 ампера);
- защитный автомат на 2-6 ампер в зависимости от мощности вентиляторов;
- отдельный защитный автомат нагревателя с подходящим для нагревателя номиналом.

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,			
Управление вентилятором	Заслонка 0-10В	ОБЩИЙ	Сенсор оборотов вентилятора	Доп. датчик DS18B20	LM2596S	LM2596S	Датчик дыма MQ2	РЕЗЕРВ	ОБЩИЙ	Датчик температуры входящего DS18B20			
0-10 V	0-10 V	GND	FAN_TACH	1-wire (2)	5 V	5V	ADC1	ADC2	GND	1-wire	3.3V		
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
GPIO13	GPIO14	GND	GPIO26	GPIO27	5V	5 V	GPIO33	GPIO32	GND	GPIO4	3.3 V		
пины микроконтроллера ESP32						пины микроконтроллера ESP32						резистор 4 kOm	
						GPIO23 - кнопка дисплея							
LR7843						-	GPIO25 - вентилятор охлаждения						

Описание:

GPIO4 – 1-wire для датчиков температуры Dallas DS18B20
GPIO13 – основной PWM выход на вентилятор (через PW1VA01)
GPIO14 – дополнительный PWM выход (заслонка, вентилятор)
GPIO26 – провод тахометра от вентилятора (крайне желателен)
GPIO27 – дополнительный 1-wire для датчиков температуры Dallas DS18B20
GPIO16 – RX UARTа датчика тока PZEM-004
GPIO17 – TX UARTа датчика тока PZEM-004
GPIO18 – RX конвертера XY-017 для контроллера Modbus нагревателя
GPIO19 – TX конвертера XY-017 для контроллера Modbus нагревателя
GPIO21 – SDA шины I2C для датчиков
GPIO22 – SCL шины I2C для датчиков
GPIO23 – кнопка активации дисплея
GPIO25 – реле внутреннего вентилятора охлаждения
GPIO32 – резервный цифровой пин
GPIO33 – датчик дыма MQ-2 аналоговый сигнал (делитель при питании от 5В)

Компоненты для сборки:

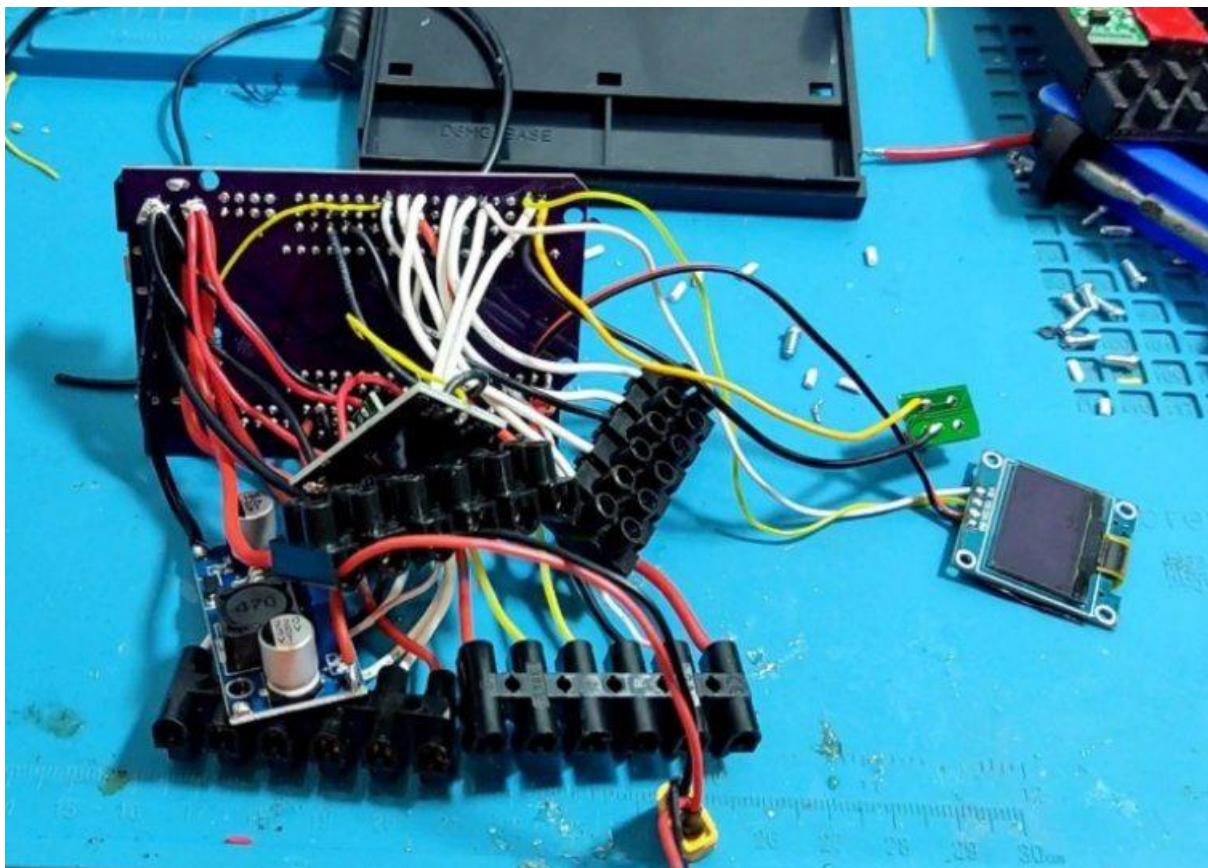
№	Наименование	Примерная цена (2025 г.)	Где приобрести
1.	Корпус для РЭА на DIN-рейку D6MG	650р	OZON, ЧипДип
2.	Плата ESP32 Wroom с платой расширения	500р	AliExpress, OZON
3.	Конвертер ШИМ PW1VA01, 2 шт.	300р	AliExpress
4.	DC-DC преобразователь LM2596(S)	250р	OZON, AliExpress
5.	Драйвер управления нагрузкой 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 M3 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.

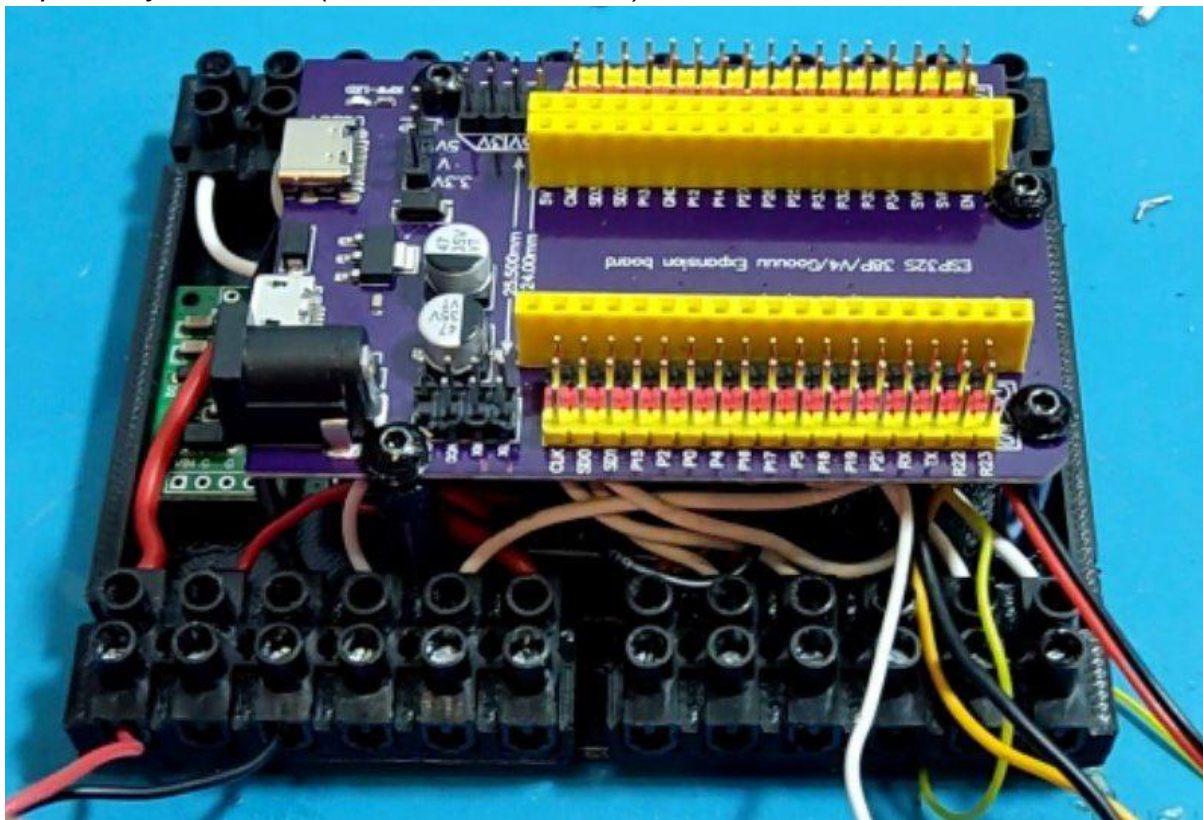
Основные этапы сборки:

Полное видео по сборке: <https://www.youtube.com/watch?v=Nv509sOfitk>

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:

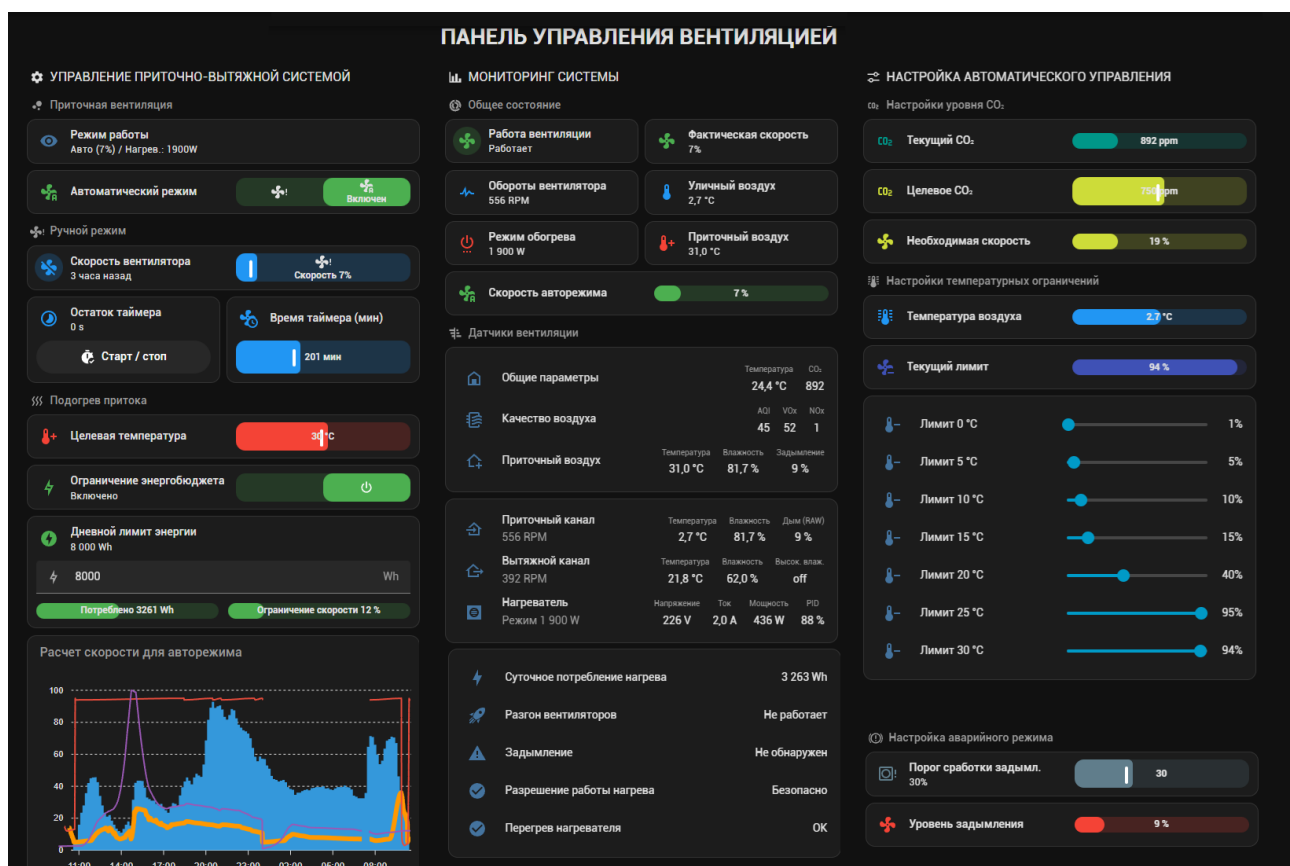


XIV. Настройка интерфейса Home Assistant

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:



XV. 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!

XVI. 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.
- 2.0 – 11.11.2025 – рефакторинг кода, добавление нового функционала, переработка инструкции, добавление контроллера нагревателя:

Рефакторинг:

- централизация установки скорости вентилятору через скрипт;
- замена select: для трех режимов на switch: авто/ручной + кнопка таймера;
- удаление компонента fan: - теперь ручная установка скорости через единый setpoint.

Новый функционал:

- логика активации нагревателя для удержания требуемой температуры;
- взаимодействие с контроллером нагревателя по Modbus;
- новый сенсор энерголимита для расчета автоскорости;
- полноценная поддержка тахометра вентилятора;
- поддержка калибровочной таблицы скоростей для точного соответствия процентов скорости оборотам вентилятора (более линейный расход воздуха);
- экспериментальная логика триггера отсутствия людей в доме.

Удалено:

- логика переключения обмоток АС-вентилятора (для контроллера теперь рекомендуется ЕС-вентилятор с тахометром).

Переработка инструкции:

- удалены упоминания регулятора Cityron и АС-вентилятора в связи с переходом на ЕС-вентилятор (рекомендуется для простоты и надежности);
- удалено описание логики переключения обмоток в связи с ее удалением;
- обновление инструкций по режимам работы в связи с рефакторингом кода;
- обновление инструкции по системной логике в связи с добавлением калибровочной таблицы;
- добавление инструкций по логике работы нагревателя;
- добавление описания работы приточного нагревателя;
- добавлены фото и схемы работы приточного нагревателя;
- обновлена карта подключения;
- множество других мелких правок.

Новый контроллер:

- добавлен код конфигурации для контроллера нагревателя 2.0.