

УДК 681.51

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ В ПОМЕЩЕНИИ

Д.т.н. И.Ш. Невлюдов, к.т.н. А.В. Пономарева, М.А. Волкова, Е.В. Коломийцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В статье проведен анализ существующих решений автоматизированного воздухообмена в интеллектуальных системах «умный дом». Предложен новый подход для эффективного обеспечения воздухообмена в помещении с учетом требуемых показателей микроклимата, разниц температур в помещении и снаружи, времени года. Проведено проектирование конструкции макета, который реализует предложенный принцип.

У статті проведено аналіз існуючих рішень автоматизованого повітрообміну в інтелектуальних системах «розумний будинок». Запропоновано новий підхід для ефективного забезпечення повітрообміну в приміщенні з урахуванням необхідних показників мікроклімату, різниць температур в приміщенні і зовні, пори року. Проведено проектування конструкції макета, який реалізує запропонований принцип.

The article analyzes the existing solutions of automated air circulation in intelligent systems "smart home". A new approach for effective air exchange in the room taking into account the performance desired climate, temperature differences inside and outside, the time of year. A design layout design that implements the principle proposed.

Ключевые слова: система управления, вентиляция, автоматизация, проветривание, датчик

Введение

Концепция системы интеллектуального дома предполагает новый подход в организации жизнеобеспечения человека, при котором за счет комплекса программно-аппаратных средств значительно возрастает эффективность функционирования и надежность всех систем эксплуатации и исполнительных устройств, обеспечивающих комфортные условия [1].

Автоматизация вентиляции и кондиционирования является одной из важных задач интеллектуального дома и предоставляет возможности по контролю и управлению основных параметров системы вентиляции: количеством вентилируемого воздуха, регуляция распределения воздушных потоков в здании, контроль температуры и влажности воздуха [2].

Современные оконные конструкции, а также двери обеспечивают герметичность помещений, поэтому в них зачастую душно, в воздухе содержатся вредные испарения, наблюдается размножение плесени. Потому особую актуальность приобретают средства естественной вентиляции.

Для создания оптимальных метеорологических условий в помещениях применяют кондиционирование воздуха. Однако при кондиционировании реализовано автоматическое регулирование температуры воздуха, его относительной влажности, скорости и не решает достаточно сложной задачи обеспечения необходимого воздухообмена.

Согласно действующих норм воздух в помещении не должен содержать загрязняющих веществ в концентрациях, опасных для здоровья человека или вызывающих дискомфорт. К подобным загрязнениям относят различные газы, пары, микроорганизмы, табачный дым, пыль и т.п. Существующие методы и системы проветривания либо не решают эту задачу, либо частично ее затрагивают.

Цель работы – усовершенствование принципа работы подсистемы вентиляции и кондиционирования помещений для повышения эффективности работы системы интеллектуального дома.

Анализ состояния вопроса

Вопросам обеспечения требуемого воздухообмена в помещении всегда уделялось много внимания.

Современные решения по автоматизации систем вентиляции и кондиционирования, позволяют реализовать следующие задачи:

- контроль открытия окон в здании;
- программирование автоматической системы вентиляции и кондиционирования зданий в соответствии с графиком работы заведения или предприятия, либо отдельных его помещений;
- самостоятельное определение автоматизированной системой вентиляции и кондиционирования режима работы для комфортного пребывания сотрудников в здании с помощью датчиков присутствия людей;
- выбор режима работы и произведение необходимых операций на основе измерения и сбора данных о температуре, влажности и количестве CO₂ в здании;
- индикация и регистрация неисправностей системы и необходимости замены фильтров. Обычно, индикаторы системы автоматизации вентиляции и кондиционирования выводятся на общую контрольную панель или фронтальную часть агрегата, представляя собой единый автоматизированный щит климатического оборудования;
- предупреждение об аварийных ситуациях и запуск систем пожаротушения и дымоудаления.

Современная полноценная система диспетчеризации вентиляции, как правило, имеет в своём составе сервер диспетчеризации – специально выделенный компьютер, на котором устанавливается SCADA система для диспетчерского управления и сбора данных.

В связи с массовым распространением мобильных устройств и концепции Интернета вещей актуальными задачами стало удаленное управление умным домом. Осуществление функции удаленного доступа возможно с помощью применения облачных вычислений, когда пользователи обеспечиваются повсеместным доступом к сетевым вычислительным ресурсам, сервисам и приложениям. В случае, если автономный модуль оснастить контроллером, то модуль может располагаться дома (рис. 1), а через облако обеспечивается удаленное управление – все программное обеспечение будет установлено на облачном сервере. В случае внедрения удаленного управления уже в существующую систему умного дома не потребуется замены никакого оборудования, достаточно будет только обеспечить доступ контроллера к облачному серверу.



Рис. 1. Схема аппаратного обеспечения умного дома с функцией удаленного управления [3]

Обзор существующих современных систем проветривания

Эффективным средством обеспечения надлежащей чистоты и допустимых параметров микроклимата воздуха в помещениях является вентиляция – организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения загрязненного воздуха и подачу на его место свежего.

По способу перемещения воздуха различают системы естественной и механической вентиляции. Особенностью естественной вентиляции заключается в перемещении воздушных масс за счет возникающей разности давления снаружи и внутри здания.

Неорганизованная естественная вентиляция – инфильтрация, или естественное проветривание, осуществляется сменой воздуха в помещениях через неплотности в ограждениях и элементах строительных конструкций благодаря разности давления снаружи и внутри помещения. Такой воздухообмен зависит от случайных факторов: силы и направления ветра, температуры воздуха внутри и снаружи здания, вида

ограждений и качества строительных работ. Инфильтрация может быть значительной для жилых зданий и достигать 0,5-0,75 объема помещения в час, а для промышленных предприятий - до 1-1,5 ч.

Организованная естественная вентиляция помещений в результате поступления и удаления воздуха через открывающиеся фрамуги окон нашла широкое применение в промышленных зданиях, характеризующихся технологическими процессами с большими тепловыделениями (прокатных, литейных, кузнечных цехах). Воздухообмен в помещении регулируют различной степенью открывания фрамуг в зависимости от температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра. В работе предлагается реализовать этот принцип для организации проветривания жилых помещений.

Самый простой вариант естественного проветривания - это обычное открывание окон. Однако оно может быть более или менее эффективным, в зависимости от следующих причин: направления воздушных потоков в атмосфере (а именно ветра, скорость и направление которого оказывают прямое влияние на величину воздухообмена), а также от разницы в температурах наружного и внутреннего воздуха. При различной температуре воздуха снаружи и внутри помещения в плоскости окна существует распределение воздушного давления. Между парами сил, движущими верхние и нижние потоки воздуха во встречных направлениях, возникает так называемая нейтральная, или нулевая, зона. Чтобы учитывать внешние воздействия, рассмотрим распределение воздушного давления в плоскости окна показано (рис. 2).

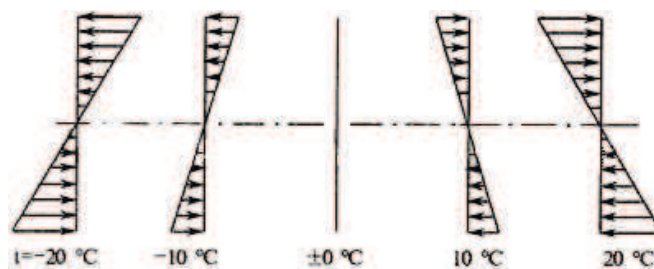


Рис. 2. Распределение воздушного давления в плоскости окна

В настоящее время на рынке современных окон представлено значительное количество систем фурнитуры для окон из любых материалов. Это всевозможные детали и механизмы, предназначенные для открывания и запираения окна с плотным и равномерным прилеганием створки к раме. Окно, оборудованное современной фурнитурой, позволяет осуществлять естественную вентиляцию с небольшими теплопотерями даже в холодное время года. Сегодня производители предлагают оконные механизмы для самых разных оконных конструкций: поворотных и поворотно-откидных, фрамужных и арочных, трапециевидных, треугольных и других.

К наиболее распространенным элементам оконной фурнитуры для обеспечения проветривания относят вентиляционные штапики, планки, задвижки, которые, полускрыто устанавливаются в оконной раме.

Автоматические и автоматизированные устройства, обеспечивающие доступ в помещение свежего воздуха за счет открытия окон в режим проветривания, не нашли применения в виду уменьшения уровня безопасности окна. В соответствии с европейскими нормами, для достижения первой степени противозломности четыре угла окна должны быть оснащены противозломными элементами. Современные системы решают эту задачу дополнительным использованием системы радиосигнализации, что усложняет и удорожает конструкцию.

Проведенный анализ позволил сформулировать иной подход к решению задачи автоматического проветривания. Предлагается выполнить усовершенствование конструкции окна и дополнить оконный проем автономной фрамугой, которая автоматически будет открываться и обеспечивать приток свежего воздуха в помещение без нарушения безопасности помещения.

Главное преимущество предложенной концепции – отсутствие необходимости изменять непосредственно конструкцию окна, просто в оконный проем сверху окна предлагается размещать модуль автоматической фрамуги (рис.3).

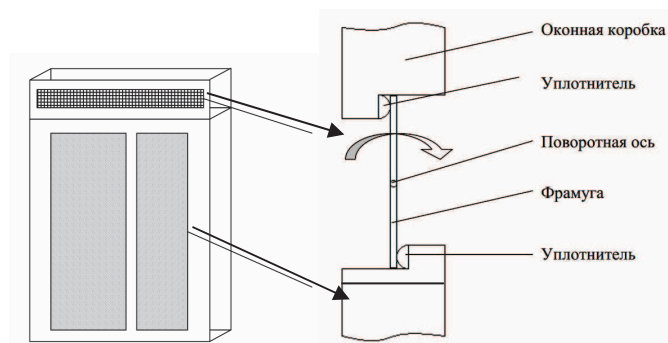


Рис. 3. Эскиз конструкции автоматической фрамуги

Непосредственно открытием фрамуги в таком случае может управлять сервопривод, а все команды управления будут генерироваться платой управления, построенной на базе микроконтроллера.

Разработка функциональной схемы автоматической фрамуги

Фрамугой называем элемент оконной конструкции, составляющий её верхнюю горизонтальную часть. В нашем случае предлагается выполнить фрамугу в виде отдельного изделия, которое компонуется с окном или дверью.

Функция открывания фрамуги реализуется, как правило, с использованием обычной поворотной фурнитуры. Проектируемую конструкцию фрамуги решено выполнить в виде поворотной створки, закрепленной на оси. Управление поворотом/открытием

створки планируется выполнить в полностью автоматическом режиме. Размеры фрамуги выбираются в зависимости от ширины оконного проема, куда планируется установка фрамуги. Однако высоту фрамуги необходимо ограничить 10-15 см для исключения возможности доступа посторонних лиц в помещение через открытую фрамугу.

Эскиз разработанной конструкции открывающейся фрамуги представлен на рис. 3. Следует отметить, что регулирование режима проветривания возможно не только за счет простого открытия/закрытия фрамуги, а и за счет соответствующего угла поворота фрамуги. Теоретически при открытии фрамуги на 30° (рис. 4, а) и на 160° (рис. 4, в) обеспечивается одинаковый объем приточного воздуха. Однако, как уже отмечалось, в разное время года при различном соотношении температур в и снаружи помещения в оконном проеме распределение воздушных масс обеспечивают разное давление. Этот факт можно использовать, если установить два датчика температуры и выполнить соответствующие расчеты.

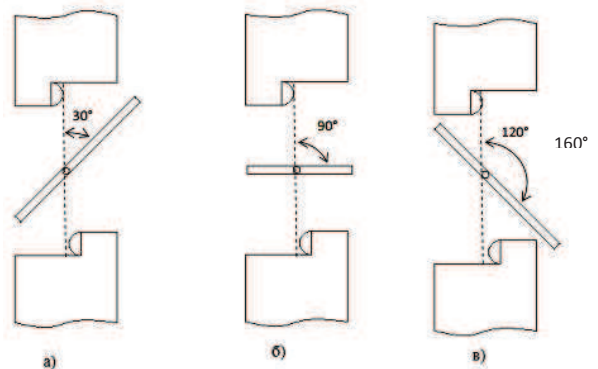


Рис. 4. Варианты режимов проветривания

Структурная схема автоматической фрамуги (рис.5) разработана с учетом новой тенденции к использованию технологий IoT (облачных вычислений) – для этого в конструкцию модуля добавлен wi-fi- модуль.

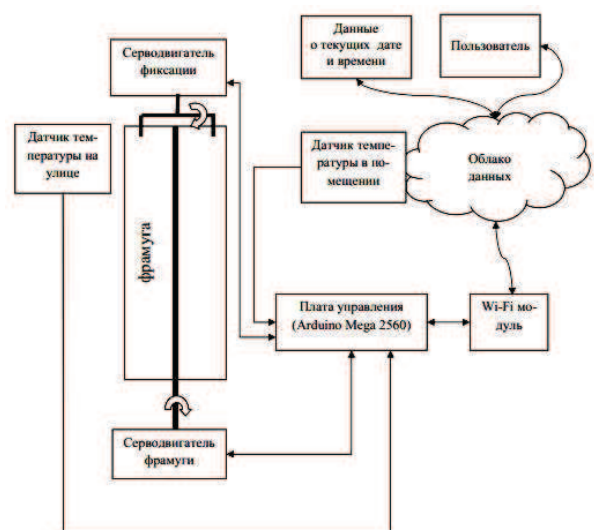


Рис. 5. Структурная схема автоматической фрамуги

Система управления автоматизированным проветриванием обеспечивает:

- автоматическое открытие/закрытие фрамуги по заданию;
- учет времени года и текущего времени суток для корректировки режимов работы;
- связь по технологии IoT с облаком данных для регистрации режимов работы подсистемы.

Математическое и алгоритмическое обеспечение системы

Разработанная диаграмма информационных потоков укрупнено представлена на рис.6. и показывает, как каждый процесс преобразует свои входные данные в выходные.

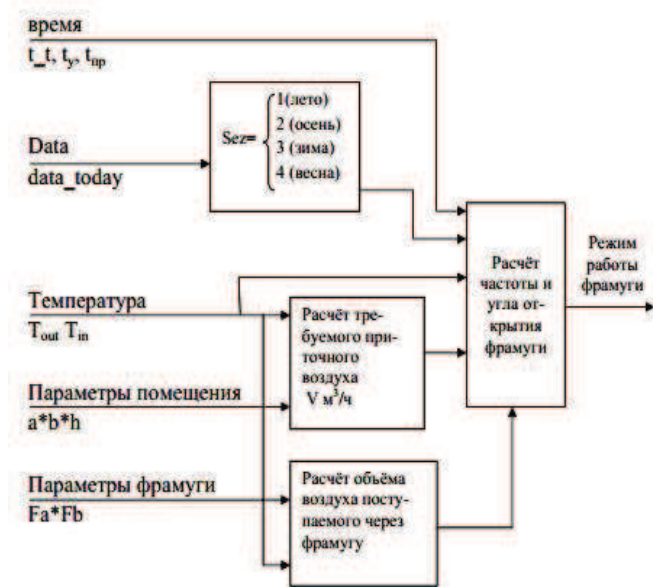


Рис. 6. Укрупненная диаграмма информационных потоков

Данные об источниках данных и цели дальнейших вычислений приведены в табл.1.

Таблица 1

Характеристика данных

Данные	Источник данных	Цель
t _t	Данные удаленного ресурса	с Определение режима работы
t _y , t _{np}	Определяет пользователь	Определение времени работы автономного режима
data_today	Данные удаленного ресурса	с Определение угла поворота фрамуги для проветривания
T _{out} , T _{in}	Температурные датчики	Вычисление длительности проветривая
a*b*h	Параметры проветриваемого помещения – определяются пользователем	Определение требуемого объема приточного воздуха для проветриваемого помещения

Продолжение таблицы 1

Данные	Источник данных	Цель
Fa*Fb	Геометрические параметры фрамуги – определяются пользователем	Определение количества приточного воздуха, которое поступает через фрамугу

На данный момент разработано ряд методик для расчета требуемого объема воздухообмена: методика на основе удельных норм воздухообмена, методика на основе расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ, методика на основе удельных норм воздухообмена и т.п.

В работе предлагается усовершенствовать методику расчета и базироваться на разности удельных весов наружного и внутреннего воздуха на действие ветра при скорости, равной 1 м/с, с учетом отсутствия теплоизбытков в помещений.

Общая величина теплового напора учитывает параметры воздуха и параметры фрамуги

$$H_T = h \cdot g \cdot (\gamma_H - \gamma_B), \text{ Па,}$$

где h – расстояние между центрами верхних и нижних фрамуг, м; γ_H – удельный вес стандартного воздуха (при температуре +10 °C и давлении 760 мм рт. ст.), $\gamma_H = 1,248 \text{ кг/м}^3$; γ_B – удельный вес внутреннего воздуха, кг/м^3 .

Общая величина ветрового напора рассчитывается по показателям скорости ветра и аэродинамическому коэффициенту, который учитывает конфигурацию здания

$$H_B = R_a \cdot v \cdot \gamma_H / 2, \text{ Па,}$$

где R_a – аэродинамический коэффициент, учитывающий конфигурацию здания (на наветренной стороне здания, $R_a = 0,70-0,85$, на подветренной стороне $R_a = 0,30-0,45$); v – скорость ветра, м/с.

Объём воздуха, проходящий через фрамугу зависит от многих параметров, таких как коэффициент расхода, площади проема фрамуги и скорость воздуха [4]

$$L_e = \mu \cdot F \cdot v_B \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где μ – коэффициент расхода, для открытых проемов и створных переделтов, открытых на угол 90°- $\mu=0,65$, на 45°- $\mu=0,44$, на 30°- $\mu=0,32$; F – площадь проёма, м^2 ; v_B – скорость воздуха, м/с.

Количество необходимого приточного воздуха учитывает объем помещения и коэффициент кратности воздухообмена

$$L = Vn,$$

L – необходимое количество приточного воздуха, м³/ч; V – объем кабинета или комнаты, м³; n – расчетная кратность воздухообмена.

Значения величины кратности для комнат различного назначения (согласно СНиП 31–01–2003):

- гостиная, спальня, детская – 1;
- кабинет – 0,5;
- кладовая – 0,2;
- кухня с электрической плитой – 60 м³/ч;
- помещение с газовыми установками – 1+100 м³/ч;
- котельная на твёрдом топливе – 1+100 м³/ч;
- туалет, санузел – 25 м³/ч;
- бильярдная, спортзал – 80 м³/ч.

Объём воздуха, проходящего через фрамугу

$$L_B = \mu \cdot F \cdot v_B \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где μ – коэффициент (90° $\mu=0,65$; 45° – $\mu=0,44$; 30° – $\mu=0,32$); F – площадь проёма, м²; v_B – скорость воздуха м/с.

Скорость воздуха может быть рассчитана

$$v_B = \left[\frac{2 \cdot Hm}{\gamma_B} \right]^{1/2} = \sqrt{\frac{2 \cdot Hm}{\gamma_B}}, \text{ м/с},$$

где $Hm = h \cdot g (\gamma_H - \gamma_B)$; γ_B – удельный вес воздуха в помещении; γ_H – удельный вес воздуха на улице; $g = 9,8$; h – высота фрамуги;

$$\gamma_{B,H} = 0,0473 \cdot \frac{B}{T},$$

где B – атмосферное давление ; T – температура с датчиков в °K

$$\gamma_H = 0,0473 \cdot \frac{B}{t_{out} + 273},$$

$$\gamma_B = 0,0473 \cdot \frac{B}{t_{in} + 273}.$$

Таким образом, объём воздуха, поступающего через фрамугу (м³/ч)

$$L_B = \mu \cdot (F_a \cdot F_b) \times \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot F_b - \left(\frac{L}{t_{out} + 273} - \frac{L}{t_{in} + 273} \right)}{\frac{L}{t_{in} + 273}}} \cdot 3600.$$

Тогда требуемую длительность проветривания можно вычислить

$$T = \frac{L}{L_B} \cdot 3600, \text{ сек.}$$

Необходимое количество воздуха (м³/ч)

$$L = V \cdot n = a \cdot b \cdot h \cdot n.$$

Используя данные для коэффициента расхода (μ) идентифицирована функция зависимости угла поворота фрамуги от коэффициента μ .

$$\alpha(\mu) = 270,56 \cdot \mu^2 - 80,628 \cdot \mu + 28,095.$$

Таким образом, после расчета требуемого объема поступающего воздуха в помещение можно определять коэффициент μ и в соответствии с полученной зависимостью – угол поворота фрамуги.

Программно-аппаратная реализация предложенного принципа

Предложенный принцип реализован в виде макета, что позволит провести необходимые исследования и экспериментально подтвердить эффективность усовершенствований. Макет (рис. 7, 8) выполнен на базе платы управления Arduino Mega 2560 с подключением к ней датчиков температуры DS18B20, сервопривода sg90, Wi-Fi-модуля ESP8266. Питание макета – 9В. Макет демонстрирует автономность и экономичность реализации.

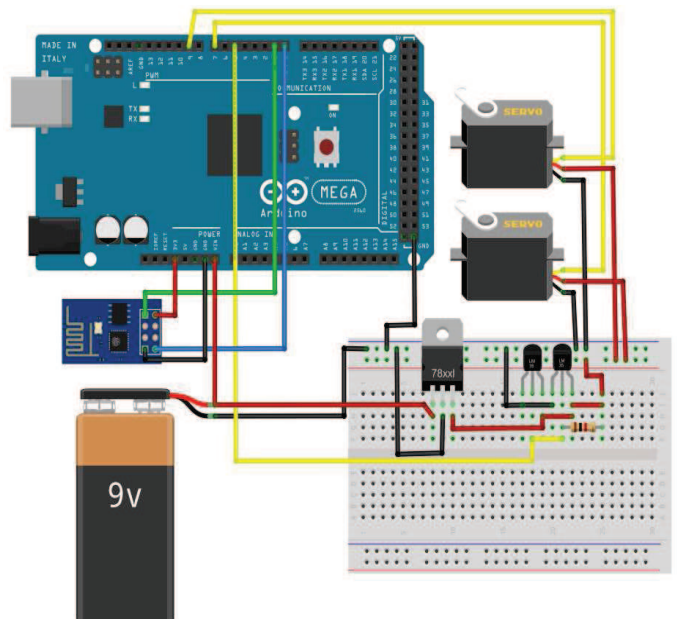


Рис. 7. Схема подключения макета

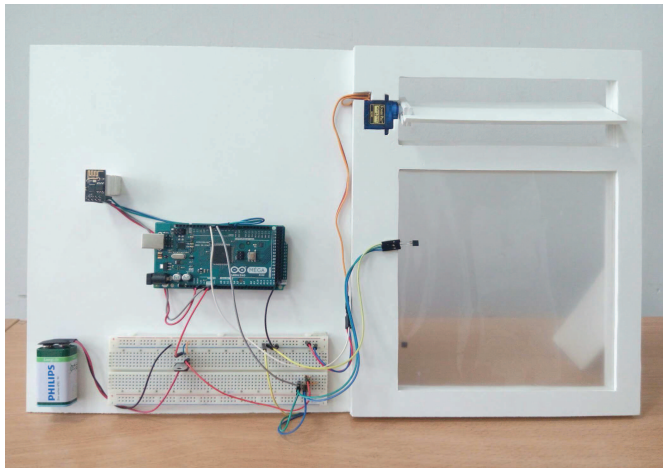


Рис. 8. Внешний вид разработанного макета

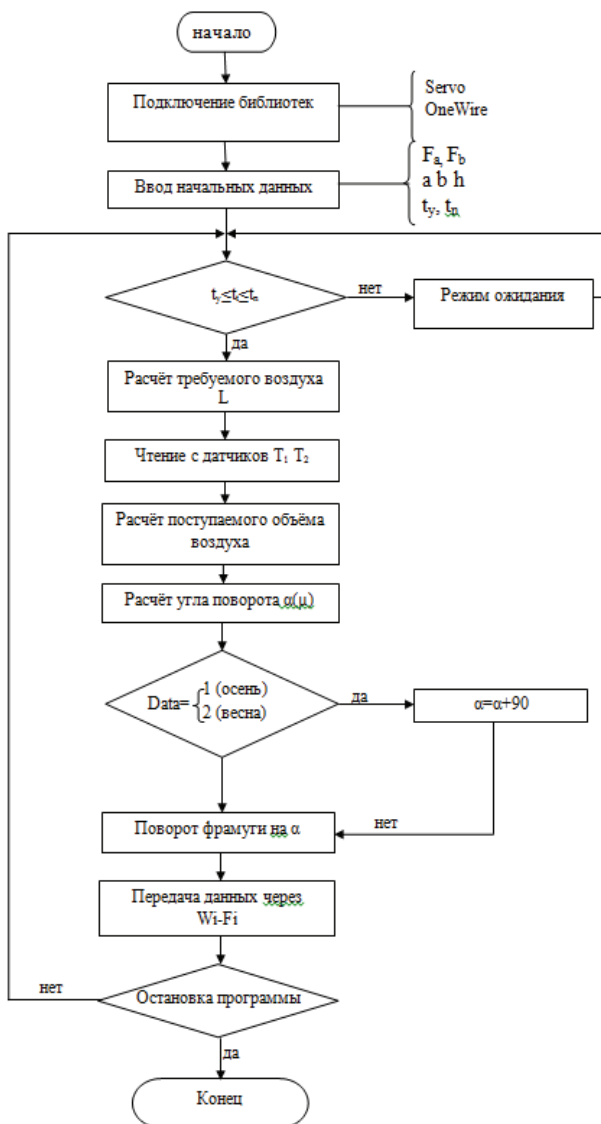


Рис. 9. Блок-схема алгоритма управления

Укрупненный алгоритм работы усовершенствованной системы вентиляции интеллектуального дома реализован в виде блок-схемы (рис.9)

Выводы

На базе выполненного анализа существующих методик естественного проветривания помещений и рассмотренных аналогичных программно-аппаратных решений для автоматизации процесса проветривания помещений спроектирована автоматическая фрамуга, которая может быть установлена в оконный проем не нарушая конструкцию окна и защиту помещения от взлома.

Конструкция макета реализована на базе Arduino Mega2560, управление фрамугой выполнено с использованием сервопривода Tower Pro 9g SG90, измерительная часть на базе датчиков температур DS18B20. Предложенная конструкция автоматической фрамуги может быть реализована отдельным автономным модулем, с функцией подключения к облачным сервисам (модуль ESP8266).

Перспективой дальнейшей работы является реализация программной части макета в виде облачного сервиса на базе MS Azure и организация ее работы для удаленного анализа и управления данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волкова М.А. Макет для исследования температурного поля в корпусе/ М.А.Волкова//18-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Сб. материалов форума.Т.1. – Харьков: ХНУРЭ.2014. – 121 с.
2. Пономарева А.В. Способ повышения эффективности автоматизированных систем управления тепловым режимом в помещении // А.В. Пономарева, И.О. Яшков, М.А. Волкова // «Технология приборостроения». – 2014, №3. – С. 59-64.
3. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования [Электронный ресурс] / АЛЛИРОН ИНЖИНИРИНГ - Режим доступа: <http://aliron.com.ua/content/26-avtomatizaciya-sistem...> - Загл. с экрана.
4. Обеспечение комфортных условий жизнедеятельности [Электронный ресурс] / Учебные материалы для студентов - Режим доступа: http://studme.org/1842112014373/bzhd/obespechenie_komfortnyh_u_sloviy_zhiznedeyatelnosti - Загл. с экрана.