

СТАТЬЯ

УДК 681.5:697.9

ТЕЛЕМЕТРИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Безмертный Б.В., Мансуров Р.Ш.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», Новосибирск, e-mail: immortal@sibstrin.ru, rmansurov@inbox.ru

Цель данного научного исследования заключается в проектировании и внедрении системы управления адаптивной вытяжной вентиляцией для многоквартирных жилых зданий, основанной на принципах телеметрии и телемеханики. Микроклимат в жилой среде играет ключевую роль в обеспечении благополучия, работоспособности и общего состояния здоровья человека. Поскольку воздействовать на глобальные климатообразующие процессы напрямую невозможно, особое значение приобретают высокоэффективные системы управления параметрами воздушной среды внутри помещений. Работа посвящена проектированию автоматизированной системы управления микроклиматическими параметрами жилого пространства, предусматривающей возможность ручного задания необходимых характеристик. Функциональность адаптивной системы также включает в себя предоставление графических данных, визуализирующих текущее состояние окружающей среды. Рассматривается разработка адаптивной вытяжной вентиляционной системы для санитарно-гигиенических помещений (туалетов, ванных комнат, прачечных и т.п.) и кухонь жилых зданий под управлением микроконтроллера ESP8266. В статье описывается программная часть системы управления, включая управление вытяжной системой через Web-интерфейс, получение данных о погоде и регулирование производительности вытяжной вентиляционной системы как в автоматическом, так и в ручном режиме. В рамках данного проекта решалось множество задач, таких как проектирование концептуальной схемы, проведение отбора элементов, которые бы наилучшим образом отвечали поставленным целям, а также разработка схемы работы системы и создание экспериментального образца интеллектуальной системы управления. Разработка включает выбор компонентов управления и создание 3D-моделей для механизмов движущихся частей и корпуса. Исследуются технические характеристики используемой решетки и оптимизация конструкции. Описание процесса тестирования и оптимизации завершает статью.

Ключевые слова: микроконтроллер ESP8266, микроклимат жилых помещений, автоматизированная система управления микроклиматическими параметрами, адаптивная вытяжная вентиляционная система, Web-интерфейс, оптимизация микроклимата

TELEMETRY OF AIR PARAMETERS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Bezsmertnyj B.V., Mansurov R.S.

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, e-mail: immortal@sibstrin.ru, rmansurov@inbox.ru*

The objective of this research is to design and implement an adaptive exhaust ventilation system for multi-apartment residential buildings based on the principles of telemetry and telemechanics. The microclimate within a living space has a crucial role in ensuring the well-being, productivity, and overall health of occupants. Given that it is not possible to directly influence global climate change, highly effective indoor air management systems are of utmost importance. This work focuses on designing an automated control system that monitors and regulates the microclimatic conditions within a living space, allowing for manual adjustment of desired parameters. The adaptive nature of the system enables it to provide graphical visualizations of the current environmental conditions, facilitating a better understanding of the indoor environment. A study is being conducted on the development of an adaptive exhaust ventilation system for the sanitary facilities (toilets, bathrooms, laundries, etc.) and kitchens in residential buildings, which will be controlled by an ESP8266 microcontroller. The paper describes the software component of the control system, which includes controlling the exhaust system through a Web interface, acquiring weather data, and regulating the operation of the exhaust ventilation system both automatically and manually. As part of this project, a block diagram was developed, components were selected that optimally meet the set goals, a functional diagram was created, and a prototype adaptive system was manufactured. The development process also involves selecting control components and creating 3D models for moving parts and the housing. The technical characteristics of the grille used are studied, and the design is optimized. The article concludes with the testing and optimization process.

Keywords: ESP8266 microcontroller, residential microclimate, automated microclimatic parameters management system, adaptive exhaust ventilation system, Web interface, microclimate optimization

Введение

Одним из важных направлений в обеспечении комфортной и благоприятной среды в жилых помещениях является управление оптимальными параметрами внутреннего микроклимата с применением современных информационных технологий, интегрированных в системы «умного дома» [1].

Традиционные системы климатизации помещений характеризуются высокой стоимостью и сложностью монтажа, что ограничивает их применение в обычных квартирах. Экономические факторы (высокая цена оборудования и установки) могут стать препятствием для создания комфортной микроклиматической среды, что негативно

сказывается на ощущении комфорта и благополучии жильцов.

Снижение стоимости технологий, связанных с дистанционным сбором данных и автоматизированным управлением техническими системами [1], в сочетании с их активным развитием привело к появлению современных решений для автоматизированного контроля вентиляции. Такие системы способны динамически адаптировать работу приточно-вытяжных установок – как к изменениям параметров внутреннего микроклимата, так и к внешним условиям, обеспечивая тем самым создание оптимальной среды для комфортного проживания.

В настоящее время актуальной задачей является проектирование систем управления вентиляционными установками с адаптивными алгоритмами, что обусловлено рядом факторов, таких как:

- повышение энергетической эффективности: оптимизация процессов притока и вытяжки воздуха позволяет значительно снизить энергозатраты, что особенно важно для систем с круглосуточным режимом работы;
- обеспечение высокого качества внутреннего воздуха: предотвращение накопления вредных примесей и аллергенов способствует созданию комфортной и здоровой среды, положительно влияя на самочувствие и условия проживания;
- улучшение удобства эксплуатации: внедрение функций дистанционного управления делает использование системы более простым и гибким.

Таким образом, интеллектуальные системы управления вентиляцией не только способствуют повышению качества жизни, но и обеспечивают более рациональное использование энергетических ресурсов.

В современных системах автоматизации жилых помещений актуальной становится задача удаленного управления техническими устройствами. Одним из популярных решений для реализации данной задачи являются микроконтроллеры на базе Arduino, которые позволяют осуществлять управление через различные интерфейсы связи, включая Bluetooth, Wi-Fi и Интернет.

Решение задачи удаленного управления предполагает интеграцию отдельных устройств в единую сеть для обмена данными. Терминологически такие системы относятся к концепции интернета вещей (Internet of Things, IoT), где устройства взаимодействуют между собой и центральными серверами для выполнения поставленных задач [1].

При проектировании систем внутреннего тепло- и холодоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха в обществен-

ных и жилых зданиях нужно соблюдать требования энергоэффективности, а также применять передовые технологии, в том числе интеллектуальные системы автоматического управления климатическими системами здания [2].

В отдельную группу датчиков для Arduino следует выделить модули и платы с поддержкой Wi-Fi. В настоящее время такие устройства получают широкое распространение [1] благодаря растущей популярности концепции интернета вещей, которая подразумевает объединение физических объектов в единую цифровую экосистему для обмена данными и управления через сеть, а также благодаря развитию технологий «умных домов» [1], где устройства взаимодействуют между собой для автоматизации бытовых процессов и повышения комфорта пользователей.

Данные дополнения позволяют управлять устройствами на расстоянии – при помощи любого устройства с доступом в Интернет [3].

ESP8266 представляет собой микроконтроллер, предназначенный для организации беспроводной связи через интерфейс Wi-Fi и используемый в рамках однокристальной системы (System on a Chip, SoC) [3]. В связи с отсутствием встроенной флеш-памяти в составе этой системы выполнение пользовательских программ осуществляется посредством обращения к внешней флеш-памяти, взаимодействующей с системой через интерфейс SPI [4].

Цель данного научного исследования заключается в проектировании и внедрении системы управления адаптивной вытяжной вентиляцией для многоквартирных жилых зданий, основанной на принципах телеметрии и телемеханики. Разрабатываемая система призвана обеспечить автоматизированное регулирование параметров микроклимата с учетом данных о температуре, влажности и внешних климатических условиях.

Проведенное исследование выявило следующие недостатки существующих решений: отсутствие комплексного подхода к учету взаимосвязи между различными параметрами микроклимата; низкая адаптивность к быстро меняющимся условиям; ограниченная точность прогнозирования необходимых изменений в режиме работы системы.

Материалы и методы исследования

Анализ существующих публикаций показывает, что большинство современных систем вентиляции основано на принципах пропорционального регулирования [3], что ограничивает их эффективность

в условиях резких изменений климатических параметров.

В связи с этим было решено усовершенствовать существующие решения с использованием следующих методов: 1) применение нелинейной модели управления вместо традиционных линейных алгоритмов; 2) интеграция данных о внешней среде в процесс принятия решений; 3) использование усовершенствованной методики калибровки датчиков.

Эти решения позволяют достичь существенного повышения эффективности системы вентиляции при снижении энергопотребления.

В рамках данного проекта были осуществлены следующие ключевые этапы.

1. Благодаря изучению принципов работы существующих на рынке аналогичных решений удалось тщательно проанализировать их и оценить эффективность и ограничения, а также определить параметры, которыми необходимо управлять с помощью системы, ключевые из них – температура и влажность.

2. Следующим шагом был создан программный комплекс, интегрирующий дистанционное и локальное регулирование микроклимата, который предоставляет пользователю возможность оперативно реагировать на динамические трансформации внутреннего пространства помещения.

3. Разработана архитектура управляющего модуля на основе микроконтроллера ESP8266, укомплектованная измерительными датчиками климатических характеристик и программным инструментарием

для интерактивного и автономного конфигурирования режимов воздухообмена.

4. Созданы прототипы компонентов системы, включая 3D-модели движущихся частей и корпуса.

5. Выполнено тестирование системы в реальных условиях и проведен анализ эффективности управления параметрами микроклимата.

Следующим шагом в разработке модели управления является написание технологии управления параметрами элементов системы воздухообмена:

- основываясь на действующих нормах [5], обозначение допустимых границ для значений температуры и влажности, что позволит системе управления принимать решения о включении или отключении вытяжной системы, включая регулировку положения ламелей решеток и активацию вентилятора по мере необходимости;

- предоставление пользователю возможности выбора между автоматическим и ручным режимами управления системой;

- регистрация климатических параметров внутреннего пространства посредством специализированных измерительных устройств;

- извлечение метеорологической информации о внешней среде через удаленные информационные платформы;

- диагностика временных циклов для оптимизации функционирования вентиляционного механизма.

Логика работы данной системы реализована следующим образом (рис. 1).

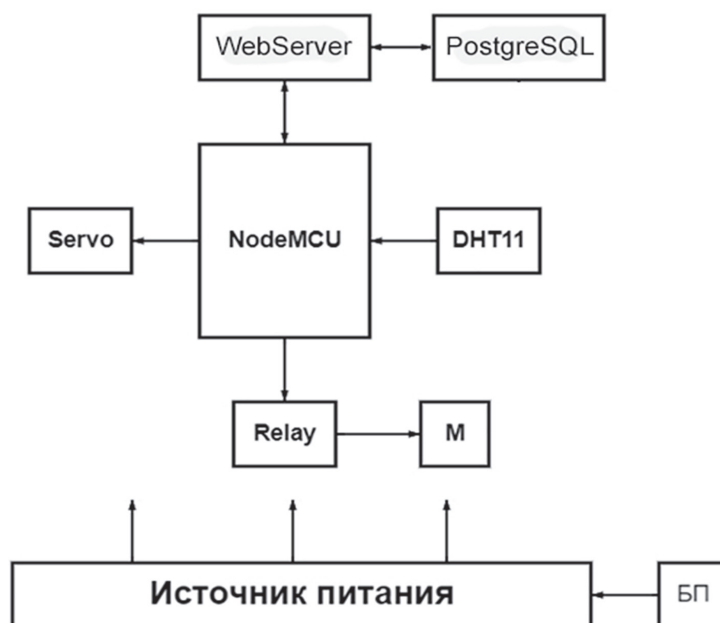


Рис. 1. Структурная диаграмма алгоритмических действий

Наиболее оптимальным вариантом управления является дистанционное администрирование, которое осуществляется через интегрированный Web-интерфейс с возможностью полного управления системой. Для этой цели архитектура воздухообменного контроля была реализована на микроконтроллере ESP8266, обеспечивающем беспроводное подключение. Для получения и обработки климатических параметров использовали библиотеку для работы с датчиком температуры и влажности «DHT.h», а временную калибровку производили посредством NTPClient. Это необходимо для корректной настройки и работы приложения.

Система управления выполнена из следующих электронных компонентов: микроконтроллер питается от 5 В через блок питания от сети 220 В, все остальные компоненты схемы потребляют напряжение от общих 3,3 В, выдаваемых самим микроконтроллером, все компоненты подключены к общему контакту – «земле» (GND), также выдаваемой самой платой.

Автоматический и ручной режимы работы вентиляции, предлагаемые системой, обеспечивают наиболее удобное управление для пользователя. Программа, написанная на языке программирования C++, содержит комплекс библиотек и переменных для обработки климатических параметров. Работа в автоматическом режиме предполагает регулировку в рамках заданного диапазона значений, а в ручном режиме пользователь получает полный контроль над вытяжной системой.

Программный алгоритм осуществляет мониторинг часового интервала, считывание сенсорных данных и получение метеорологической информации в JSON-формате. Возможность оперативно удалять неприятные запахи из помещения осуществляется посредством управления сервоприводом ламелей и вентилятором, которое реализуется через динамическую адаптацию к установленным параметрам.

Для того чтобы определить показатели влаги, которая содержится в воздухе, была использована I-d диаграмма Рамзина [6] (рис. 2).

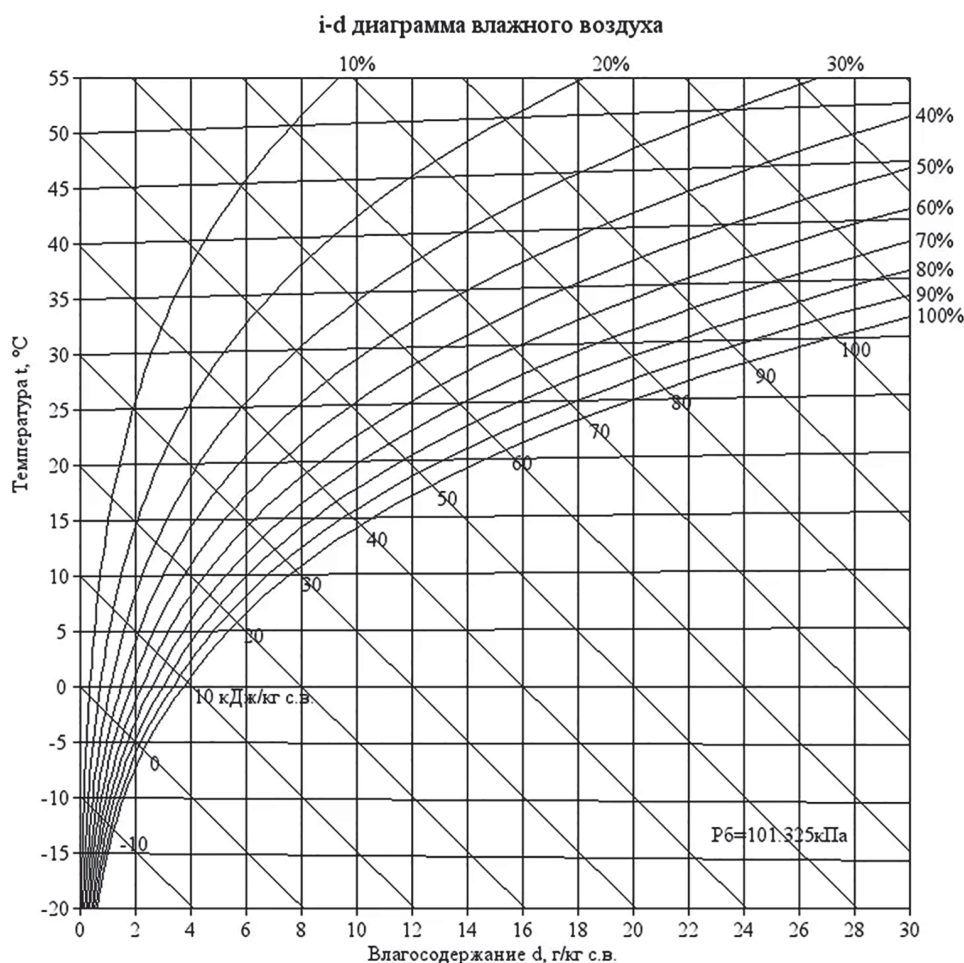


Рис. 2. I-d диаграмма влажного воздуха

Современные подходы принципиально трансформируют методологию использования I-d диаграмм. Комплексная программная разработка дает возможность автоматизировать вычислительные процессы термодинамического обмена и графически интерпретировать результаты. Такие программные решения значительно упрощают процесс работы с данными, что делает их более доступными и удобными для пользователей [6].

Влагосодержание рассчитывается по формуле (1) [7]:

$$d_{\text{в.в.}} = \frac{622 \times P_{\text{в.п.}}}{P_{\text{бар}} - P_{\text{п}}} \quad (1)$$

где $d_{\text{в.в.}}$ – влагосодержание во влажном воздухе;

622 – отношение молярных масс водяного пара и воздуха;

$P_{\text{в.п.}}$ – давление водяных паров, насыщающих воздух (3);

$P_{\text{бар}}$ – барометрическое давление (1003 гПа);

$P_{\text{п}}$ – давление водяных паров (2).

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{в.п.}} \times \varphi_{\text{в.в.}}}{100} \quad (2)$$

где $\varphi_{\text{в.в.}}$ – относительная влажность воздуха.

$$P_{\text{в.п.}} = 10^{2,125 + \frac{156 + 8,12 \times T_{\text{в.в.}}}{236 + T_{\text{в.в.}}}} \quad (3)$$

где $T_{\text{в.в.}}$ – температура воздуха.

Исследование предполагает калькуляцию параметров влагообмена с учетом предустановленных оптимальных значений. Посредством I-d диаграммы выявляется количественная разница между фактической и целевой влажностью. На основании полученных результатов определяется необходимый объем влагоудаления из воздушной среды помещения.

Наиболее удобное управление для пользователя осуществляется через Web-интерфейс, разработанный для управления системой, реализованный с использованием языков программирования HTML и JavaScript. Он включает в себя кнопки для управления вентиляцией и дисплеи для отображения текущих значений температуры и влажности [4]. Графическое представление данных с датчиков осуществляется с помощью библиотеки Chart.js, что позволяет пользователям просматривать исторические данные. Архивация измерительных данных реализована в системе управления базами данных PostgreSQL с интервалом обновления в полминуты.

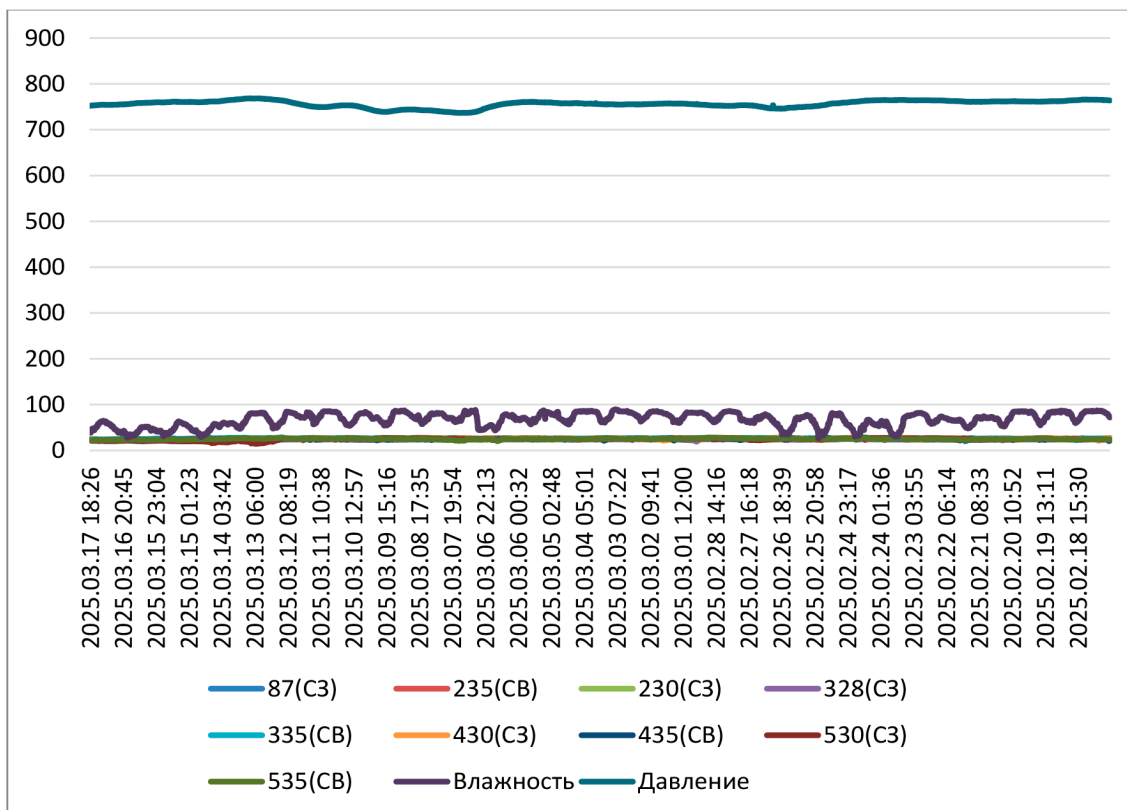


Рис. 3. График температуры и влажности за месяц

Интеграция информационных потоков выполняется посредством Django-фреймворка, применяющего объектно-реляционное ото-

бражение для взаимодействия с базой данных и генерирующего HTML-контент через специализированные шаблонизаторы.

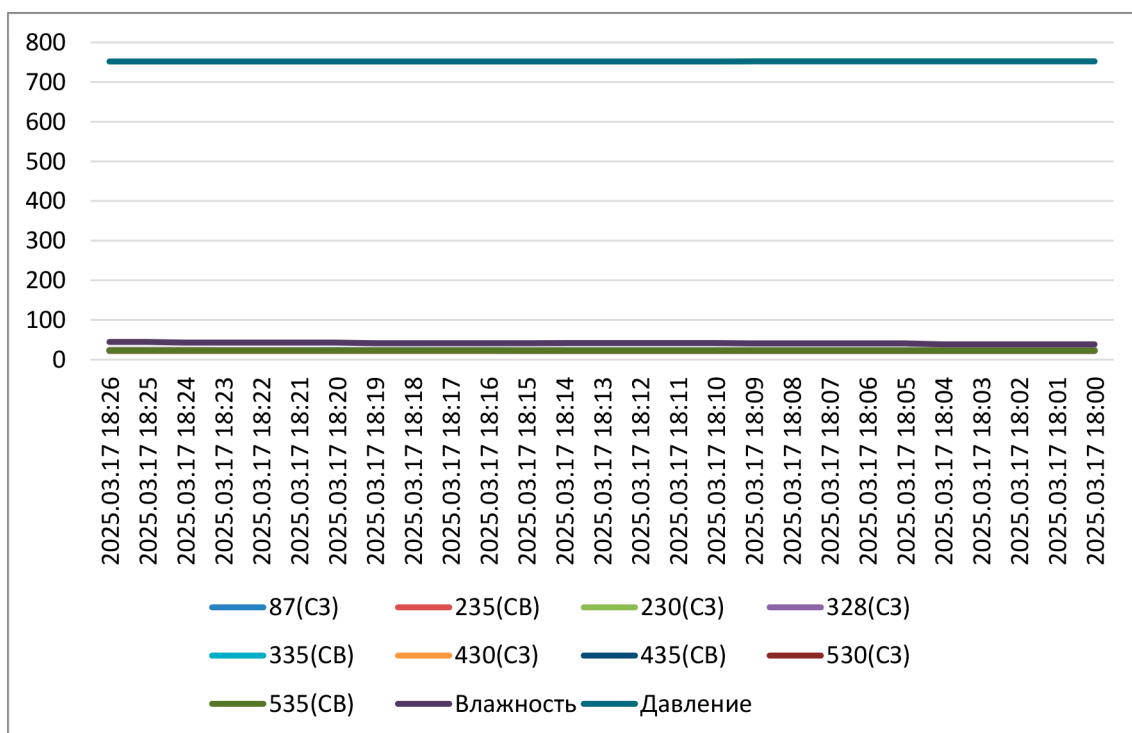


Рис. 4. График температуры и влажности за полчаса

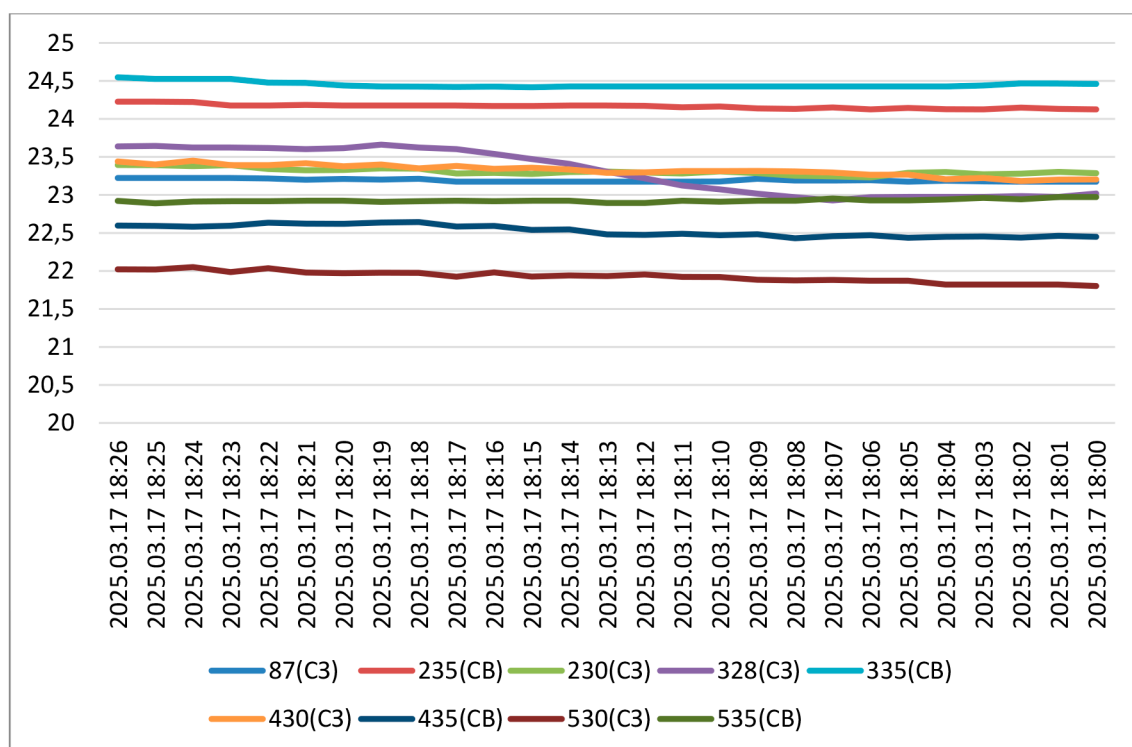


Рис. 5. График температуры за полчаса

При проектировании прототипа данной системы в цифровом виде использовали программу Blender. Данное программное обеспечение обладает широким функционалом, а также очень удобно для начинающих. В качестве исходных данных использовали показания датчиков температуры, влажности и давления, расположенные в комнатах общежития (рис. 3). На графике показаны номера комнат, в которых находятся датчики, и их расположение относительно сторон света: СЗ – северо-запад, СВ – северо-восток.

На рисунке 4 представлен тот же график, но с промежутком времени в полчаса.

Приведенный ниже график отображает только значения температуры на протяжении получаса (рис. 5).

Результаты исследования и их обсуждение

Адаптивная вытяжная вентиляционная система успешно прошла тестирование в жилых помещениях. Результаты показали:

- *энергоэффективность*: расход электроэнергии сократился на 15–20% за счет автоматической оптимизации режимов работы;

- *улучшение качества воздуха*: содержание углекислого газа и уровень влажности поддерживались в пределах нормативных значений [5, 8];

- *удобство эксплуатации*: пользователи отметили простоту управления системой через Web-интерфейс и надежность работы.

Система регулирует производительность вентиляции в зависимости от параметров воздуха (температуры, влажности, содержания углекислого газа), что приводит к избыточному энергопотреблению.

Для эффективного управления режимом работы систем вентиляции в алгоритме блока автоматического регулирования

необходимо обеспечить плавное изменение регулируемого параметра по заданному закону. В качестве регулируемого параметра может выступать угол раскрытия воздушной заслонки в системе вентиляции [8].

Для обеспечения простоты использования комплекса его сборка должна осуществляться на заводе, что исключает сложности для конечного потребителя при установке и настройке устройства. Пользователю потребуется лишь установить адаптивную систему в вентиляционное отверстие и подключить ее к источнику электропитания.

Механизм системы должен отличаться высокой надежностью и устойчивостью к агрессивным условиям эксплуатации, характерным для вытяжных систем.

Моделирование базируется на вентиляционной решетке АМН [7] из ассортимента компании «Арктика». Данная модель была выбрана в соответствии с необходимыми характеристиками, такими как размеры и угол наклона (рис. 6). Конструктивная особенность изделия обеспечивает легкость маневрирования и оптимизацию воздушной динамики.

В таблице показана корреляция между объемом воздушного потока L_0 , акустическим давлением L_a , и соответствующими потерями полного давления $\Delta_0 P_{\text{полн}}$. В процессе воздухоудаления жалюзи вентиляционных решеток фиксируются в нулевом положении. При этом входящий воздушный поток не модифицирует параметры обслуживаемого пространства и не требует дополнительных расчетных процедур.

В связи с отсутствием готовых решений для автоматически регулируемых вытяжных решеток авторы разработали модель и принцип работы как электронных, так и механических компонентов. Изготовление деталей осуществлялось с использованием 3D-принтера.

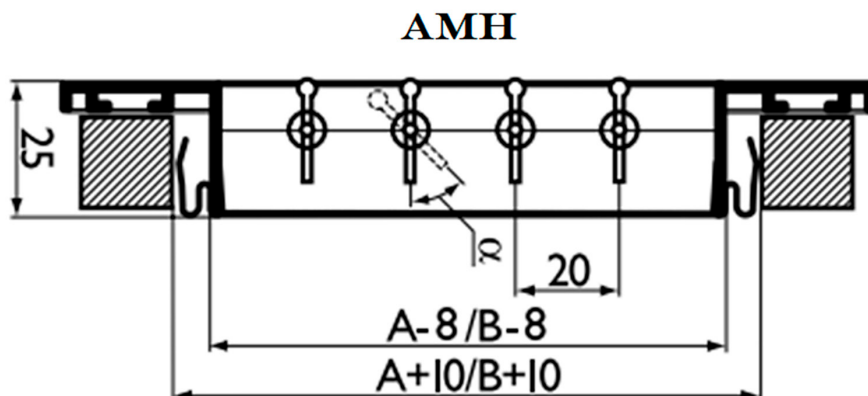


Рис. 6. Характеристики решетки типа АМН

Корреляция между объемом воздушного потока и акустическим давлением

Размер АхВ, мм	$F_0, \text{м}^2$	$L_a = 25 \text{дБ(А)}$			$L_a = 35 \text{дБ(А)}$			$L_a = 45 \text{дБ(А)}$		
		$L_0, \text{м}^3/\text{ч}$	$V_0, \text{м/с}$	$\Delta P_n, \text{Па}$	$L_0, \text{м}^3/\text{ч}$	$V_0, \text{м/с}$	$\Delta P_n, \text{Па}$	$L_0, \text{м}^3/\text{ч}$	$V_0, \text{м/с}$	$\Delta P_n, \text{Па}$
150x150	0,02	200	2,8	8	320	4,4	19	680	9,4	87

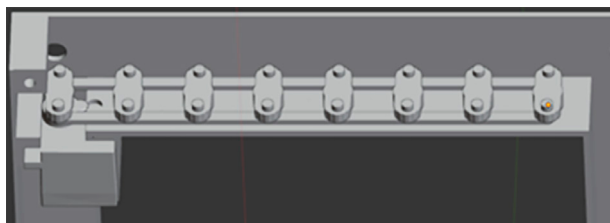


Рис. 7. Модель решетки, применяемая в прототипе

На начальном этапе моделирования были разработаны различные варианты механизма поворота ламелей (рис. 7). Это было сделано на основе расчетов, анализа других проектируемых вариантов механизма открытия и закрытия вытяжной решетки.

После завершения разработки приводного механизма было решено оптимально разместить все компоненты при проектировании корпуса. Для плотного закрытия ламелей большое внимание уделяли подбору размеров и формы. Вверху спроектировано отверстие, которое необходимо для извлечения решетки и последующей ее очистки, также для защиты использовали фильтрующий элемент. Вытяжная решетка фиксируется на стене с помощью четырех саморезов. После завершения сборки был успешно проведен тест прототипа.

Заключение

В ходе выполнения исследовательской работы была изучена и разработана адаптивная система управления параметрами микроклимата в жилых зданиях. Рассмотрены факторы, влияющие на микроклимат в жилых помещениях. Также для данной системы была разработана принципиальная структурная электрическая схема. Изготовлен прототип и проведена апробация.

Данная система обеспечивает автоматизированное управление влажностью воздуха, учитывая взаимосвязь между температурой, временем года и влажностью окру-

жающей среды. Контроль уровня влажности осуществляется с помощью датчиков, которые регулируют угол поворота ламелей на решетке.

Список литературы

1. Dave Evans. "The internet of things: how the next evolution of the internet is changing everything" // cisco: website. URL: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf?spm=a2ty_o01.29997173.0.0.737bc9217ybkIk&file=IoT_IBSG_0411FINAL.pdf (дата обращения: 23.03.2025).
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Дата введения 2021-07-01. М.: Стандартинформ, 2021. 149 с.
3. Безмертвый Б.В., Задорожный А.Ф., Колофидина А.А. Основы проектирования систем управления на базе Arduino. учебное пособие. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2023. 152 с.
4. Documentation. espressif's documentation feedback link is now available // Espressif: website. URL: <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents> (дата обращения: 26.03.2025).
5. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. 469 с.
6. Аверкин. А.Г. I-D Диаграмма влажного воздуха и её применение при проектировании технических устройств. СПб.: Лань, 2021. 192 с.
7. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.
8. Середа С.Н. Моделирование влияния сопротивления воздушной заслонки на воздухообмен вентилируемых помещений // Современные наукоемкие технологии № 1. 2024. С. 75-81. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39911> (дата обращения: 23.03.2025).