

MIKROKONTROLLER YORDAMIDA ENERGIYA TEJAMKOR VENTILYATSIYA TIZIMINI BOSHQARISH

Ilmiy rahbar EAICHT kafedrası katta o'qituvchisi

Kurbonov Shaxzod Mustanovich

TDTU talabasi: Joniqulov Abror Jabborqul o'g'li

166-23 guruh 3- kurs talabasi

Tel nomer: +998975586669

E-mail: abrorjoniqulov88@gmail.com

ANNOTATSIYA

Ushbu ilmiy ishda mikrokontrollerlar (masalan, Arduino yoki ESP32 platformalari) asosida aqlli, energiya tejamkor ventilyatsiya tizimini loyihalash va boshqarish masalalari atroflicha o'rganiladi. Zamonaviy binolarda ichki havo sifati va energiya samaradorligini optimallashtirish dolzarb muammo bo'lib qolmoqda. Tadqiqotning asosiy maqsadi — tashqi muhit sharoitlariga (harorat, namlik) va ichki havo parametrlariga (karbonat angidrid – CO₂ konsentratsiyasi, VOC) avtomatik moslasha oladigan, an'anaviy tizimlarga nisbatan elektr energiyasini sezilarli darajada tejaydigan boshqaruv algoritmini yaratishdir. Loyiha doirasida turli xil sensorlardan (MQ-135, DHT22, GP2Y10) olingan ma'lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash, ventilyator tezligini PWM (Pulse-Width Modulation) orqali dinamik sozlash va tizim holatini masofadan monitoring qilish uchun moslashtirilgan dasturiy ta'minot ishlab chiqiladi.

Kalit so'zlar: Mikrokontroller, energiya samaradorligi, aqlli ventilyatsiya, CO₂ monitoringi, PWM boshqaruvi, avtomatlashtirish, IoT.

АННОТАЦИЯ

В данной научной работе всесторонне исследуются вопросы проектирования и управления интеллектуальной энергоэффективной системой вентиляции на базе микроконтроллеров (например, платформ Arduino или ESP32). Оптимизация качества воздуха в помещениях и энергоэффективности в современных зданиях остается актуальной проблемой. Основная цель исследования — создание алгоритма управления, способного автоматически адаптироваться к внешним условиям окружающей среды (температуре, влажности) и параметрам воздуха в помещении (концентрации углекислого газа (CO₂), летучих органических соединений), что позволит существенно экономить электроэнергию по сравнению с традиционными системами. В рамках проекта разрабатывается специализированное программное обеспечение для обработки данных в режиме реального времени с различных датчиков (MQ-135, DHT22, GP2Y10), динамической регулировки скорости вращения вентилятора с

помощью ШИМ (шиотно-импульсной модуляции) и удаленного мониторинга состояния системы.

Ключевые слова: Микроконтроллер, энергоэффективность, интеллектуальная вентиляция, мониторинг CO₂, ШИМ-управление, автоматизация, Интернет вещей.

ANNOTATION

This scientific work comprehensively studies the issues of designing and controlling a smart, energy-efficient ventilation system based on microcontrollers (e.g. Arduino or ESP32 platforms). Optimizing indoor air quality and energy efficiency in modern buildings remains a pressing problem. The main goal of the research is to create a control algorithm that can automatically adapt to external environmental conditions (temperature, humidity) and indoor air parameters (carbon dioxide - CO₂ concentration, VOC), significantly saving electricity compared to traditional systems. Within the framework of the project, customized software is developed for real-time processing of data received from various sensors (MQ-135, DHT22, GP2Y10), dynamic adjustment of fan speed via PWM (Pulse-Width Modulation), and remote monitoring of the system status.

Keywords: Microcontroller, energy efficiency, smart ventilation, CO₂ monitoring, PWM control, automation, IoT.

KIRISH

Bugungi kunda jahon miqyosida, jumladan O'zbekiston Respublikasida ham, energiya resurslaridan oqilona foydalanish va ekologik xavfsizlikni ta'minlashga qaratilgan siyosatlar ustuvor ahamiyat kasb etmoqda. Binolarning ekspluatatsiyasi uchun sarflanadigan umumiy energiya xarajatlarining katta qismi (ayrim manbalarga ko'ra 40% gacha) isitish, sovutish va ventilyatsiya tizimlari hissasiga to'g'ri keladi. An'anaviy ventilyatsiya tizimlari ko'pincha qat'iy va o'zgarmas ish rejimida faoliyat yuritadi, bu esa ichki makonda odamlar soni, kun vaqti yoki tashqi harorat kabi omillarga bog'liq bo'lmagan holda ortiqcha energiya iste'moliga olib keladi. Aynan shu nuqtai nazardan, havo sifatini doimiy nazorat qiluvchi va zaruriyatga qarab o'z ish rejimini moslashtira oladigan aqlli ventilyatsiya tizimlarini joriy etish orqali energiya tejamkorligiga erishish, shuningdek, yopiq xonalarda aholi salomatligi va ish unumdorligi uchun qulay mikroiqlimni ta'minlash ilmiy-texnik jihatdan dolzarb vazifadir.¹

Ushbu tadqiqot mikrokontroller texnologiyalarining tez rivojlanishi va arzonlashishi sharoitida, kichik va o'rta hajmdagi binolar (o'quv xonalari, ofislar, turar

¹ ASHRAE Standard 62.1. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019

joylar) uchun iqtisodiy jihatdan samarali va avtomatlashtirilgan yechimni taklif etishga qaratilgan. Bizning asosiy gipotezamiz shundan iboratki, havo sifati sensorlari, xususan, CO₂ darajasini o'lchovchi sensorlar bilan integratsiyalashgan, mikrokontroller tomonidan boshqariladigan ventilyatsiya tizimi an'anaviy tizimga nisbatan 30% dan ortiq energiya tejash imkoniyatiga ega bo'ladi. Bu ish O'zbekistonning issiq iqlim sharoitida energiyaga bo'lgan talab ortib borayotganini hisobga olgan holda, milliy energetika strategiyasiga ham o'z hissasini qo'shadi. Tadqiqotning amaliy maqsadi esa ichki havo sifatini optimallashtirish va xarajatlarni kamaytirishga xizmat qiladigan ishonchli boshqaruv sxemasini ishlab chiqish va uni eksperimental ravishda sinovdan o'tkazishdan iboratdir.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA MUHOKAMA

Energiya tejamkor ventilyatsiya tizimlarini boshqarish bo'yicha ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, so'nggi yillarda tadqiqotlar asosan DCV (Demand-Controlled Ventilation) – talab asosida boshqariladigan ventilyatsiya tizimlarini ishlab chiqishga qaratilgan. Klassik ishlarda ventilyatsiyani boshqarishning asosiy parametrlari sifatida faqat harorat va namlik o'rganilgan bo'lsa, zamonaviy yondashuvlarda ichki havo sifatining muhim ko'rsatkichi bo'lgan CO₂ konsentratsiyasiga alohida e'tibor qaratilmoqda. Masalan, Fanger va uning hamkasblari tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlar CO₂ darajasining 1000 ppm dan yuqori bo'lishi insonning aqliy faoliyati va diqqatiga salbiy ta'sir ko'rsatishini ilmiy isbotlagan, bu esa ventilyatsiyani avtomatik sozlash zaruratini asoslaydi.²

Tadqiqotlar mikrokontrollerlarning ushbu sohada qanchalik samarali ekanligini tasdiqlaydi. Dastlabki aqlli tizimlar PLC (Programmable Logic Controller) asosida yaratilgan bo'lib, ular ishonchli, ammo qimmat va dasturlash uchun murakkab edi. Hozirgi davrda, ayniqsa, IoT (Internet of Things) texnologiyalarining rivojlanishi bilan, Arduino, Raspberry Pi, va ESP32 kabi arzon va ochiq manbali mikrokontrollerlar keng qo'llanilmoqda. Bularning afzalligi shundaki, ular bir vaqtning o'zida bir nechta sensorlardan (masalan, NDIR tipidagi CO₂ sensorlari va DHT22) ma'lumotlarni yuqori tezlikda o'qiy oladi va Wi-Fi modullari orqali bulutli serverlar bilan bog'lanib, ma'lumotlarni real vaqt rejimida tahlil qilish va masofadan boshqarish imkoniyatini beradi³. Jumladan, ba'zi mualliflar energiya tejamkorligini

² Kolokotsa, D., Sarakis, G. A review on the applications of smart control algorithms in demand-controlled ventilation systems. *Energy and Buildings*, Vol. 136, 2017. pp. 102-114.

³ Nazarov, U. T. Energiya tejamkorlik va iqlim nazorati tizimlarining sintezi. Monografiya. – T.: Fan va texnologiya, 2021.

optimallashtirish uchun ventilyator tezligini qadamli (diskret) o'zgartirish o'rniga, PWM (Pulse Width Modulation) usulida silliq (uzluksiz) sozlash usullarini taklif etishgan, bu esa dvigatelning maksimal quvvatga chiqmasdan, zaruriy havo almashinuvini ta'minlash hisobiga sezilarli energiya tejashga erishishga imkon beradi. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, hozirgi kunda PID (Proportional-Integral-Derivative) kontrollerlariga asoslangan boshqaruv algoritmlari ventilyatsiya tezligini ichki havo sifati o'zgarishlariga eng aniq va silliq moslashtirishi, shu bilan birga tizimning barqarorligini ta'minlashi bilan eng samarali yechim hisoblanadi. Shunday qilib, bizning ishda adabiyotlarda keltirilgan PWM asosidagi DCV yondashuvini CO₂ va tashqi iqlim parametrlarini birgalikda hisobga oluvchi optimallashtirilgan algoritm yordamida kichik masshtabda amalga oshirish va uning amaliy samaradorligini eksperimental sinov orqali muhokama qilish asosiy metodik yo'nalish hisoblanadi.⁴

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Amaliy ish doirasida ishlab chiqilgan energiya tejamkor ventilyatsiya tizimining prototipi ishlash samaradorligini baholash uchun laboratoriya sharoitida sinovdan o'tkazildi. Tizimning asosi ESP32 mikrokontrolleri bo'lib, u MH-Z19B (yuqori aniqlikdagi NDIR CO₂ sensori) va BME280 (harorat, namlik, bosim) sensorlaridan olingan ma'lumotlarni qayta ishladi. Loyihaning asosiy yutug'i sifatida ventilyatorning aylanish tezligini to'g'ridan-to'g'ri PWM signali orqali boshqaruvchi adaptiv algoritm joriy etilgani qayd etildi.

Algoritmning amaliy ishlashi:

Ideal rejim: CO₂ darajasi 800 ppm dan past bo'lganda, ventilyator minimal, ya'ni bazaviy quvvatda ishladi yoki to'xtatildi (qish mavsumida issiqlik yo'qotilishini kamaytirish uchun).

Aktiv rejim: CO₂ darajasi 1000 ppm ga yetganda, mikrokontroller PWM signalini oshirib, ventilyator tezligini chiziqli ravishda ko'tardi. CO₂ 1400 ppm ga yetganda esa ventilyator 100% quvvatda ishladi. Bu chiziqli o'sish mexanizmi havo sifatining har bir o'zgarishiga energiya iste'molini ortiqcha oshirmasdan silliq reaksiya berishga imkon berdi.

Tashqi haroratni hisobga olish (qo'shimcha optimizatsiya): Algoritmga tashqi harorat parametrlari ham kiritildi. Agar tashqi harorat ichki haroratga juda yaqin bo'lsa (masalan, 5°C dan kam farq), tizim shamollatishni tezlashtirish uchun ruxsat berdi, bu esa ortiqcha isitish yoki sovutish xarajatlarini oshirmadi. Aksincha, agar tashqi va ichki

⁴ Saidov, A. R. Zamonaviy binolarda energiya iste'molini kamaytirish muammolari va yechimlari. Energiya va Resurslar Jurnal, № 4, 2020.

harorat farqi yuqori bo'lsa, ventilyatsiya tezligi biroz cheklandi (energiya tejash maqsadida).

Natijalar:

Eksperimental sinovlar shuni ko'rsatdiki, ushbu DCV tizimi 24 soatlik ish davomida an'anaviy, doimiy quvvatda ishlaydigan ventilyatsiya tizimiga nisbatan 38.5% gacha elektr energiyasini tejankorlikka erishdi. Eng katta tejash, ayniqsa, xona uzoq vaqt bo'sh turgan yoki CO₂ darajasi past bo'lgan davrlarga to'g'ri keldi. Shu bilan birga, tizim CO₂ darajasini o'rtacha 1050 ppm atrofida ushlab turishga muvaffaq bo'ldi, bu esa xalqaro sog'liq standartlariga (ASHRAE) mos keladigan darajadir. Loyiha IoT texnologiyalari bilan integratsiya qilinib, ma'lumotlar ThingSpeak platformasida monitoring qilindi, bu esa tizimning ishlashini masofadan turib vizuallashtirish va optimal sozlash imkonini berdi.

XULOSA

Mikrokontroller yordamida energiya tejankor ventilyatsiya tizimini boshqarish bo'yicha amalga oshirilgan ushbu ilmiy-amaliy ish zamonaviy binolarda energiya samaradorligini oshirish va ichki havo sifatini optimallashtirishning samarali yechimini taqdim etdi. Tadqiqot natijalari shuni tasdiqladiki, an'anaviy ventilyatsiya usullari endilikda zamon talablariga javob bermaydi, chunki ular energiya resurslaridan samarasiz foydalanadi.

Ishning yakuniy xulosalari quyidagilardan iborat:

Ilmiy-Texnik Tasdiq: ESP32 kabi arzon mikrokontrollerlar va yuqori aniqlikdagi NDIR CO₂ sensorlaridan foydalangan holda yaratilgan DCV tizimi murakkab PLC tizimlariga munosib va iqtisodiy jihatdan samarali alternatividir.

Energiya Tejamkorligi: Ishlab chiqilgan adaptiv PWM boshqaruv algoritmi ventilyator ishini ichki havo talabiga (xususan, CO₂ darajasiga) aniq moslashtirish orqali, an'anaviy doimiy ish rejimiga nisbatan 38.5% gacha elektr energiyasini tejashga erishdi. Bu ko'rsatkich tizimning iqtisodiy o'zini o'zi qoplash muddatini sezilarli darajada qisqartiradi.

Havo Sifati Optimallasuvi: Tizim doimiy ravishda CO₂ darajasini 1000–1100 ppm diapazonida ushlab turdi, bu esa yopiq xonalarda nafas olish qulayligini oshirdi va insonning aqliy mehnat unumdorligini yaxshilashga xizmat qiladi.

Kelajak Istiqbollari: Olingan natijalar ushbu texnologiyani maktab, ofis va turar joy binolariga keng joriy etish imkoniyatini ochib beradi. Kelgusida tizimni ovoz, yorug'lik sensorlari va mashinani o'rganish algoritmlari bilan integratsiyalash orqali energiya tejankorligini 50% dan oshirish mumkin. Shuningdek, mahalliy sharoitda bunday aqlli tizimlarning sanoat namunalarini ishlab chiqarish uchun asos yaratiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2021-yil 21-apreldagi "Energiya samaradorligini oshirish va iqtisodiyot tarmoqlarida energiya tejash choralari yanada kuchaytirish to'g'risida"gi 102-sonli Qarori.
2. Fanger, P. O. Indoor environmental quality and its impact on human comfort and performance. International Journal of Refrigeration, Vol. 33, Issue 1, 2010. pp. 78-83.
3. ASHRAE Standard 62.1. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019.
4. Kolokotsa, D., Sarakis, G. A review on the applications of smart control algorithms in demand-controlled ventilation systems. Energy and Buildings, Vol. 136, 2017. pp. 102-114.
5. Saidov, A. R. Zamonaviy binolarda energiya iste'molini kamaytirish muammolari va yechimlari. Energiya va Resurslar Jurnali, № 4, 2020.
6. Al-Aamri, A., & Bakhach, M. Design and Implementation of a Smart Home Ventilation System using ESP32 and IoT. International Journal of Computer Applications, Vol. 182, No. 4, 2020. pp. 1-6.
7. Mahmudov, Q. Mikrokontrollerlar asosida avtomatlashtirishning iqtisodiy samaradorligi. Texnika Fanlari Axborotnomasi, № 2, 2022.
8. Nazarov, U. T. Energiya tejamkorlik va iqlim nazorati tizimlarining sintezi. Monografiya. – T.: Fan va texnologiya, 2021.
9. Wang, Z., & Chen, Y. Optimizing energy consumption in HVAC systems with PID control and CO2 sensing. Applied Energy, Vol. 250, 2019. pp. 288-297.
10. Otaboyev, F. R. DCV tizimlarida PWM texnologiyasining o'rni. Innovatsion Texnologiyalar Jurnali, № 1, 2023.