DOI: 10.65322/j.srd.05192026.61

UO‘T (UDK): 628.164:536.5:621.38

SUVNI CHUCHUKLANTIRISH QURILMASIDA HARORATNI NAZORAT QILUVCHI MIKROELEKTRON QURILMANI ISHLAB CHIQISH

Berkinov Elmurod Xoshimjonovich, dotsent,
Elektr muhandisligi kafedrasi,
E-mail: elmurod_8883@umail.uz,
Qirg‘izboyev Umidjon Iminjon o‘g‘li, 2-bosqich magistranti,
Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya: *Maqsad: suvni chuchuklantirish qurilmasida bug‘lantirish kamerasi haroratini avtomatik nazorat qiluvchi mikroelektron qurilmani ishlab chiqish va uning samaradorligini baholash. Usullar: mikrokontroller, DS18B20 raqamli datchigi va qattiq holatli rele asosida qurilmaning strukturaviy sxemasi tuzildi; kameraning issiqlik modeli yordamida mexanik termostat, ikki pozitsiyali va PID boshqaruv usullari 80 °C belgilangan haroratda modellashtirildi. Natijalar: PID algoritmli qurilma barqaror holatda haroratni belgilangan qiymatdan 0,03 °C dan oshmaydigan og‘ish bilan ushlab turdi (mexanik termostatda – 5,6 °C), energiya sarfi taxminan 2,3 % kamaydi. Xulosa: taklif etilgan mikroelektron qurilma jarayon barqarorligini oshiradi hamda isitgichni ortiqcha qizish va quruq ishlash holatlaridan himoya qiladi.*

Аннотация: *Цель: разработка микроэлектронного устройства для автоматического контроля температуры в камере испарения опреснительной установки и оценка его эффективности. Методы: на основе микроконтроллера, цифрового датчика DS18B20 и твердотельного реле составлена структурная схема устройства; с помощью тепловой модели камеры выполнено моделирование механического термостата, двухпозиционного и ПИД-регулирования при заданной температуре 80 °C. Результаты: устройство с ПИД-алгоритмом в установившемся режиме удерживало температуру с отклонением не более 0,03 °C (при механическом термостате – 5,6 °C), расход энергии снизился примерно на 2,3 %. Выводы: предлагаемое микроэлектронное устройство повышает стабильность процесса и защищает нагреватель от перегрева и работы всухую.*

Abstract: *Objective: to develop a microelectronic device for automatic temperature control of the evaporation chamber of a water desalination unit and to assess its efficiency. Methods: a block diagram based on a microcontroller, a DS18B20 digital sensor and a solid-state relay was designed; mechanical thermostat, on-off and PID control were simulated with a thermal model of the chamber at an 80 °C setpoint. Results: in the steady state the PID-based device kept the temperature within 0.03 °C of the setpoint (5.6 °C for the mechanical thermostat), and energy consumption decreased by about 2.3 %. Conclusion: the proposed microelectronic device improves process stability and protects the heater against overheating and dry running.*

Kalit so‘zlar: *suvni chuchuklantirish, harorat nazorati, mikroelektron qurilma, mikrokontroller, PID boshqaruv, harorat datchigi, qattiq holatli rele.*

Ключевые слова: *опреснение воды, контроль температуры, микроэлектронное устройство, микроконтроллер, ПИД-регулирование, датчик температуры, твердотельное реле.*

Keywords: *water desalination, temperature control, microelectronic device, microcontroller, PID control, temperature sensor, solid-state relay.*

Kirish. Chuchuk suv tanqisligi bugungi kunda dunyoning ko‘plab hududlari uchun dolzarb muammoga aylanmoqda. Sho‘r va sho‘rtob suvlarni chuchuklantirish bu muammoni hal etishning

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.61

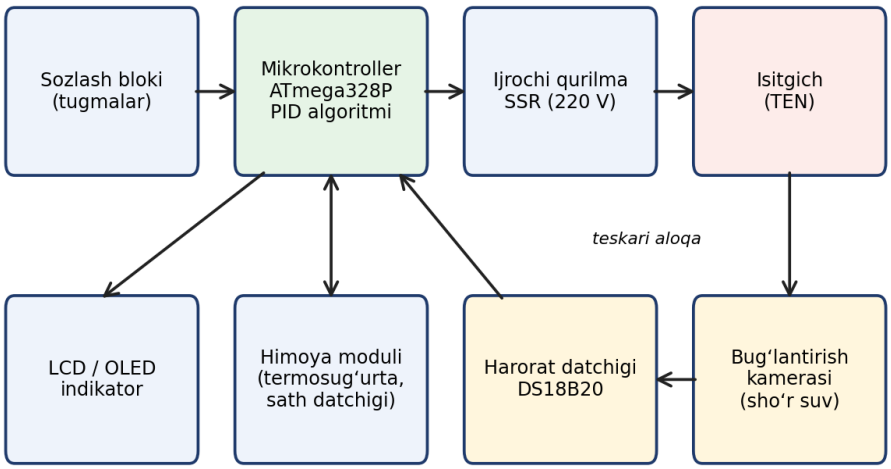
asosiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Chuchuklantirish texnologiyalari termik usullar (distillash, ko‘p bosqichli bug‘lantirish, quyosh energiyasi (solar energy) yordamida – quyosh distillyatorlari) va membranali usullar (teskari osmos) guruhlariga bo‘linadi [1-8]. Termik usullarda jarayonning unumdorligi va energiya sarfi bug‘lantirish kamerasidagi suv haroratiga bevosita bog‘liq bo‘ladi [9, 10].

Haroratni qo‘lda yoki oddiy mexanik termostat yordamida boshqarish bir qator kamchiliklarga ega: haroratning belgilangan qiymatdan katta og‘ishi, bug‘lanish tezligining beqarorligi, isitgichning ortiqcha ishlashi va qurilma sirtida tuz cho‘kmalarining hosil bo‘lish xavfining ortishi. Sathning pasayishi yoki datchik shikastlanishi holatlarida isitgichni o‘z vaqtida o‘chirish uchun esa avtomatik himoya zarur.

Elektr tarmoqlari himoya apparaturasida mikroprotsessorli qurilmalarning elektromexanik relelarga nisbatan aniqlik va ishonchlilik jihatidan afzalliklari tadqiq etilgan [11, 12]. Shu yondashuvni texnologik jarayonlarni, xususan, suvni chuchuklantirish qurilmasi haroratini boshqarishga tatbiq etish maqsadga muvofiq: mikrokontrollerga asoslangan qurilma o‘lchash, boshqaruv algoritmini bajarish, indikatsiya va himoya funksiyalarini bitta kichik gabaritli, arzon va moslashuvchan blokda birlashtiradi.

Mazkur ishning maqsadi – suvni chuchuklantirish qurilmasida haroratni aniq ushlab turuvchi va qurilmani avariya rejimlaridan himoya qiluvchi mikroelektron qurilmani ishlab chiqish, uning matematik modelini tuzish hamda mexanik termostat, ikki pozitsiyali va PID boshqaruv usullarini qiyosiy baholashdan iborat.

Usullar. Ishlab chiqilayotgan qurilma bug‘lantirish kamerasidagi sho‘r suv haroratini 70–90 °C oralig‘ida berilgan qiymatda avtomatik ushlab turish uchun mo‘ljallangan. Strukturaviy sxema 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Mikroelektron harorat nazorati qurilmasining strukturaviy sxemasi

Qurilmaning asosiy qismlari quyidagilardan iborat:

–Harorat datchigi – bug‘lantirish kamerasiga o‘rnatiladigan zanglamaydigan po‘latdan tayyorlangan germetik zond (DS18B20); u 12 razryadli raqamli chiqish, 0,0625 °C o‘lchash qadami va −10…+85 °C oralig‘ida taxminan ±0,5 °C aniqlikka ega [13];

–Mikrokontroller (ATmega328P yoki unga o‘xshash) – o‘lchash natijalarini qayta ishlaydi, PID algoritmini bajaradi, indikatsiya va himoya funksiyalarini boshqaradi [14];

–Ijrochi qurilma – 220 V tarmoqdan ishlovchi isitgichni (TEN) nolga o‘tish rejimida ulovchi qattiq holatli rele (SSR); mexanik kontaktlari yo‘qligi sababli ishonchliligi yuqori;

–Himoya moduli – suv sathi datchigi, ikkinchi (mustaqil) harorat datchigi va isitgich zanjiridagi termosug‘urta (taxminan 95 °C);

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.61

– Sozlash va indikatsiya bloki – belgilangan haroratni o‘rnatish tugmalari va joriy qiymatni ko‘rsatuvchi LCD yoki OLED displey.

Datchikni tanlashda o‘lchash oralig‘i, aniqlik, interfeys, tannarx va sho‘r muhitga chidamlilik inobatga olindi. Keng qo‘llaniladigan datchiklarning qiyosiy tavsifi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Harorat datchiklarining qiyosiy tahlili

Datchik	O‘lchash oralig‘i, °C	Aniqlik (taxminan)	Interfeys	Qo‘llash bahosi
DS18B20	−55…+125	±0,5 °C	1-Wire (raqamli)	Tanlandi: arzon, kalibrovkasiz
NTC termistor 10 kOm	−40…+125	±1…2 °C	Analog (ADC)	Chiziqlashtirish va kalibrovka talab etadi
K-turdagi termopara + MAX6675	0…+1024	±2 °C	SPI	Keng oraliq, aniqligi pastroq [7]
Pt100 + MAX31865	−200…+850	±0,3…0,5 °C	SPI	Eng aniq, lekin qimmatroq

Bug‘lantirish kamerasi issiqlik jihatidan bir jinsli jism sifatida qaraladi va uning harorati issiqlik balansi tenglamasi bilan ifodalanadi [17-19]:

$$C\frac{dT}{dt} = P_{max}u(t) - hA(T - T_a) \quad (1)$$

bu yerda C – tizimning issiqlik sig‘imi, J/K; T – suv harorati, °C; P_{max} – isitgichning nominal quvvati, W; $u(t)$ – boshqaruv signali (0…1); hA – issiqlik yo‘qotish koeffitsiyenti, W/K; T_a – atrof-muhit harorati, °C. Datchikning inersiyasi birinchi tartibli zveno bilan hisobga olinadi:

$$\tau_s\frac{dT_s}{dt} = T - T_s \quad (2)$$

bu yerda τ_s – datchikning vaqt doimiysi, s; T_s – datchik ko‘rsatkichi. Boshqaruv signali PID qonuni bo‘yicha shakllantiriladi [17, 18]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i\int_0^t e(\tau)d\tau + K_d\frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

bu yerda $e(t) = T_{set} - T_s$ – rostlash xatosi; K_p, K_i, K_d – proporsional, integral va differensial koeffitsiyentlar. Mikrokontrollerda algoritm $\Delta t = 1$ s qadamli diskret ko‘rinishda bajariladi, SSR vaqt-proporsional rejimda (davr $T_w = 2$ s) boshqariladi, ya’ni ulangan holat davomiyligi $t_{on} = u \cdot T_w$. Integral tashkil etuvchining to‘planib ketishini (windup) oldini olish uchun integrallash faqat $|e| < 4$ °C bo‘lganda yoqiladi, u signali esa 0…1 oralig‘ida cheklanadi.

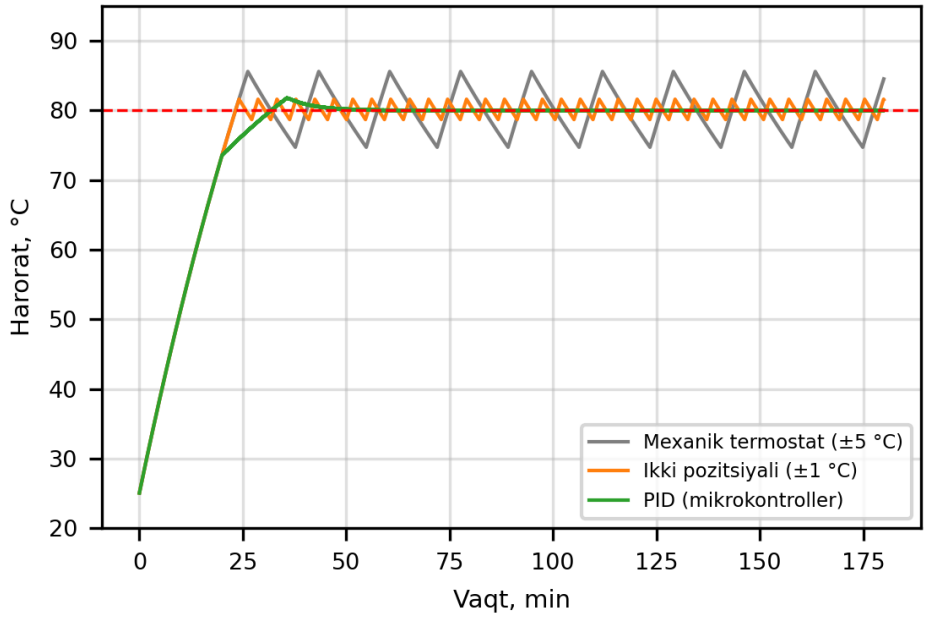
Modellashtirishda quyidagi parametrlar qabul qilindi: suv massasi 5 kg ($C \approx 20\,900$ J/K), $P_{max} = 1000$ W, $hA = 6$ W/K, $T_a = 25$ °C, $\tau_s = 20$ s, $T_{set} = 80$ °C, kuzatuv davomiyligi – 3 soat; $K_p = 0{,}08$, $K_i = 0{,}0002$, $K_d = 2{,}0$. Taqqoslash uchun uch usul ko‘rib chiqildi: gisterezisi ±5 °C bo‘lgan mexanik termostat, gisterezisi ±1 °C bo‘lgan ikki pozitsiyali (elektron) boshqaruv va PID boshqaruv. Tejamkorlik mexanik termostat bilan solishtirib baholandi:

$$\eta = \frac{E_m - E_p}{E_m} \times 100\ \% \quad (4)$$

bu yerda η – tejamkorlik, %; E_m va E_p – mos ravishda mexanik termostat va PID boshqaruv bilan ishlashdagi energiya sarfi, kVt·soat.

Natijalar. Bug‘lantirish kamerasi haroratining uch xil boshqaruv usulidagi o‘zgarishi 2-rasmda, asosiy ko‘rsatkichlar 2-jadvalda keltirilgan.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.61



2-rasm. Turli boshqaruv usullarida bug‘lantirish kamerasi haroratining o‘zgarishi (T_{set} = 80 °C)

2-jadval

Boshqaruv usullarining modellashtirish natijalari

Ko‘rsatkich	Mexanik termostat (±5 °C)	Ikki pozitsiyali (±1 °C)	PID (mikrokontroller)	Izoh
Maksimal oshib ketish, °C	5,6	1,6	1,8	Qizish bosqichida
O‘rtacha kvadratik og‘ish, °C	3,11	0,84	0,016	1,5 soatdan keyin
Maksimal og‘ish, °C	5,6	1,6	0,03	$\lvert T - T_{set}\rvert$, barqaror holat
Belgilangan haroratga chiqish vaqti, min	22,7	22,7	29,9	$T \geq T_{set} - 1$ °C
3 soatlik energiya sarfi, kVt·soat	1,278	1,261	1,249	Modellashtirish

Natijalar tahlili. 2-jadvaldan ko‘rinadiki, PID boshqaruvli mikroelektron qurilma haroratni ushlab turish aniqligi bo‘yicha boshqa usullardan sezilarli ustun: barqaror holatda maksimal og‘ish mexanik termostatga nisbatan taxminan 190 marta, ikki pozitsiyali boshqaruvga nisbatan taxminan 50 marta kam. Buning narxi – belgilangan haroratga chiqish vaqtining taxminan 7 minutga uzayishi, chunki integral tashkil etuvchi yaqinlashish bosqichida cheklangan holda ishlaydi.

Tejamkorlik (4) formula bo‘yicha $\eta = (1{,}278 - 1{,}249) / 1{,}278 \times 100\ \% \approx 2{,}3\ \%$ ni tashkil etadi. Demak, energiya sarfi bo‘yicha yutuq kichik; mikroelektron qurilmaning asosiy ustunligi jarayon barqarorligi, bug‘lanish unumdorligining bir me’yorda bo‘lishi va isitgichni himoya qilishdadir. Qurilmaning boshqa afzalliklari:

1. Kontaktlarsiz boshqaruv – SSR qo‘llanishi tufayli mexanik eskirish yo‘q;
2. Ko‘p darajali himoya – sath, ortiqcha harorat va datchik uzilishi bo‘yicha avtomatik o‘chirish;

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.61

3. Moslashuvchanlik – belgilangan harorat va koeffitsiyentlar dasturiy o‘zgartiriladi;
4. Kichik gabarit va past tannarx – seriyali komponentlar asosida yig‘iladi;
5. Integratsiyaga moslik – UART yoki Wi-Fi moduli orqali masofaviy monitoringga ulanish imkoniyati.

Muhokama. Natijalar bir massali issiqlik modeliga asoslangan bo‘lib, usullarni o‘zaro nisbiy baholash va qurilmaning ishlash tamoyilini asoslash imkonini beradi. Real qurilmada qaynash jarayoni, sho‘r suv konsentratsiyasining o‘zgarishi, isitgich inersiyasi va tashqi g‘alayonlar (suv quyilishi, havo oqimi) qo‘shimcha ta’sir ko‘rsatadi, shuning uchun PID koeffitsiyentlarini tajriba asosida aniqlashtirish zarur. Qurilmaning cheklovlari va ularni bartaraf etish yo‘llari:

–sho‘r muhitda zond korroziyaga uchrashi mumkin – zanglamaydigan po‘lat yoki PTFE qoplamali zondlar qo‘llanadi va muntazam tekshiriladi;

–datchik noto‘g‘ri joylashtirilsa o‘lchash xatosi ortadi – zond isitgichdan ma’lum masofada, suv aralashib turadigan zonada o‘rnatiladi;

–kommutatsiya halaqitlari mikrokontrollerga ta’sir etadi – nolga o‘tish rejimli SSR, ekranlangan kabel va tarmoq filtri qo‘llanadi;

–namlik va bug‘ ta’siri – IP54 va undan yuqori himoya darajali korpus tanlanadi;

–datchik uzilganda isitgich nazoratsiz ishlab ketishi mumkin – o‘lchash qiymati diapazondan chiqsa isitgichni o‘chiruvchi dasturiy himoya va mustaqil termosug‘urta o‘rnatiladi.

Kelgusida qurilmani real chuchuklantirish qurilmasida sinash, o‘z-o‘zini sozlovchi (auto-tune) PID algoritmini joriy etish hamda quyosh energiyasi bilan ishlovchi tizimlarda qo‘llash rejalashtirilmoqda.

Xulosa. Suvni chuchuklantirish qurilmasida haroratni nazorat qiluvchi mikroelektron qurilmaning strukturaviy sxemasi ishlab chiqildi: harorat datchigi sifatida DS18B20, boshqaruv elementi sifatida mikrokontroller va SSR, himoya elementlari sifatida sath datchigi hamda termosug‘urta tanlandi. Matematik modellashtirish PID algoritmli qurilma barqaror holatda haroratning belgilangan qiymatdan og‘ishini 0,03 °C gacha kamaytirishini (mexanik termostatda – 5,6 °C) va energiya sarfini taxminan 2,3 % qisqartirishini ko‘rsatdi. Amaliy tavsiyalar: (1) bug‘lantirish kamerasi uchun zanglamaydigan po‘latdan yasalgan DS18B20 zondi va nolga o‘tish rejimli SSR qo‘llash; (2) isitgich zanjirida mustaqil termosug‘urta va sath bo‘yicha himoyani majburiy o‘rnatish; (3) PID koeffitsiyentlarini real qurilmada sinov asosida aniqlashtirish.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. T.B. Sodiqov. Prospects of solar integrated hydrogen production as a key component of sustainable energy of the future in Uzbekistan: Main problems and solutions. International Journal of Hydrogen Energy, 2026, Vol.251, 155866. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2026.155866

2. Saitov E. B., Sodiqov T. B. Modeling an autonomous photovoltaic system in the Matlab Simulink software environment The 1st International Conference on Problems and Perspectives of Modern Science, (16 June 2022) https://doi.org/10.1063/5.0089914

3. Zikrillayev N., Toshov J., Saitov E., et al., Development and selection of equipment for a peak autonomous photo power plant. Rudenko International Conference Methodoligical poblems in Reability Study of Lage Energy Systems, (05 January 2023) https://doi.org/10.1063/5.0117594

4. Zikrikllayev Kh., Sodiqov T. Improving energy efficiency of solar panels. E3S Web of Conference V International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, 2023, 401 (04021):1–9. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340104021

5. Zikrikllayev Kh., Sodiqov T. Study on main characteristics of HANWHA solar panels. E3S Web of Conference 4th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering, 2023, 434 (01037):1–6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401037

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.61

6. Kh. Zikrillayev, T.B. Sodiqov. Study of the Structural and Mechanical Part of the Hanwha Solar Panel // Scientific-technical journal of FerPI, № 5 (27), c.146-150, 2023 год.

7. Kh. Zikrillayev, T.Sodiqov. Hanwha solar panels. Study of their electrophysical parameters // Universum: Технические науки, № 5 (110), c.45-49, 2023 год. https://cyberleninka.ru/article/n/nanwna-solar-panels-study-of-their-electrophysical-parameters/viewer

8. Умурзаков А.Х., Мамаджанов А.Б., Содиков Т.Б., Акмалов Ж.Х. Определение оптимальной геометрии лопастей и оценка эффективности гравитационно-вихревой микрогидроэлектростанции с коническим бассейном // Международный журнал Альтернативная энергетика и экология, № 06 (435), с. 79-95, 2025 год.

9. Х.Ф. Зикриллаев, Т.Б. Содиков. Автоматизация процесса очистки солнечной панели оснащенной системой очистки // Сборник избранных статей международной научной конференции «Инновационные исследования в современном мире», Санкт-Петербург, Апрель. –С.20-21, 2024 год.

10. Elimelech M., Phillip W.A. The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment // Science. – Washington, 2011. – Vol. 333, – pp. 712–717.

11. Berkinov E.X. Elektr uzatish va taqsimlash tizimlarining ishonchliligini oshirishda an’anaviy va zamonaviy relelarni tadqiq qilish // Mexanika va Texnologiya ilmiy jurnali. – 2025. – 6-jild, Maxsus son-1, – 438-444-b.

12. Berkinov E.X. Transformatorlarni differensial himoyasida qo‘llaniladigan mikroprotsessorli himoya qurilmalarining elektromagnitli relelardan afzalliklari // Qurilish va ta’lim ilmiy jurnali. – 2025. – Maxsus son-1, – 278-287-b.

13. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. – URL: https://www.analog.com/en/products/ds18b20.html (murojaat sanasi: 13.10.2026).

14. ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller. – URL: https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega328P (murojaat sanasi: 13.10.2026).

15. MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter. – URL: https://www.analog.com/en/products/max6675.html (murojaat sanasi: 13.10.2026).

16. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – Hoboken: Wiley, 2007. – 6th ed.

17. Åström K.J., Hägglund T. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. – Research Triangle Park: ISA, 1995. – 2nd ed.

18. Ogata K. Modern Control Engineering. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010. – 5th ed.

19. Khawaji A.D., Kutubkhanah I.K., Wie J.-M. Advances in seawater desalination technologies // Desalination. – Amsterdam, 2008. – Vol. 221, – pp. 47–69.