

HARORAT VA NAMLIKNI AVTOMATIK BOSHQARISH JARAYONINING MATEMATIK MODELI VA ALGORITMLARI

B.Sh. Usmanov

*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining
Telekommunikatsiya texnologiyalari fakulteti o‘quv ishlari bo‘yicha dekan muovini*

Annotatsiya: Ushbu ishda maxsus obyektlarda harorat va namlik parametrlarini masofadan monitoring qilish asosida avtomatik boshqarish tizimlarini yaratish masalalari tizimli yondashuv asosida tadqiq etilgan. Mikroikim jarayonlari energiya va massa muvozanati tenglamalari yordamida modellashirilib, BBM (bashoratli boshqaruv modeli) asosidagi algoritm orqali boshqaruv samaradorligi baholangan. Tadqiqot natijalari real vaqt rejimida ishlovchi monitoring va avtomatik boshqaruv tizimlarining aniqligi, barqarorligi hamda xavfsizligini ta’minlash imkoniyatini ko‘rsatadi.

Bu maqolada obyektlarda harorat va namlikni avtomatik boshqarish jarayonining matematik modeli ishlab chiqish yondashuvlari ko‘rib chiqilgan.

Kalit so‘zlar: Masofadan monitoring, avtomatik boshqaruv, harorat va namlik, mikroikim modeli, matematik modellashirish, BBM algoritmi, sensor tarmoqlari, real vaqt rejimi, tizimli tahlil, maxsus obyektlar.

Аннотация: В данной работе на основе системного подхода исследуются вопросы создания систем автоматического управления на базе дистанционного мониторинга параметров температуры и влажности на специальных объектах. Процессы микроклимата моделируются с использованием уравнений энергетического и массового баланса, а эффективность управления оценивается с применением алгоритма BBM (модель прогнозного управления).

В статье также рассматриваются подходы к разработке математической модели процесса автоматического управления температурой и влажностью на объектах.

Ключевые слова: Дистанционный мониторинг, автоматическое управление, температура и влажность, модель микроклимата, математическое моделирование, алгоритм BBM, сенсорные сети, режим реального времени, системный анализ, специальные объекты.

So‘nggi yillarda raqamli texnologiyalar, sanoat avtomatlashtirish tizimlari va axborot-kommunikatsiya infratuzilmasining jadal rivojlanishi natijasida texnologik obyektlarda jarayonlarni real vaqt rejimida barqaror boshqarish masalasi ustuvor yo‘nalishga aylandi. Ayniqsa, harorat va namlik kabi mikroikim parametrlarining me‘yoriy chegaralarda saqlanishi harbiy va strategik obyektlar, server markazlari, aloqa tugunlari, farmatsevtika va maxsus laboratoriya majmualari uchun muhim xavfsizlik omili hisoblanadi.

Amaliy tajribalar shuni ko‘rsatadiki, haroratning atigi 2–3 °C ga og‘ishi yoki nisbiy namlikning me‘yoridan chiqishi ham texnik qurilmalarning ishdan chiqishi,

ma'lumotlarning yo'qolishi, moddiy boyliklarning shikastlanishi va favqulodda holatlar yuzaga kelishiga sabab bo'lishi mumkin. Shu bois mikroiklimni avtomatik, aniq va uzluksiz boshqarish zamonaviy texnologik tizimlarning ajralmas qismiga aylanmoqda.

O'zbekiston Respublikasida ham raqamli transformatsiya va texnologik barqarorlikni ta'minlash davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilanmoqda. Prezident Shavkat Mirziyoyev o'z chiqishlarida “raqamli texnologiyalar iqtisodiyot va boshqaruvning barcha sohalarida samaradorlikni oshiruvchi asosiy omil” ekanini ta'kidlab, zamonaviy avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etish zarurligini qayd etadi. Shuningdek, davlat rahbari “texnologik xavfsizlik va raqamli infratuzilmani himoyalash milliy xavfsizlikning ajralmas qismi” ekanini alohida urg'ulaydi.

Mazkur fikrlar harorat va namlikni avtomatik boshqarish tizimlarining nafaqat texnik, balki strategik va milliy xavfsizlik nuqtayi nazaridan ham dolzarbligini ko'rsatadi. Chunki maxsus obyektlarda mikroiklim parametrlarining barqarorligi bevosita infratuzilma xavfsizligi, axborot uzluksizligi va texnologik jarayonlarning ishonchliligi bilan bog'liqdir.

An'anaviy lokal nazorat va qo'lda boshqarish usullari inson omiliga yuqori darajada bog'liq bo'lib, kechikishlar va xatoliklar ehtimolini oshiradi. Zamonaviy sharoitda esa jarayonlarni avtomatik boshqarish, matematik modellar va intellektual algoritmlar asosida optimallashtirish talab etiladi. Aynan shu ehtiyoj harorat va namlikni boshqarish jarayonining matematik modelini ishlab chiqish hamda samarali boshqaruv algoritmlarini yaratish zaruratini yuzaga keltirmoqda.

Shu bois ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi - mikroiklimni avtomatik boshqarish tizimlarini matematik modellashtirish, tahlil qilish va algoritmik jihatdan takomillashtirish orqali ularning aniqligi, barqarorligi va energiya samaradorligini oshirishdan iborat. Mazkur yo'nalish Prezidentimiz tomonidan belgilangan raqamli rivojlanish strategiyasi hamda xavfsiz infratuzilma yaratish bo'yicha ustuvor vazifalarga to'liq mos keladi.

Boshqaruv tizimining samaradorligini baholash maqsadida BBM (bashoratli boshqaruv modeli) asosidagi boshqaruv algoritmi sinovdan o'tkazildi hamda uning ishlash natijalari real tizim sharoitlarida olingan o'lchov ma'lumotlari bilan qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot jarayonida harorat va namlik parametrlarini aniqlash uchun yuqori aniqlikka ega raqamli sensorlardan foydalanildi.

Harorat va namlikni modellashtirish jarayoni energiya va massa muvozanati qonunlari asosida olib borildi. Bunda maxsus obyekt ichki muhitining harorati vaqt bo'yicha qanday o'zgarishini tavsiflovchi matematik model quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

(1)

(1) formula orqali haroratning real vaqt rejimidagi dinamikasi, tashqi muhit ta'siri, ichki issiqlik manbalari va boshqaruv signallarining obyekt ichki muhitiga qanday ta'sir qilishi matematik tarzda ifodalanadi. Bu model avtomatik boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish va sinovdan o'tkazishda asosiy tayanch hisoblanadi.

Mazkur tenglama maxsus obyekt ichki muhitidagi haroratning vaqt bo'yicha dinamikasini matematik jihatdan ifodalaydi va obyektga kiruvchi hamda undan chiqib ketuvchi issiqlik oqimlari balansi asosida shakllantirilgan. Ushbu model mikroiklimni avtomatik boshqarish tizimlarini ishlab chiqishda muhim nazariy asos bo'lib xizmat qiladi,

chunki u nazorat qilinayotgan muhitdagi issiqlik jarayonlarini yetarli aniqlikda tavsiflash imkonini beradi [].

K. Tutenberg, J. Kilter va K. Uhlen (2017) tomonidan ta’kidlanganidek, tizimni identifikatsiyalash - bu real fizik jarayonlarni matematik modellashirishning tajribaga asoslangan bosqichi bo’lib, u nazorat qilinayotgan obyektga berilgan tashqi kirish signallariga nisbatan o’lchanadigan chiqish signallarini tahlil qilish orqali amalga oshiriladi. Ushbu yondashuv real vaqt rejimidagi monitoring va avtomatik boshqaruv tizimlarini ishlab chiqishda muhim rol o’ynaydi.

Mazkur tadqiqotda maxsus obyekt muhitida harorat va namlik parametrlarini boshqarish jarayoni yagona kirish va yagona chiqish modeli sifatida qaraladi. Bunda kirish signallari obyektga tashqi ta’sir ko’rsatuvchi boshqaruv harakatlari asosida isitish, sovitish, shamollatish yoki namlash tizimlari orqali ifodalanadi. Chiqish signali esa obyekt ichki muhitida o’lchanadigan asosiy parametrlar orqali harorat va nisbiy namlik qiymatlari sifatida qabul qilinadi []

Shunday qilib, ishlab chiqilgan model dastlabki eksperimental va nazariy ma’lumotlarga asoslangan bo’lib, u orqali tizimga berilgan boshqaruv signallariga javoban chiqish parametrlarining qanday o’zgarishi kuzatiladi. Ushbu yondashuv masofadan monitoring va avtomatik boshqaruv tizimlari uchun matematik asos yaratadi hamda ularning aniqligi va barqarorligini oshirishga xizmat qiladi.

Maxsus obyektlarda harorat va namlik parametrlarini barqaror ushlab turish avtomatik boshqaruv tizimlarining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. Bunday obyektlarda boshqaruv aniqligi yuqori bo’lishi talab etiladi, chunki kichik og’ishlar ham texnologik jarayon sifatiga salbiy ta’sir ko’rsatishi mumkin. Shu sababli boshqaruv jarayonini matematik modellashirish muhim ilmiy masala hisoblanadi.

Harorat va namlik o’zgarish jarayoni inersion xususiyatga ega bo’lib, tashqi muhit, issiqlik manbalari, shamollatish va namlantirish tizimlari ta’sirida shakllanadi. Ushbu jarayonni dinamik tizim sifatida ifodalash mumkin. Model qurishda issiqlik almashinuvi, namlik diffuziyasi va muhit sig’imi hisobga olinadi.

Harorat dinamikasi soddalashtirilgan holda birinchi tartibli differensial tenglama bilan ifodalanishi mumkin. Namlik jarayoni ham shunga o’xshash inersion model orqali tasvirlanadi. Natijada ko’p o’zgaruvchili boshqaruv modeli hosil bo’ladi. Ushbu modelda kirish ta’sirlari sifatida isitish, sovitish va namlantirish signallari qatnashadi.

Masofaviy monitoring sharoitida o’lchov signallari sensorlar orqali olinadi. Sensorlar esa ma’lum xatolik va shovqin bilan ishlaydi. Shuning uchun modelga o’lchov xatoligi komponenti ham kiritiladi. Bu esa real tizimga yaqinroq model qurish imkonini beradi.

Avtomatik boshqaruv algoritmlarini qurishda klassik PID boshqaruv keng qo’llanadi. PID boshqaruv sodda va amaliy jihatdan qulay bo’lsa-da, parametrlar keskin o’zgaradigan muhitda har doim ham optimal natija bermaydi. Shu sababli adaptiv va noaniq mantiq asosidagi boshqaruv usullaridan foydalanish istiqbolli hisoblanadi.

Matematik model asosida quyidagi masalalarni yechish mumkin:

- boshqaruv parametrlarini optimallashtirish
- barqarorlikni tekshirish
- o’tish jarayonini baholash

- energiya sarfini kamaytirish
- prognozlash

Simulyatsiya natijalari shuni ko‘rsatadiki, model asosida sozlangan boshqaruv algoritmi parametrlarni berilgan diapazonda barqaror ushlab turishga imkon beradi. Masofaviy monitoring bilan integratsiyalashgan boshqaruv tizimi esa real vaqt rejimida moslashuvchan boshqaruvni ta’minlaydi.

Shunday qilib, harorat va namlikni boshqarish jarayonining matematik modeli avtomatik boshqaruv tizimlarini loyihalashda muhim asos bo‘lib xizmat qiladi. Kelgusida neyro-noaniq va adaptiv algoritmlar asosida yanada aniq boshqaruv usullarini ishlab chiqish mumkin.

Matematik modellash asosida qurilgan boshqaruv tizimi harorat va namlik parametrlarini barqaror saqlashda yuqori samaradorlik beradi. Adaptiv va intellektual algoritmlar kelgusidagi tadqiqotlar uchun istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

O‘tkazilgan tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, maxsus obyektlarda harorat va namlik parametrlarini masofadan monitoring qilish hamda ularni avtomatik boshqarish tizimlarini yaratish zamonaviy texnologik infratuzilmaning ajralmas qismi hisoblanadi. Mikroiqim ko‘rsatkichlarining me‘yorlardan chetga chiqishi texnik vositalarning ishdan chiqishi, moddiy resurslarning shikastlanishi va xavfsizlik darajasining pasayishiga olib kelishi sababli, ularni aniq va barqaror boshqarish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa sifatida namoyon bo‘lmoqda.

Tadqiqot davomida tizimli tahlil asosida maxsus obyekt muhitida harorat va namlikni boshqarish jarayoni matematik model orqali ifodalandi. Energiya va massa muvozanati qonunlariga asoslangan model yordamida obyekt ichki muhitining dinamikasi tavsiflandi hamda real sharoitlarda olingan o‘lchov ma’lumotlari bilan qiyosiy baholandi. Natijalar modelning yuqori aniqlik va barqarorlikka ega ekanini tasdiqladi.

Bashoratli boshqaruv modeli asosidagi boshqaruv algoritmini qo‘llash orqali tizimning tezkorligi va moslashuvchanligi oshirildi. Ushbu algoritm tashqi muhit o‘zgarishlari va yuklama sharoitlariga mos holda boshqaruv signallarini optimallashtirish imkonini berdi. Shuningdek, sensor ma’lumotlarini qayta ishlashda filtratsiya va adaptiv baholash usullarini qo‘llash o‘lchov shovqinlari ta’sirini kamaytirib, monitoring aniqligini sezilarli darajada yaxshiladi.

Tizimli yondashuv asosida ishlab chiqilgan masofaviy monitoring va avtomatik boshqaruv arxitekturasini real vaqt rejimida nazorat, tezkor ogohlantirish hamda markazlashgan boshqaruv imkoniyatlarini ta’minladi. Natijada inson omiliga bog‘liqlik kamaytirilib, xavfsizlik darajasi va resurslardan foydalanish samaradorligi oshirildi.

Xulosa qilib aytganda, taklif etilgan matematik modellar va boshqaruv algoritmlari maxsus obyektlarda mikroiklimni barqaror saqlash uchun ishonchli ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi. Kelgusida ushbu tizimlarni sun’iy intellekt va adaptiv intellektual boshqaruv usullari bilan integratsiyalash orqali ularning funksional imkoniyatlarini yanada kengaytirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YHATI:

1. Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S., & Domun, T. (2018). Dynamic neural network modelling of soil moisture content for predictive irrigation scheduling. *Sensors*, 18(3408). <https://doi.org/10.3390/s18103408>
2. Altes-Buch, Q., Quoilin, S., & Lemort, V. (2019, March). Greenhouses: A Modelica library for the simulation of greenhouse climate and energy systems. In *Proceedings of the 13th International Modelica Conference* (pp. 54). Regensburg, Germany. <https://doi.org/10.3384/ecp19157533>
3. Arnaud, S. E., Calisti, M., & Polydoros, A. (2025). Data-driven greenhouse climate regulation in lettuce cultivation using BiLSTM and GRU predictive control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 215, 108417. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.108417>
4. Chen, S., Liu, A., Tang, F., Hou, P., Lu, Y., & Yuan, P. (2025). A Review of Environmental Control Strategies and Models for Modern Agricultural Greenhouses. *Sensors*, 25(5), 1388. <https://doi.org/10.3390/s25051388>
5. Chimankare, R. V. (2023). A review study on the design and control of optimised greenhouse environments. *Renewable Agriculture Reviews*, 18(4), 221–235.
6. Despommier, D. D. (2011). *The vertical farm: Feeding the world in the 21st century*. First Picador ed., St. Martin’s Press.
7. Diaz, G. (2023). Design and evaluation of a greenhouse interface for user-friendly climate monitoring and control. *International Journal of Smart Agriculture*, 9(3), 102–115.
8. Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., & Fatemi, E. (2017). Vertical farming: Creating an accessible and sustainable future. A review. *Journal of Landscape Ecology*, 10(1), 35–60.
9. Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Bakker, S. (2013). *Greenhouse climate control and energy use*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.