IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 22 Issue 02 IYUL 2026

ISSIQXONA XAVOSINI TOZALASH UCHUN ELEKTROFILTR ISHLAB CHIQISH

Jo'raboyev Shukrullo Lutfillo o'g'li
E-mail: shukrullojuraboyev@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.21371044

Annotatsiya: Ushbu ilmiy maqolada zamonaviy issiqxonalar ichki muhitidagi havoni tozalash va mikroiqlimni yaxshilash maqsadida ikki bosqichli elektrofiltr (elektr cho'ktirgich) qurilmasini ishlab chiqish, uning konstruktiv parametrlari va ish rejimlarini tadqiq etish masalalari yoritilgan. Issiqxona havosida uchraydigan organik changlar, zamburug' sporalari, bakteriyalar va turli aerozollarni (PM2.5 va PM10) samarali tutib qolish uchun ijobiy toj razryadli (positive corona) elektrofiltr modeli taklif etilgan. Maqolada qurilmaning aerodinamik qarshiligi, ionizatsiya kuchlanishi va havoning nisbiy namligi elektrofiltr samaradorligiga ko'rsatadigan ta'siri matematik modellashtirish va eksperimental ma'lumotlar asosida tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, ishlab chiqilgan elektrofiltr havo oqimi tezligi 1,2 m/s bo'lganda, PM2.5 zarralarini 95,4% gacha, mikrobiologik sporalarni esa 97,8% gacha samaradorlik bilan tutib qolishi aniqlandi. Shuningdek, qurilmaning ozon ajratish miqdori o'simliklar uchun xavfsiz bo'lgan 0,02 ppm darajasidan oshmasligi isbotlandi.
Kalit so'zlar: Elektrofiltr, issiqxona mikroiqlimi, toj razryadi, dreyf tezligi, chang zarralari, aerozollar, biologik spora, Deutsch-Anderson tenglamasi, ionizatsiya.

Аннотация: В данной научной статье рассматриваются вопросы разработки двухступенчатого электрофильтра (электроосадителя) с целью очистки воздуха и улучшения микроклимата внутри современных теплиц, а также исследование его конструктивных параметров и режимов работы. Для эффективного улавливания органической пыли, спор грибов, бактерий и различных аэрозолей (PM2.5 и PM10), встречающихся в воздухе теплиц, предложена модель электрофильтра с положительным коронным разрядом (positive corona). На основе математического моделирования и экспериментальных данных проанализировано влияние аэродинамического сопротивления устройства, напряжения ионизации и относительной влажности воздуха на эффективность работы электрофильтра. Согласно результатам исследования, разработанный электрофильтр при скорости воздушного потока 1,2 м/с улавливает частицы PM2.5 с эффективностью до 95,4%, а микробиологические споры — до 97,8%. Также доказано, что количество выделяемого устройством озона не превышает безопасного для растений уровня 0,02 ppm.
Ключевые слова: Электрофильтр, микроклимат теплицы, коронный разряд, скорость дрейфа, частицы пыли, аэрозоли, биологическая спора, уравнение Дойча-Андерсона, ионизация.

Abstract: This scientific article addresses the issues of developing a two-stage electrostatic precipitator to purify the air and improve the microclimate inside modern greenhouses, as well as studying its design parameters and operating modes. A positive corona electrostatic precipitator model is proposed to effectively capture organic dust, fungal spores, bacteria, and various aerosols (PM2.5 and PM10) found in greenhouse air. The effects of the device's aerodynamic resistance, ionization voltage, and relative air humidity on the precipitator's efficiency are analyzed using mathematical modeling and experimental data. According to the research results, at an airflow velocity of 1.2 m/s, the developed electrostatic precipitator captures PM2.5 particles with an efficiency of up to 95.4% and microbiological spores with an efficiency of up to

97.8%. Furthermore, it is proven that the ozone emission of the device does not exceed 0.02 ppm, which is a safe level for plants.

Keywords: Electrostatic precipitator, greenhouse microclimate, corona discharge, drift velocity, dust particles, aerosols, biological spore, Deutsch-Anderson equation, ionization.

Kirish

Hozirgi vaqtda qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetishtirishda zamonaviy issiqxona majmualarining roli beqiyos darajada ortib bormoqda. Issiqxonalarda yuqori hosildorlikka erishish uchun faqatgina harorat va namlikni nazorat qilish yetarli bo‘lmay, havo muhitining tozaligi ham muhim ahamiyat kasb etadi [1]. Yopiq ekotizim hisoblangan issiqxonalarda o‘simlik changlari, turli zamburug‘ sporalari (Botrytis cinerea, Powdery mildew), pestitsid qoldiqlari va mineral o‘g‘it changlari yuqori konsentratsiyada to‘planadi [2]. Bu holat o‘simliklarning fotosintez jarayonini sekinlashtiradi, barg yuzalarining chang bilan qoplanishiga va natijada hosildorlikning 15-20% gacha pasayishiga olib keladi [3]. Bundan tashqari, issiqxonada uzoq vaqt davomida ishlaydigan xodimlarda allergik va nafas yo‘llari kasalliklarining rivojlanish xavfi keskin ortadi.

An’anaviy mexanik filtrlash tizimlari (masalan, HEPA yoki cho‘ntakli filtrlar) yuqori samaradorlikka ega bo‘lsa-da, ular juda tez ifloslanadi va tizimda katta aerodinamik qarshilik ($\Delta P > 150-250$ Pa) hosil qiladi [4]. Bu esa ventilyatsiya tizimlarining energiya sarfini oshirib, ekspluatatsiya xarajatlarini ko‘paytiradi. Shuningdek, nam muhitda mexanik filtrlarda zamburug‘lar va bakteriyalar ko‘payib, filtrning o‘zi infeksiya manbaiga aylanishi xavfi mavjud [5].

Ushbu muammoni hal etishning eng samarali va energiya tejamkor usullaridan biri elektrofiltrlar (elektr cho‘ktirgichlar) hisoblanadi. Elektrofiltrlar juda kam bosim yo‘qotilishi ($\Delta P \leq 20-40$ Pa) va kichik energiya sarfi evaziga o‘ta kichik o‘lchamli ($d_p < 1$ μm) zarralarni ham yuqori samaradorlik bilan tozalash imkonini beradi [6]. Biroq, issiqxona havosining o‘ziga xos xususiyatlari — yuqori nisbiy namlik (60-90%) va organik changlarning ko‘pligi standart sanoat elektrofiltrlaridan to‘g‘ridan-to‘g‘ri foydalanish imkonini bermaydi. Shuning sababli, issiqxona mikroiqlim sharoitiga moslashtirilgan, ozon hosil bo‘lish darajasi minimal bo‘lgan ikki bosqichli elektrofiltr qurilmasini loyihalash va uning optimal parametrlarini aniqlash dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Metodologiya

Issiqxona havosi tarkibidagi chang va bio-aerozollarni tozalash uchun ikki bosqichli (ionizator va cho‘ktirgich qismlari ajratilgan) Penney tipidagi elektrofiltr sxemasi tanlab olindi. Ikki bosqichli konstruksiya sanoatdagi bir bosqichli elektrofiltrlarga qaraganda kamroq kuchlanish talab qiladi va ozon gazining ajralishini sezilarli darajada kamaytiradi, bu o‘simliklar fiziologiyasi uchun juda muhimdir [7].

Qurilmaning konstruktiv sxemasi va ishlash prinsipi

Ishlab chiqilgan elektrofiltr prototipi quyidagi qismlardan iborat:

- **Ionizator bloki:** Toj razryadi hosil qiluvchi diametri $d_w = 0.2$ mm bo‘lgan volfram simlar (ionizatsiya elektrodlari) va ular orasida joylashgan tekis metall plastinalar (yerlashtirilgan elektrodlar). Simlar orasidagi masofa s=20 mm qilib belgilangan.
- **Cho‘ktirgich bloki:** Parallel ravishda parallel masofada joylashtirilgan alyuminiy plastinalardan iborat. Plastinalar orasidagi masofa d=8 mm. Har bir juft plastinaning biri yuqori doimiy kuchlanish manbaiga ulanadi, ikkinchisi esa yerlashtiriladi.
- **Yuqori kuchlanish manbai:** Doimiy kuchlanish chiqishi $U = 8-15$ kV gacha sozlanishi mumkin bo‘lgan manba.

Havo oqimi ionizator qismidan o‘tganda, volfram simlar atrofida hosil bo‘lgan toj razryadi ta’sirida havodagi kislorod va azot molekulalari ionlashadi. Chang zarralari ushbu ionlar bilan

to‘qnashib, ijobiy zaryad oladi [8]. Keyinchalik, zaryadlangan zarralar cho‘ktirgich blokiga kiradi va bu yerdagi bir jinsli elektr maydoni ta’sirida o‘z ishorasiga qarama-qarshi bo‘lgan yerlashtirilgan plastinalarga qarab harakatlanadi va u yerda cho‘kadi.

Matematik modellashtirish va hisoblash usullari

Toj razryadining boshlanish kuchlanishi (U_c) Pik (Peek) formulasi yordamida aniqlanadi [9]:

$$E_c = E_0 \delta \left(1 + \frac{K}{\sqrt{r_w \delta}}\right)$$

Bu yerda:

- E_0=31 kV/cm — quruq havo uchun dielektrik mustahkamlik chegarasi;
- δ — havoning nisbiy zichligi ($\delta \approx 1$ xona haroratida);
- r_w — toj simining radiusi (0.1 mm);
- K=0.308 $cm^{0.5}$ — empirik koeffitsiyent.

Zaryadlangan zarraning elektr maydonidagi harakat tezligi (dreyf tezligi w) quyidagi tenglama orqali ifodalanadi [10]:

$$w = \frac{q \cdot E_p}{6\pi\mu r_p} \cdot C_c$$

Bu yerda:

- q — zarraning zaryadi;
- E_p — cho‘ktirish maydonining kuchlanganligi ($E_p = U_p/d$);
- μ — havoning dinamik qovushqoqligi (1.81×10^{-5} Pa · s);
- r_p — zarraning radiusi;
- C_c — Kanningem tuzatish koeffitsiyenti (kichik zarralar uchun).

Elektrofiltrning umumiy tozalash samaradorligi (η) Deutsch-Anderson tenglamasiga asosan hisoblanadi [11]:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{A}{Q} w\right)$$

Bu yerda:

- A — cho‘ktirish plastinalarining umumiy yuzasi (m^2);
- Q — elektrofiltr orqali o‘tayotgan havo sarfi (m^3/s).

Natijalar

Laboratoriya sharoitida o‘tkazilgan eksperimentlar davomida havo harorati 24° C va nisbiy namlik 70% bo‘lgan muhitda qurilmaning xarakteristikalari o‘rganildi. Tozalash samaradorligi lazerli zarrachalar hisoblagichi (Grimm Model 1.108) yordamida har xil fraksiyalar (PM2.5 va PM10) uchun o‘lchandi.

Volt-amper xarakteristikasi va namlikning ta'siri

Ionizator blokidagi kuchlanish U_i=8 kV dan 14 kV gacha oshirilganda, toj razryadi toki va havo namligining bog‘liqligi o‘rganildi.

Kuchlanish, Ui (kV)	**Tok kuchi, I (µA) (Nisbiy namlik 50%)**	**Tok kuchi, I (µA) (Nisbiy namlik 80%)**
8.0	0	0
9.0	12	15
10.0	28	34

Kuchlanish, Ui (kV)	Tok kuchi, I (μA) (Nisbiy namlik 50%)	Tok kuchi, I (μA) (Nisbiy namlik 80%)
11.0	45	56
12.0	68	82
13.0	95	114
14.0	128	Uchqunli razryad (Breakdown)

Tajribalardan ko‘rinadiki, havoning nisbiy namligi 80% bo‘lganda ionizatsiya jarayoni tezlashadi va oqayotgan tok miqdori ortadi. Biroq, 14 kV kuchlanishda namlik yuqori bo‘lganligi sababli elektrodlar orasida elektr teshilishi (uchqunli razryad) sodir bo‘ldi. Shuning uchun, issiqxona sharoitida ishlash uchun optimal ishchi kuchlanish U_i=11.5−12.5 kV oralig‘ida tanlab olindi [12].

Tozalash samaradorligining havo tezligiga bog‘liqligi

Havo oqimi tezligi (v) 0.5 m/s dan 2.0 m/s gacha o‘zgartirilganda, PM2.5 va PM10 zarralarini tutish samaradorligi baholandi. Cho‘ktirgich blokidagi kuchlanish doimiy U_p=6 kV darajasida saqlandi.

Havo tezligi, v (m/s)	PM2.5 samaradorligi (%)	PM10 samaradorligi (%)	Spora va changlar samaradorligi (%)
0.5	98.6	99.8	99.5
0.8	97.2	99.2	98.9
1.2	95.4	98.5	97.8
1.5	91.0	95.1	94.2
2.0	83.5	89.4	88.0

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, havo oqimi tezligi oshishi bilan zarraning filtr ichida qolish vaqti (t=L/v) qisqaradi va Deutsch-Anderson tenglamasiga muvofiq samaradorlik pasayadi. Issiqxona ventilyatsiya tizimi uchun optimal tezlik 1.2 m/s deb topildi, chunki bu tezlikda ham yuqori samaradorlik (PM2.5 uchun 95.4%) saqlanib qoladi, ham qurilma unumdorligi yetarli darajada bo‘ladi.

Tahlil va muhokama

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ishlab chiqilgan ikki bosqichli elektrofiltr issiqxonalardagi mayda dispersli changlar va mikrobiologik ifloslantiruvchilarni yo‘qotishda juda samarali. Mexanik filtrlardan farqli o‘laroq, elektrofiltrning bosim yo‘qotilishi atigi 22 Pa ni tashkil etdi, bu esa ventilyatorning elektr energiyasi sarfini 4 barobargacha tejash imkonini beradi [13].

Nisbiy namlikning ta’siri bo‘yicha tahlillar shuni ko‘rsatadiki, namlikning 80% gacha ko‘tarilishi gaz ionizatsiyasini yaxshilaydi va zarrachalarning zaryadlanish darajasini oshiradi.

Ammo namlik juda yuqori bo‘lgan sharoitda izolyatorlar yuzasida nam plyonka hosil bo‘lib, sirt bo‘ylab sizib o‘tish toklari (leakage currents) paydo bo‘lishi mumkin [14]. Buning oldini olish maqsadida, qurilma izolyatorlari gidrofob material (ftoroplast-4) bilan qoplandi va ularni changdan himoyalovchi maxsus ekranlar o‘rnatildi.

Ikki bosqichli elektrofiltr dizaynida ijobiy korona (positive corona) qo‘llanilishi ozon chiqishini keskin kamaytiradi. Eksperiment jarayonida qurilmadan 10 cm masofada ozon konsentratsiyasi o‘lchandi va u 0.015−0.02 ppm dan oshmadi. Bu ko‘rsatkich ruxsat etilgan xalqaro ekologik me’yorlardan (0.05 ppm) ancha past bo‘lib, o‘simlik to‘qimalariga va xodimlar sog‘lig‘iga hech qanday zarar yetkazmaydi [15].

Xulosa

Issiqxona havosi mikrosirkulyatsiyasi va tozaligini ta’minlash uchun ishlab chiqilgan ikki bosqichli elektrofiltr o‘zining yuqori samaradorligi va energiya tejamkorligi bilan an’anaviy filtrlardan ustunligini ko‘rsatdi. Ishchi parametrlar o‘rganilganda, optimal ionizatsiya kuchlanishi 12 kV , havo oqimi tezligi 1.2 m/s bo‘lganda eng yuqori natijalarga erishildi. Qurilma PM2.5 zarralarini va zamburug‘ sporalarini 95% dan yuqori samaradorlik bilan tutib qoladi. Bu issiqxonalarda o‘simlik kasalliklarini kamaytirishga, hosildorlikni oshirishga va ishchilar uchun sog‘lom mehnat sharoitini yaratishga xizmat qiladi. Kelajakdagi tadqiqotlar elektrofiltr elektrodlarini avtomatik tozalash (siltash yoki yuvish) tizimlarini yaratishga yo‘naltiriladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Alimbayev, A. A., & Karimov, B. T. (2021). Issiqxonalarda mikroiqlim parametrlarini boshqarish tizimlari. Toshkent: Fan nashriyoti, 45-48-betlar.
2. Smith, J. R., & Taylor, M. E. (2018). Air filtration in agricultural greenhouses: A review. Journal of Agricultural Engineering, 52(3), pp. 112-120.
3. Nabiyev, O. S. (2020). O‘simliklarning chang bilan ifloslanishining fotosintez jarayoniga ta’siri. O‘zbekiston biologiya jurnali, (4), 22-25-betlar.
4. Hinds, W. C. (2012). Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. New York: John Wiley & Sons, pp. 315-322.
5. White, H. J. (2016). Industrial Electrostatic Precipitation. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, pp. 84-91.
6. Boltayev, Sh. Sh. (2019). Sanoat changlarini tozalash texnologiyalari va elektr cho‘ktirgichlar. Buxoro: BuxDU nashriyoti, 74-79-betlar.
7. Penney, G. W. (1937). A new electrostatic precipitator for air cleaning. Electrical Engineering, 56(1), pp. 159-163.
8. Zhao, L., & Adamiak, K. (2014). EHD flow in a two-stage electrostatic precipitator. Journal of Electrostatics, 72(5), pp. 355-362.
9. Peek, F. W. (1929). Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering. New York: McGraw-Hill, pp. 120-125.
10. Parker, K. R. (2017). Applied Electrostatic Precipitation. London: Blackie Academic & Professional, pp. 201-210.
11. Deutsch, W. (1922). Bewegung und Ladung der Elektrizitätsträger im Zylinderkondensator. Annalen der Physik, 373(12), pp. 335-344.
12. Raxmatov, U. T., & Isoqov, J. A. (2023). Yuqori kuchlanishli elektrofiltrlarning ish rejimlarini tahlil qilish. Energetika muammolari jurnali, (2), 115-119-betlar.
13. Mizuno, A. (2000). Electrostatic precipitation. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 7(5), pp. 615-624