



# Qoraqalpog‘istonning changli-sho‘r muhitida past energiya talab qiluvchi kapillyar-bug‘lanishli havo tozalash qurilmasining samaradorligini tadqiq etish

Kamal M. Reymov<sup>1</sup>, Asliddin G. Komilov<sup>2</sup>, Azizbek E. Kalmuratov<sup>1,a)</sup>

<sup>1</sup> DSc, prof., Qoraqalpog‘ davlat universiteti, Nukus, 230100, O‘zbekiston; [kamalreymov@gmail.com](mailto:kamalreymov@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2520-6422>

<sup>2</sup> DSc, prof., Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent, 100095, O‘zbekiston  
[asliddin@rambler.ru](mailto:asliddin@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5406-0477>

<sup>1,a)</sup> Qoraqalpog‘ davlat universiteti, Nukus, 230100, O‘zbekiston; [azizbekqalmuratov4@gmail.com](mailto:azizbekqalmuratov4@gmail.com)

**Dolzarbli:** hozirgi kunda Qoraqalpog‘iston Respublikasi va Orolbo‘yi hududida havo ifloslanishi, tuzli aerozollar tarqalishi hamda yoz faslidagi yuqori haroratlar aholi salomatligiga jiddiy ta‘sir ko‘rsatmoqda. Mintaqaning iqlim sharoitida shamol bilan ko‘chib keluvchi mayda tuz zarrachalari (PM10, PM2.5, PM1.0) ko‘plab respirator kasalliklarni kuchaytirmoqda, ichki binolardagi havo sifati esa talab darajasida emas. Shu bilan birga, mavjud konditsioner va havo tozalagich qurilmalarining aksariyati yuqori elektr sarfiga ega bo‘lib, ularning filtrlari sho‘r havo sharoitida tez ifloslanadi va xizmat ko‘rsatish xarajati oshadi. Quyosh energiyasiga boy, ammo issiq va quruq bo‘lgan mazkur hududda energiya tejoychi, avtonom va sho‘r havoda barqaror ishlay oladigan qurilmalarga ehtiyoj ortib bormoqda. Shu nuqtayi nazardan, kapillyar bug‘lanish asosida ishlaydigan, ikki tomonlama havo oqimidan foydalanuvchi va HEPA filtratsiya bilan jihozlangan yangi turdagi qurilmani ishlab chiqish amaliy va ilmiy jihatdan juda dolzarb hisoblanadi. Ushbu texnologiyaning afzalligi shundaki, u energiya manbasini deyarli talab etmaydi, quyosh paneli va past quvvatli ventilyator yordamida avtonom ravishda ishlaydi, havoni bir vaqtning o‘zida namlaydi, sovitadi va tozalaydi, sho‘r zarrachalarga nisbatan barqaror hisoblanadi. Buning natijasida aholi turar-joylari, maktablar, shifoxonalar, ofislar va ijtimoiy binolarda havo sifatini yaxshilash imkoni paydo bo‘ladi. Shu bilan birga, bunday qurilmaning mahalliy xom-ashyolarga tayanib ishlab chiqilishi va xizmat ko‘rsatish arzonligi uni iqtisodiy jihatdan raqobatbardosh qiladi. Qurilmaning energiya tejoychi xususiyatlari va past ekspluatatsion xarajatlari uni keng ko‘lamda joriy etish hamda tijoratlashtirish imkoniyatini oshiradi.

**Maqsad:** Qoraqalpog‘iston sharoitiga mos, kapillyar bug‘lanishga asoslangan, ikki yo‘nalishli havo oqimidan foydalanuvchi energiya-tejamkor havo tozalash va passiv sovitish qurilmasini yaratish, uning aerodinamik va termodinamik xususiyatlarini ilmiy jihatdan asoslash hamda muqobil energiya manbalarida barqaror ishlash samaradorligini eksperimental baholashdan iborat.

**Usullar:** tadqiqotda aerodinamik hisob-kitoblar, Bernulli qonuniga asoslangan havo tezligi-bosim taqsimoti tahlili, kapillyar materialning bug‘lanish samaradorligini laboratoriya sharoitida o‘lchash, HEPA-filtratsiya orqali chang va tuz zarrachalarining kamayishi bo‘yicha eksperimental baholash usullari qo‘llanildi.

**Natijalar:** tadqiqot natijalariga ko‘ra, kapillyar bug‘lanish orqali passiv sovitish 5-10°C harorat pasayishini ta‘minlashi, HEPA-filtr orqali havodagi zarrachalar (PM10, PM2.5, PM1.0) sezilarli darajada kamayishi va qurilmaning umumiy energiya sarfi an‘anaviy ventilyatsiya-sovitish uskunalariga nisbatan ancha past ekani aniqlandi. Quyosh paneli bilan birlashtirilganda qurilma to‘liq avtonom ishlash imkoniga ega bo‘ldi.

**Kalit so‘zlar:** quyosh energiyasi, kapillyar bug‘lanish, passiv sovitish, HEPA-filtr, aerodinamika, Bernulli qonuni, energiya samaradorligi, havo tozalash, avtonom tizim.

**For citation:** K.M.Reymov., A.G.Komilov., A.E. Kalmuratov. Investigation of the Performance of a Low-Energy Capillary-Evaporative Air Purification Device in the Dust- and Salt-Laden Environment of Karakalpakstan. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 4, pp. 26-32.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18410719>

Received: 04.04.2025  
Revised: 18.04.2025  
Accepted: 10.07.2025  
Published: 27.12.2025

**Copyright:** © Kamal M. Reymov, Asliddin G. Komilov, Azizbek E. Kalmuratov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Исследование эффективности капиллярно-испарительного воздухоочистного устройства с низким энергопотреблением в пыльно-солёной среде Каракалпакстана

Камал М. Реймов<sup>1</sup>, Аслиддин Г. Комилов<sup>2</sup>, Азизбек Е. Калмуратов<sup>1,a)</sup>

<sup>1</sup> DSc, проф., Каракалпакский государственный университет, Нукус, 230100, Узбекистан; [kamalreymov@gmail.com](mailto:kamalreymov@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2520-6422>

<sup>2</sup> DSc, проф., Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии, Ташкент, 100095, Узбекистан [asliddin@rambler.ru](mailto:asliddin@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5406-0477>

<sup>1,a)</sup> Каракалпакский государственный университет, Нукус, 230100, Узбекистан; [azizbekqalmuratov4@gmail.com](mailto:azizbekqalmuratov4@gmail.com)

**Актуальность:** В настоящее время в Республике Каракалпакстан и Приаралье загрязнение воздуха, распространение солевых аэрозолей, а также высокие летние температуры оказывают серьёзное воздействие на здоровье населения. Мелкодисперсные солевые частицы (PM10, PM2.5, PM1.0), переносимые ветром в климатических условиях региона, усиливают развитие респираторных заболеваний, а качество воздуха внутри помещений остаётся ниже нормативных требований. Кроме того, большинство существующих кондиционеров и воздухоочистителей характеризуются высоким энергопотреблением; их фильтры быст-



ро засоряются в условиях солёного воздуха, что приводит к росту эксплуатационных расходов. В регионе, богатом солнечной энергией, но отличающемся жарким и сухим климатом, возрастает потребность в энергоэффективных, автономных устройствах, способных стабильно работать в солевой среде. С этой точки зрения разработка нового типа устройства, функционирующего на основе капиллярного испарения, использующего двухсторонний воздушный поток и оснащённого HEPA-фильтрацией, является актуальной как в практическом, так и в научном отношении. Преимущество данной технологии заключается в том, что она практически не требует внешнего энергоснабжения, работает автономно за счёт солнечной панели и маломощного вентилятора, одновременно увлажняет, охлаждает и очищает воздух, а также устойчива к воздействию солевых частиц. В результате появляется возможность улучшить качество воздуха в жилых домах, школах, медицинских учреждениях, офисах и социальных зданиях. Наряду с этим производство такого устройства на основе местного сырья и низкая стоимость обслуживания делают его экономически конкурентоспособным. Энергоэффективность и низкие эксплуатационные расходы повышают потенциал широкого внедрения и коммерциализации устройства.

**Цель:** Создание энергоэффективного воздухоочистного и пассивного охлаждающего устройства, адаптированного к условиям Каракалпакстана, основанного на капиллярном испарении и использующего двухнаправленный воздушный поток; научное обоснование его аэродинамических и термодинамических характеристик, а также экспериментальная оценка эффективности стабильной работы устройства при применении альтернативных источников энергии.

**Методы:** В исследовании были применены методы аэродинамических расчётов, анализ распределения скорости и давления воздуха на основе закона Бернулли, лабораторные измерения эффективности испарения капиллярного материала, а также экспериментальная оценка степени снижения концентрации пылевых и солевых частиц посредством HEPA-фильтрации.

**Результаты:** По результатам исследования установлено, что пассивное охлаждение за счёт капиллярного испарения обеспечивает снижение температуры на 5–10 °С, HEPA-фильтрация существенно уменьшает концентрацию аэрозольных частиц в воздухе (PM10, PM2.5, PM1.0), а общее энергопотребление устройства значительно ниже по сравнению с традиционными системами вентиляции и охлаждения. При интеграции с солнечной панелью устройство получает возможность полностью автономной работы.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, капиллярное испарение, пассивное охлаждение, HEPA-фильтр, аэродинамика, закон Бернулли, энергоэффективность, очистка воздуха, автономная система.

## Investigation of the Performance of a Low-Energy Capillary-Evaporative Air Purification Device in the Dust- and Salt-Laden Environment of Karakalpakstan

Kamal M. Reymov<sup>1</sup>, Asliddin G. Komilov<sup>2</sup>, Azizbek E. Kalmuratov<sup>1,a)</sup>

<sup>1</sup> DSc, Prof., Karakalpak State University, Nukus, 230100, Uzbekistan; [kamal-reymov@gmail.com](mailto:kamal-reymov@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2520-6422>

<sup>2</sup> DSc, Prof., National Renewable Energy Research Institute, Tashkent, 100095, Uzbekistan [asliddin@rambler.ru](mailto:asliddin@rambler.ru),  
<https://orcid.org/0000-0002-5406-0477>

<sup>1,a)</sup> Karakalpak State University, Nukus, 230100, Uzbekistan; [azizbekqalmuratov4@gmail.com](mailto:azizbekqalmuratov4@gmail.com)

**Relevance:** Currently, in the Republic of Karakalpakstan and the Aral Sea region, air pollution, the spread of saline aerosols, and high summer temperatures have a significant impact on public health. Fine salt particles (PM10, PM2.5, PM1.0), transported by wind under the region's climatic conditions, exacerbate respiratory diseases, while indoor air quality remains below regulatory standards. In addition, most existing air conditioners and air purifiers are characterized by high energy consumption; their filters quickly become clogged in saline air, leading to increased operational costs. In a region rich in solar energy yet characterized by hot and arid weather, the demand for energy-efficient, autonomous devices capable of stable operation in a saline environment is growing. From this perspective, the development of a new type of device based on capillary evaporation, utilizing a bidirectional airflow and equipped with HEPA filtration, is highly relevant both scientifically and practically. The advantage of this technology lies in its minimal demand for external power, its autonomous operation using a solar panel and a low-power fan, and its ability to simultaneously humidify, cool, and purify the air while remaining resistant to salt particles. As a result, the device can improve indoor air quality in residential buildings, schools, hospitals, offices, and public facilities. Furthermore, manufacturing such a device using local raw materials and ensuring low maintenance costs make it economically competitive. Its energy efficiency and low operating expenses increase the potential for large-scale implementation and commercialization.

**Aim:** Development of an energy-efficient air purification and passive cooling device adapted to the climatic conditions of Karakalpakstan, based on capillary evaporation and utilizing bidirectional airflow; scientific justification of its aerodynamic and thermodynamic characteristics, as well as experimental evaluation of the device's operational stability and performance when powered by alternative energy sources.

**Methods:** The study employed aerodynamic calculation methods, analysis of air velocity and pressure distribution based on Bernoulli's principle, laboratory measurements of the evaporation efficiency of the capillary material, as well as an experimental assessment of the reduction in dust and salt particle concentrations achieved through HEPA filtration.



**Results:** The study results indicate that passive cooling via capillary evaporation provides a temperature reduction of 5–10 °C, HEPA filtration significantly decreases the concentration of airborne particles (PM10, PM2.5, PM1.0), and the device's overall energy consumption is substantially lower compared to conventional ventilation and cooling systems. When integrated with a solar panel, the device is capable of fully autonomous operation.

**Keywords:** solar energy, capillary evaporation, passive cooling, HEPA filter, aerodynamics, Bernoulli's principle, energy efficiency, air purification, autonomous system

## 1. Kirish (Introduction)

Qoraqalpog'istonning ekologik jihatdan murakkab sharoiti, havodagi yuqori tuz konsentratsiyasi va chang zarrachalarining ko'pligi aholi salomatligi va turmush sharoitiga jiddiy ta'sir ko'rsatib kelmoqda. Ayniqsa, yoz faslida qurg'oq, issiq va sho'r havo sharoitida an'anaviy sovitish va havo tozalash qurilmalari samaradorligi keskin pasayadi. Mavjud elektr energiyasi iste'moli yuqori bo'lgan havo tozalagichlar va konditsionerlar na iqtisodiy, na ekologik jihatdan maqbul yechim hisoblanadi. Shu munosabat bilan energiya tejankor, past xarajatli va mahalliy iqlim sharoitiga mos innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqish dolzarb vazifa sifatida namoyon bo'lmoqda.

Kapillyar bug'lanish, past bosimli aerodinamik zona va ikki yoqlama filtratsiya tamoyilini birlashtirgan gibrid havo tozalash qurilmalari Qoraqalpog'iston sharoiti uchun istiqbolli texnik yechim sifatida qaralmoqda. Bu kabi qurilmalar minimal energiya sarfi bilan havoni namlash, passiv sovitish va aerozollardan tozalash imkonini yaratadi. Ayniqsa, quyosh energiyasidan avtonom foydalanish imkoniyati texnologiyani bioiqlimiy sharoitga yanada moslashtiradi. Zamonaviy filtrlash va bug'lanib sovitish usullarining uyg'unlashuvi orqali sho'r va changli havo oqimini samarali tarzda qayta ishlash, ekologik xavfli hududlarda inson salomatligi uchun qulay mikroklimat shakllantirish imkoni paydo bo'ladi.

Keltirilgan omillar energiya tejankor, modulli va xizmat ko'rsatishi arzon bo'lgan avtonom havo tozalash qurilmalarini yaratish zaruratini belgilab bermoqda. Shu bois mazkur tadqiqotda Qoraqalpog'iston iqlim sharoitiga mos, kapillyar bug'lanish va past bosimli aerodinamikaga asoslangan innovatsion havo tozalash qurilmasining texnik yechimlari, ishlash tamoyili va samaradorligi ilmiy jihatdan asoslab beriladi.

## 2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

Ushbu tadqiqotda quyosh energiyasida avtonom ishlaydigan, kapillyar bug'lanish va past bosimli aerodinamik jarayonlarga asoslangan havo tozalash va sovitish qurilmasining energetik, termodinamik va aerodinamik parametrlari o'rganildi. Tadqiqot usullari qurilmaning ishlash mexanizmini matematik tavsiflash, unda sodir bo'ladigan issiqlik almashinuvi, bug'lanish jarayoni, havo oqimining dinamikasi va filtratsiya samaradorligini baholashga qaratilgan [1].

Bu ishlash tamoyili Bernulli qonuniga va bosimlar farqiga asoslangan (1-rasm).

2.1. Kapillyar bug'lanish jarayonining matematik modeli

Kapillyar strukturadagi suvning bug'lanishi havoning haroratini pasaytiruvchi asosiy jarayon bo'lib, bu protsess energiya sarfi talab qilmaydi. Bug'lanish orqali havo sovishi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$Q_{ev} = m_w \cdot r$$

bunda:

$Q_{ev}$  - bug'lanish hisobiga olinadigan issiqlik (Vt),

$m_w$  - vaqt birligida bug'langan suv massasi (kg/s),

$r$  - suvning bug'lanish yashirin issiqligi ( $\approx 2.26 \cdot 10^6$  J/kg).

Sovutilgan havo harorati:

$$T_{out} = T_{in} - \frac{Q_{ev}}{\dot{m}_{air} c_p}$$

bunda:

$\dot{m}_{air}$  - havo massaviy sarfi (kg/s),

$c_p$  - havo issiqlik sig'imi ( $\approx 1005$  Ж/(кг·K)).

2.2. Past bosim hosil qilish va Bernulli qonuniga asoslangan havo so'rilish modeli

Ventilyator kapillyar orqali sovitilgan havoni tezlashtirgan paytda orqa tomonda past bosim zonasi paydo bo'ladi. Bu jarayon ikki yon tomonga joylashtirilgan filtrlardan havoni tabiiy ravishda so'rib olishga imkon beradi (2-rasm). Bernulli tenglamasi quyidagicha qo'llanildi:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const}$$

Shunga ko'ra, ventilyatordan keyin havo tezligi ortsa:

$$v_2 > v_1 \Rightarrow P_2 < P_1$$

hosil bo'lgan bosim farqi esa:

$$\Delta P = P_{room} - P_{fan}$$

filtr orqali havo oqimining hosil bo'lishiga sabab bo'ladi:

$$Q = \frac{\Delta P}{R_f}$$

bunda  $R_f$  - filtrning gidrodinamik qarshiligi.

### 2.3. Filtratsiya jarayoni va HEPA-H13 mosligi

Qurilmada qo'llaniladigan filtrlar PM10, PM2.5 va PM1.0 zarrachalarini ushlab qolish samaradorligini baholash uchun **Boyman–Stoks modelidan** [2] foydalanildi:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{A}{Q}}$$

bunda:

- $\eta$  - filtr samaradorligi,
- $A$  - filtr to'rtinchi yuzasi,
- $Q$  - havo sarfi.

HEPA-H13 standarti uchun  $\eta \geq 0,9995$  talab qilinadi.

### 2.4. Quyosh panellari va akkumulyator tizimining energetik modeli

Qurilma 24 soatlik avtonom ishlashini ta'minlash uchun 12 V li ventilyatorning quyidagi quvvati hisobga olindi:

$$P_{load} = U \cdot I$$

O'rtacha ventilyator iste'moli:

$$P_{fan} \approx 8 - 12 \text{ W}$$

Quyosh paneli quvvati:

$$P_{pv} = \frac{P_{load} \cdot t}{\eta_{pv} \cdot H}$$

bunda:

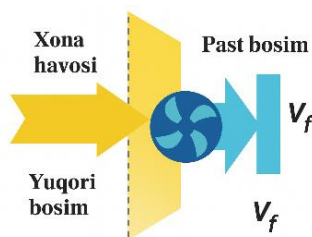
- $t$  - ishlash vaqti (sutkada 10-12 soat),
  - $\eta_{pv}$  - panel samaradorligi (15-18%),
  - $H$  - sutkalik insolyatsiya (Qoraqalpog'istonda  $\approx 5,5-6,2 \text{ kVt} \cdot \text{soat}/\text{m}^2$ ).
- Akkumulyator sig'imi:

$$C_{bat} = \frac{P_{load} \cdot t_{night}}{U \cdot DOD}$$

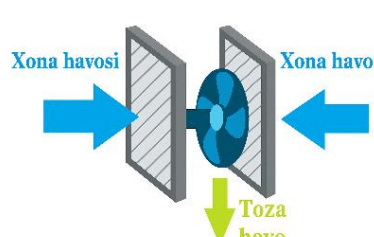
bunda:

- $t_{night}$  - kechasi ishlash vaqti,
- $DOD$  - razryad chuqurligi (0,8 qabul qilindi).

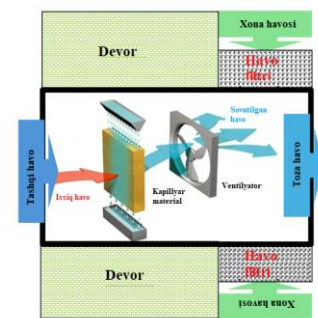
Taklif qilinayotgan xavo tozalash va passiv sovitish qurilmasi kapillyar bug'lanish moduli, ventilyator, hamda ikki tomonlama havo filtratsiya bloki (HEPA) dan iborat [3-5]. Qurilma devor teshigiga o'rnatiladi va ikkita havo yo'lini ta'minlaydi (3-rasm).



1-rasm. Bernulli modeli.  
Fig.1. Bernoulli model.



2-rasm. Aerodinamik zonalar.  
Fig.2. Aerodynamic zones.



3-rasm. Qurilmaning ishlash prinsipi.  
Fig.3. Operating principle of the device.

### 3. Natijalar (Results)

Ushbu tadqiqot doirasida taklif etilgan gibridd havo tozalash qurilmasining aerodinamik, termodinamik va filtratsiya jarayonlari kompleks ravishda tahlil qilindi. Qurilmaning samaradorligini



baholash uchun “Triangle (Uchburchak) modeli” hamda ishlash algoritmi asosida tajribaviy va nazariy hisob-kitoblar amalga oshirildi.

### 3.1. “Triangle modeli” asosida integral havo sifatini shakllantirish

Taklif etilgan qurilma mutadil harorat, optimal namlik va yuqori darajada tozalangan havoni bir vaqtning o‘zida hosil qilish imkonini beruvchi uchta asosiy parametrlarning birlashgan zonasida ishlaydi [6]. Rasmda keltirilgan “Triangle modeli” qurilmaning asosiy fizik-ekologik afzalliklarini quyidagicha izohlaydi:

#### 1) Mutadil harorat

Kapillyar material orqali amalga oshadigan bug‘lanib sovitish jarayoni natijasida havo harorati o‘rtacha 5-12°C ga pasayadi. Bu inson uchun qulay bo‘lgan “comfort range” diapazoniga yaqinlashishni ta‘minlaydi.

#### 2) optimal namlik (40-60%)

Suvning tabiiy bug‘lanishi natijasida xona ichidagi havo namligi fiziologik jihatdan eng qulay bo‘lgan 40-60% diapazonga keltiriladi. Ushbu diapazon nafas yo‘llari kasalliklarining oldini olishda muhim hisoblanadi.

#### 3) Ikki tomonlama filtratsiya natijasida toza havo

Ventilyator tomonidagi past bosim zonasi (Bernulli qonuniga asosan) xona ichidagi havoni ikki tomonlama (HEPA + kapillyar moduli) filtr orqali tortilgan holda tashqi havo oqimiga qo‘shadi. Bu jarayon:

- PM10, PM2.5, PM1.0 konsentratsiyasini kamaytiradi;
- tuz va chang zarrachalarini kamaytiradi;
- allergogen va biologik aerozollarni bloklaydi.

Natijada “Comfortable Zone” (triangle markazida) qulay ekologik muhit shakllanadi [6].

Dastlabki laboratoriya sharoitida o‘tkazilgan sinovlar taklif etilayotgan qurilmaning bir qator ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini amaliy jihatdan baholash imkonini berdi. Test jarayonida qurilmaning energiya sarfi, sho‘r havoda ishlash qobiliyati, filtr umri, xizmat ko‘rsatish xarajati, namlash va sovitish samaradorligi hamda quyosh energiyasida avtonom ishlash imkoniyati HEPA tipidagi havo tozalagichlar va nasosli evaporative cooler qurilmalari bilan qiyosiy tahlil qilindi.

Olingan natijalar qurilmaning o‘zining konstruktiv xususiyatlari - ya‘ni nasosiz bug‘lanish mexanizmi, kapillyar material, past sarfli ventilyator va ikki tomonlama filtratsiya moduli - uni mavjud analoglarga nisbatan yakqol ustunliklarni namoyon etganini ko‘rsatdi.

Tajriba natijalarining umumlashtirilgan qiyosiy ko‘rsatkichlari quyidagi jadvalda keltirilgan (1-jadval).

Mezon	HEPA Air Purifier	Nasosli (Sabiel) Evaporative Cooler	Taklif etilayotgan qurilma
Energiya sarfi	O‘rta (40–100W)	Baland (nasos + ventilyator)	Juda past (faqat ventilyator 8–12W)
Sho‘r havoda ishlash	Samarasiz (to‘silib qoladi)	Cooling Pad tuzdan tez tiqiladi	Mos (kapillyar material tuzdan tiqilmaydi)
Filtr umri	Qisqa (HEPA tez ifloslanadi)	Cooling Pad tez ifloslanadi	Uzoq (HEPA + kapillyar kombinatsiyasi)
Xizmat xarajati	O‘rta (filtrlar qimmat)	Baland (nasos + pad almashtirish)	Juda past (nasos yo‘q, filtr uzoq umrli)
Namlash imkoniyati	Yo‘q	Bor (bug‘lanish)	Bor (bug‘lanish + kapillyar)
Sovitish samaradorligi	Yo‘q	O‘rta-yuqori	Mutadil, barqaror (bug‘lanish + mikromiksing)
Qayta tiklanuvchi energiya manbali	Yo‘q	Amalda qiyin	To‘liq (PV + past sarfli ventilyator)

**1-jadval.** Havo tozalash qurilmalarining qiyosiy texnik ko‘rsatkichlari.

**Table 1.** Comparative technical specifications of air purification devices.

## 4. Munozara (Discussion)

Taklif etilgan kapillyar - bug‘lanishga asoslangan havo tozalash qurilmasiga oid tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, qurilma an‘anaviy havo tozalagichlar va bug‘lantirib sovitgichlarga nisbatan bir vaqtning o‘zida bir nechta muhim funksional ustunliklarni ta‘minlaydi.

Bunda asosiy o‘rinni “Mutadil-Namlik-Toza havo” tamoyili asosida ishlovchi uchburchak modeli (Triangle Model) egallaydi. Modelda havoni sovitish (bug‘lanish hisobiga), optimal namlikni saqlash



va ikki tomonlama filtratsiya orqali havoni chuqur tozalash jarayonlari o‘zaro bog‘langan holda amalga oshirilishi natijasida inson uchun eng qulay “Comfortable Zone” hosil bo‘ladi (4-rasm).

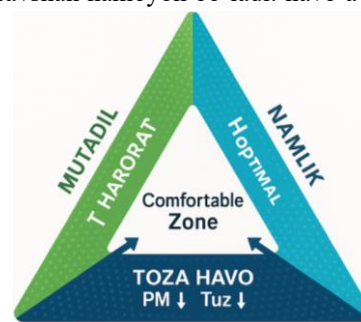
Algoritm asosida qurilmaning ish prinsipi qadamma-qadam ravshan namoyon bo‘ladi: havo avval kapillyar material orqali o‘tib, bug‘lanish hisobiga soviydi; keyin ventilyator hosil qilgan past bosimli zonaga yo‘naladi; so‘ngra ikki yonlama filtrlar orqali xona ichidagi havoni o‘z tomoniga tortib, PM10-PM2.5-PM1.0 zarrachalaridan tozalaydi. Aerodinamik zonalarda (2-rasm) ventilyator ortidagi past bosim effektining filtratsiya jarayonini kuchaytirishi ilmiy jihatdan Bernulli modeli bilan asoslanganini ko‘rsatadi. Bu esa qurilmaning passiv rejimda ham yuqori samara bilan ishlashini ta‘kidlaydi[7-9].

Qiyosiy jadval tahlili qurilmaning amaldagi analoglardan ustunligini yanada oydinlashtiradi: energiya sarfi ancha past, tuzli havoda ishlash imkoniyati yuqori, filtr umri an‘anaviy HEPA qurilmalarga nisbatan uzoq, xizmat xarajati esa sezilarli darajada kam. Shu bilan birga qurilmaning akkumulyator-quyosh paneli bilan avtonom ishlashi uni Orolbo‘yi kabi izolyatsiyalangan, yuqori changli va quruq iqlimli hududlarda juda muhim texnologik yechimga aylantiradi.

Muhokamadan kelib chiqadigan asosiy xulosa shundan iboratki, taklif etilgan qurilma nafaqat havoni tozalash, balki xona mikroklimatini barqarorlashtirish, energiya tejash va ekologik xavflarni kamaytirish nuqtayi nazaridan ham kompleks afzalliklarga ega. Umuman olganda, olingan natijalar bu texnologiyani Orolbo‘yi va shunga o‘xshash iqlim sharoitiga ega mintaqalarda amaliy joriy etish uchun yetarli ilmiy-amaliy asos yaratishini ko‘rsatadi. Qurilma arzon, energiyaga kam talabchan, modulli va texnik xizmat ko‘rsatish soddaligi tufayli katta iqtisodiy va ijtimoiy samara berishi mumkin.

## 5. Xulosa (Conclusion)

Taklif etilayotgan kapillyar-bug‘lanishga asoslangan havo tozalash va sovitish qurilmasi an‘anaviy HEPA Air Purifier va nasosli evaporative cooler turlariga nisbatan kam energiya sarfi, sho‘r va chang muhitda ishlash qobiliyati, xizmat xarajatlarining pastligi va modulli tuzilishi bilan ajralib turadi. Dastlabki tahlillar qurilmaning “Mutadil harorat - Optimal namlik - Toza havo” uchburchak modeli asosida barqaror mikroklimat yarata olishini ko‘rsatdi. Qayta tiklanuvchi energiya manba esa uni chul va energiya tanqis hududlarda qo‘llash imkoniyatini kengaytiradi. Shuningdek, filtr-kapillyar kombi-natsiyasi PM, tuz va chang zarrachalarini samarali kamaytiradi. Umuman, taklif etilgan texnologiya energiya tejavchi, arzon va ekologik barqaror yechim sifatida yuqori amaliy qiymatga ega.



4-rasm. Xona havosini tozalashning “Triangle Modeli”.

Fig.4. “Triangle Model” of room air purification.

## ADABIYOTLAR

1. M. M. Misrak Girma Haile, Roberto Garay-Martinez, M. Macarulla, “Review of Evaporative Cooling Systems for Buildings in Hot and Dry Climates,” *Build.* 2024, vol. 14, no. February, pp. 4–6, 2024, [doi:10.3390/buildings14113504](https://doi.org/10.3390/buildings14113504).
2. Borodinecs A. Lebedeva K. Prozumens A. Brahmanis A. Grekis A. Zajecs D. Zekunde and A. Vatin N., “Feasibility of Reducing Electricity Consumption of Air Conditioning Equipment by Condenser Direct Evaporative Cooling Technology. Example of Case Study in Dubai,,” *Atmosphere (Basel)*, vol. 2, no. 4, pp. 1147–1152, 2021, [doi:10.3390/atmos12091205](https://doi.org/10.3390/atmos12091205).
3. Parton W. J., Logan, J. A., “A model for diurnal variation in soil and air temperature,” *Agric. Meteorol.*, vol. 23, no. 3, pp. 205–216, 1981, [doi:10.1016/0002-1571\(81\)90105-9](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90105-9).
4. Richardson C. W., “Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation,” *Water Resour.*, vol. 17, no. 1, pp. 182–190, 1981.
5. Meteotest AG. *Meteonorm*, “Global meteorological database for engineers, planners and education,” Version 8. Bern, Switz. Meteotest, 2020.
6. Wilks D.S., “Interannual variability and extreme-value characteristics of several stochastic daily precipitation models,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 93, no. 3, pp. 153–169, 1999.
7. ASHRAE. (2017), “ASHRAE Handbook—Fundamentals. Atlanta, GA: American Society of Heating,” *Refrigeration and Air-Conditioning Engineering*.
8. Chungloo S., & Limmeechokchai B., “Application of passive cooling systems in Thailand: Potentials and methods for future development,,” *Renew. Energy*, vol. 32, no. 4, pp. 623–643, 2007, [doi:10.1016/j.renene.2006.03.016](https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.016).



9. Heidarinejad M. Pasdarsahri H. Delfani S. & Esmaeelian J., “Experimental investigation of two-stage indirect/direct evaporative cooling system in various climatic conditions. Building,” *Build. Environ.*, vol. 44, no. 10, pp. 2073–2079, 2009, [doi:10.1016/j.buildenv.2009.02.012](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.012).

## REFERENCES

1. M. M. Misrak Girma Haile, Roberto Garay-Martinez, M. Macarulla, “Review of Evaporative Cooling Systems for Buildings in Hot and Dry Climates,” *Build.* 2024, vol. 14, no. February, pp. 4–6, 2024, e.
2. Borodinecs A. Lebedeva K. Prozuments A. Brahmanis A. Grekis A. Zajecs D. Zekunde and A. Vatin N., “Feasibility of Reducing Electricity Consumption of Air Conditioning Equipment by Condenser Direct Evaporative Cooling Technology. Example of Case Study in Dubai.,” *Atmosphere (Basel)*, vol. 2, no. 4, pp. 1147–1152, 2021, [doi:10.3390/atmos12091205](https://doi.org/10.3390/atmos12091205).
3. Parton W. J., Logan, J. A., “A model for diurnal variation in soil and air temperature,” *Agric. Meteorol.*, vol. 23, no. 3, pp. 205–216, 1981, doi: [org/10.1016/0002-1571\(81\)90105-9](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90105-9).
4. Richardson C. W., “Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation,” *Water Resour.*, vol. 17, no. 1, pp. 182–190, 1981.
5. Meteotest AG. *Meteonorm*: “Global meteorological database for engineers, planners and education.,” Version 8. Bern, Switz. Meteotest, 2020.
6. Wilks D.S., “Interannual variability and extreme-value characteristics of several stochastic daily precipitation models,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 93, no. 3, pp. 153–169, 1999.
7. ASHRAE. (2017)., “ASHRAE Handbook—Fundamentals. Atlanta, GA: American Society of Heating,” *Refrig. Air-Conditioning Eng.*.
8. Chungloo S., & Limmeechokchai B., “Application of passive cooling systems in Thailand: Potentials and methods for future development.,” *Renew. Energy.*, vol. 32, no. 4, pp. 623–643, 2007, [doi:10.1016/j.renene.2006.03.016](https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.016).
9. Heidarinejad M. Pasdarsahri H. Delfani S. & Esmaeelian J., “Experimental investigation of two-stage indirect/direct evaporative cooling system in various climatic conditions. Building,” *Build. Environ.*, vol. 44, no. 10, pp. 2073–2079, 2009, doi:10.1016/j.buildenv.2009.02.012. [doi:10.1016/j.buildenv.2009.02.012](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.012)