DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

TO‘G‘RIDAN-TO‘G‘RI BUG‘LANTIRIB SOVITISH QURILMASINING ISH SAMARADORLIGINI TERMODINAMIK VA EKSERGETIK TAHLIL QILISH

Yarashov Siroj, *katta o‘qituvchi,*
E-mail: sirojyarashov@gmail.com,
Bekmurodov Jahongir, *doktorant,*
E-mail: jakhongirbekmurodov13@gmail.com,
Xushnazarova Marjona, *magistrant,*
E-mail: marjonaxushnazarova@gmail.com,
Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya. *Qashqadaryo viloyatining Kasbi tumani cho‘l iqlimi bilan tavsiflanadi va bu yerda tashqi havo harorati sutka davomida hamda mavsumlar kesimida katta tebranishlarga ega. Mexanik bug‘ siqish sikliga asoslangan havo sovitish tizimlari yuqori miqdorda energiya sarfini talab qiladi, bu esa ekologik jihatdan salbiy oqibatlarga olib keladi. Shu bois bug‘lantirib sovitish kabi an’anaviy bo‘lmagan sovitish usullarini qo‘llash istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi va ayniqsa shunday murakkab iqlim sharoitlarida chuqurroq tadqiqotlarni talab etadi. Maqsad: Kasbi tumani iqlim sharoitlari uchun, to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitish qurilmasining ish samaradorligini termodinamik va eksergetik tahlil qilish. Usullar: ushbu tadqiqotning usuli metodologiya bo‘lib, mazkur tadqiqot to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichlarning ishlash samaradorligini nazariy modellashtirish va tahliliy baholash asosida o‘rganishga qaratilgan. Natijalar: issiq va quruq ob-havo sharoitida to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitish tizimining ishlash ko‘rsatkichlari tahlil qilindi. Natijada qurilmaning optimal ish rejimlari aniqlangan. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, sovitgichning samaradorlik darajasining eksergiya samaradorligiga ta’siri katta emas.*

Аннотация. *Касбийский район Кашкадарьинской области характеризуется пустынным климатом, для которого свойственны значительные суточные и сезонные колебания температуры наружного воздуха. Системы охлаждения воздуха на основе механического парокомпрессионного цикла требуют значительных энергетических затрат, что приводит к отрицательным экологическим последствиям. В связи с этим применение нетрадиционных методов охлаждения, таких как испарительное охлаждение, является перспективным направлением и особенно требует углублённых исследований в подобных сложных климатических условиях. Цель: термодинамический и эксергетический анализ эффективности работы установки прямого испарительного охлаждения для климатических условий Касбинского района. Методы: методология исследования основана на теоретическом моделировании и аналитической оценке показателей эффективности работы установок прямого испарительного охлаждения. Результаты: проанализированы эксплуатационные показатели системы прямого испарительного охлаждения в условиях жаркого и сухого климата. Определены оптимальные режимы работы установки. Установлено, что влияние коэффициента эффективности охладителя на эксергетическую эффективность является незначительным.*

Abstracts. *Kasbi district of Kashkadarya region is characterized by a desert climate with significant daily and seasonal variations in ambient air temperature. Air cooling systems based on mechanical vapor compression require high energy consumption, which leads to adverse environmental impacts. Therefore, the application of non-conventional cooling methods such as evaporative cooling is considered a promising approach and requires in-depth investigation, especially under such severe climatic conditions. Aim: thermodynamic and exergetic analysis of the performance of a direct evaporative cooling system under the climatic conditions of Kasbi district. Methods: the research methodology is based on theoretical modeling and analytical*

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

evaluation of the performance characteristics of direct evaporative cooling systems. Results: the operating performance of a direct evaporative cooling system under hot and dry climatic conditions was analyzed. Optimal operating modes of the system were determined. The analysis showed that the effect of cooler effectiveness on exergy efficiency is not significant.

Kalit so'zlar: *bug‘lantirib sovitgich, samaradorlik ko‘rsatkichi, eksergiya tahlili, tashqi muhit sharoitlari.*

Ключевые слова: *испарительный охладитель, коэффициент эффективности, эксергетический анализ, условия окружающей среды.*

Keywords: *evaporative cooler, effectiveness, exergy analysis, ambient conditions.*

Kirish. To‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitish qadimiy sovitish texnologiyalaridan biri hisoblanadi. Soddaligi, xonadagi havo sifatini yaxshilashi hamda atrof-muhitga ta’sirining nisbatan pastligi sababli u hozirgi kunda ham muhim sovitish usullaridan biri sifatida e’tirof etiladi. Ushbu usul dunyoning ko‘plab quruq iqlimli hududlarida, jumladan AQSh, Avstraliya, Xitoy va Arab ko‘rfazi mamlakatlarida, ayniqsa Saudiya Arabistonida keng qo‘llanib kelinmoqda.

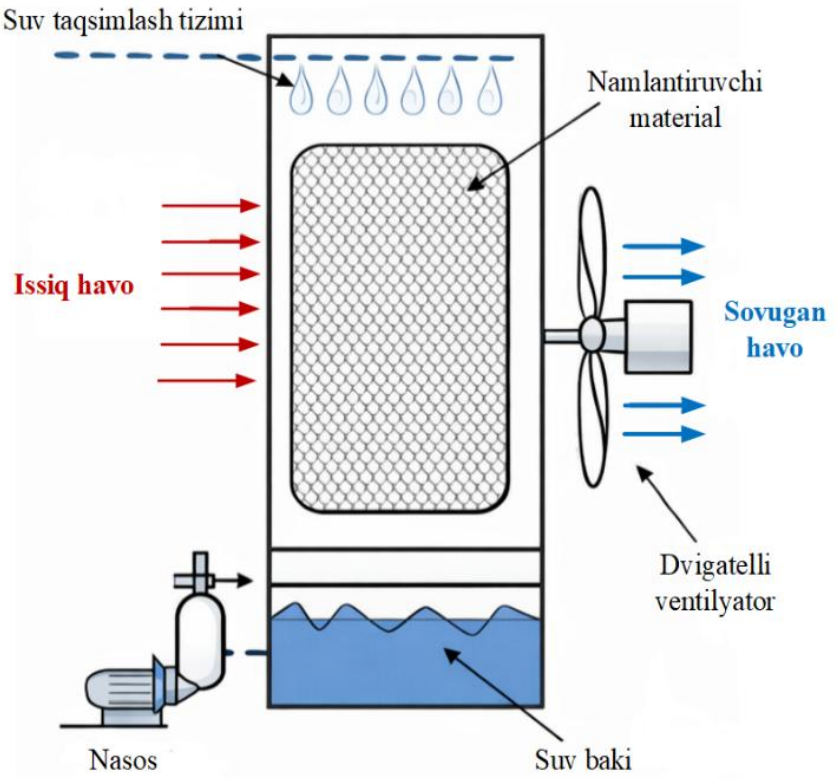
Bug‘lantirib sovitgichlarning ishlash tamoyili sezilarli issiqlikning yashirin issiqlikka aylanishiga, shuningdek, havo va suv o‘rtasida issiqlik hamda namlik almashinuvi jarayonlariga asoslanadi. Mazkur jarayon adiabatik to‘yinish jarayoni sifatida modellashtiriladi, bunda tashqi havo nam sirt yuzasidan suvning bug‘lanishi hisobiga soviydi. Nazariy jihatdan, bug‘lantirib sovitgichlar 100 % nisbiy namlikka ega bo‘lgan, ya’ni to‘yingan havoni yetkazib beradi.

Qashqadaryo viloyatining Kasbi tumanida sutkalik va mavsumiy tashqi havo haroratlari keskin o‘zgaradi. Natijada elektr energiyasiga bo‘lgan talab yoz va qish fasllari orasida, shuningdek, kun va tun davomida sezilarli darajada farqlanadi. Elektr quvvatiga bo‘lgan eng yuqori talab yoz faslida kunning o‘rtalariga to‘g‘ri keladi, bu asosan konditsioner qurilmalarning sovitish yuklamalari bilan bog‘liq. Hozirda asosiy sovitish tizimlari sifatida mexanik bug‘ siqishli sovutish qurilmalari qo‘llaniladi. Biroq, Kasbi tumani kabi quruq iqlimli hududlarda to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitish usulidan ham samarali foydalanish mumkin. Shu bois, konditsioner jihozlarining (xususan, to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichlarning) optimal ish rejimlarini aniqlash muhim ahamiyatga ega. Bu ularning solishtirma energiya sarfini kamaytirish va yoqilg‘i asosida ishlaydigan elektr stansiyalarining atrof-muhitga salbiy ta’sirini minimallashtirish imkonini beradi.

Bug‘lantirib sovitish tizimlarining ishlash samaradorligini bir qancha olimlar tomonidan qator tadqiqotlarda massa, energiya va eksergiya balanslari asosida nazariy hamda sonli usullar yordamida o‘rganilgan. Zalewski va Gryglaszewski [1] qarama-qarshi yo‘nalishli havo oqimi sharoitida bug‘lantirib sovitgichlarda kechadigan issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarini tadqiq etish uchun matematik model taklif qilganlar.

Bug‘lantirib sovitish tizimlariga oid tadqiqotlar yetarlicha bo‘lishiga qaramay, ularning kam qismi Kasbi tumani kabi sutkalik va mavsumiy harorat tebranishlari katta bo‘lgan mu-rakkab cho‘l iqlimi sharoitida real ishlash samaradorligini baholashga bag‘ishlangan. Shuningdek, energiya, eksergiya va iqtisodiy tahlil kabi turli tadqiqot vositalaridan kompleks foydalanish bunday sovitgichlar samaradorligi haqida yanada to‘liq va asosli tasavvur beradi. Mazkur tadqiqotning maqsadlaridan biri ham qazilma yoqilg‘i manbalariga qaramlikni ka-maytirishga xizmat qiladigan noan’anaviy sovitish tizimlarini taklif etishga hissa qo‘shishdir.

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41



1-rasm. Bug‘lantirib sovitish tizimining sxematik tasviri

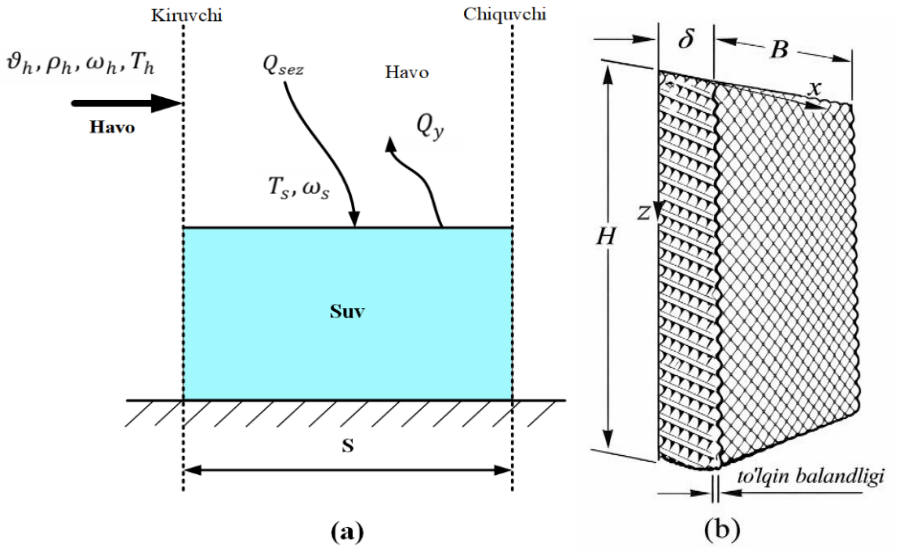
Ushbu ish ikki asosiy qismdan iborat: (I) nazariy modelni ishlab chiqish va (II) uni ekstremal yozgi sharoitlarga tatbiq etish. Nazariy modellashtirish to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichlarda issiqlik va massa almashinuvi, eksergiya hamda xarajatlar tahlilini o‘z ichiga oladi. Ayniqsa, atrof-muhit sharoitlarining sovitgich ishlash ko‘rsatkichlariga ta’siri muhokama qilinadi. Tadqiqotning ikkinchi qismida ishlab chiqilgan modellar Kasbi tumanining yozgi iqlim sharoitlariga qo‘llanib, mazkur hududga xos sharoitda tipik to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichning samaradorligi o‘rganiladi.

Termodinamik tahlil:

Energiya va massa balansi tahlili. To‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichlarda yuz beradigan massa, issiqlik va eksergiya balans tenglamalari quyidagi qabul qilingan farazlar asosida tuzilgan:

1. Jarayonlar statsionar holatda kechadi deb hisoblanadi.
2. Tizimdan atrof-muhitga issiqlik yo‘qotishlari e’tiborga olinmaydi.
3. Kinetik va potensial energiya o‘zgarishlari hisobga olinmaydi.
4. Bug‘langan suv o‘rnini to‘ldirish uchun nasosga kirayotgan qo‘shimcha suvning harorati kiruvchi havoning adiabatik to‘yinish haroratiga teng deb qabul qilinadi.
5. Quruq havo va suv bug‘idan tashkil topgan nam havo ideal gazlar aralashmasi sifatida qaraladi.
6. Eksergiya tahlilida qulaylik sharoitlari sifatida qabul qilinadi.
7. Bug‘lantirib sovitgich ichidagi bosim yo‘qotishlari hisobga olinmaydi.

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41



2-rasm. (a) To‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitish tizimining sxematik ko‘rinishi; (b) Bug‘lantiruvchi material modulining konstruktiv tuzilishi

Havo oqimidan bug‘lantiruvchi material orqali chiqarib olinadigan sezilarli issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$dQ_{sez} = m'_q C_{n.h} dT \tag{1}$$

bu yerda: m'_q- quruq havoning mass asarfi; $C_{n.h}$- nam havoning solishtirma issiqlik sig‘imi; dT- harorat o‘zgarishi.

Quruq havoning massa sarfi esa quydagicha aniqlanadi:

$$m'_q = V_q \cdot \rho_q = \vartheta_q \cdot \rho_q \cdot S = \vartheta_q \cdot \rho_q \cdot B \cdot H \tag{2}$$

bu yerda: V_q- quruq havoning hajmiy sarfi; ρ_q- quruq havo zichligi; ϑ_q- quruq havo tezligi; S - to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichning frontal (old) kesim yuzasi; B va H - mos ravishda bug‘lantiruvchi materialning eni va balandligi.

Nam havo ideal gazlar aralashmasi sifatida qaraladi va uning istalgan xossasi quruq havo hamda suv bug‘i xossalarining yig‘indisiga teng deb olinadi:

$$z_u = z_{havo} + \omega z_{suv} \tag{3}$$

bu yerda: z - istalgan termofizik xossani bildiradi.

Sezilarli issiqlik miqdori quyidagicha ham aniqlanish mumkin:

$$dQ_{sez} = m'_q C_{n.h} dT = k(T_s - T) dS_\omega \tag{4}$$

bu yerda: k- konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti; T- quruq termometr bo‘yicha havo harorati; T_s- suv sirtining harorati; dS_ω- namlangan umumiy sirt yuzasining elementar o‘zgarishi.

Namlangan sirt yuzasi esa quyidagicha ifodalanadi:

$$dS_\omega = \xi \cdot B \cdot H \cdot dx \tag{5}$$

bu yerda: ξ - bug‘lantiruvchi materialning birlik hajmiga to‘g‘ri keladigan g‘ovak sirt

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

koeffitsiyenti; dx - oqim yo‘nalishi bo‘yicha elementar uzunlik.

Suvning bug‘lanishi natijasida havoga beriladigan yashirin issiqlik quyidagicha baholanadi:

$$dQ_y = h_\omega \cdot dm'_s \tag{6}$$

bu yerda: h_ω - suvning bug‘lanish yashirin issiqligi; dm'_s- havoga bug‘lanib o‘tayotgan suvning massa sarfi.

Bug‘langan suv miqdori:

$$dm'_s = m'_q \cdot d\omega = m'_q \cdot (\omega_b - \omega_a) = h_m \cdot (\omega_s - \omega_a) \cdot dS_\omega \tag{7}$$

bu yerda: h_m- massa almashinuvi koeffitsiyenti; ω_s- to‘yingan havoning namlik nisbati; ω_b va ω_a- mos ravishda chiqish va kirish havosining namlik nisbatlari.

Shunday qilib, yashirin issiqlik ifodasi quydagicha bo‘ladi:

$$dQ_y = h_\omega h_m (\omega_s - \omega_a) dS_\omega \tag{8}$$

(4) – tenglamani integrallash orqali quyidagi munosabat olinadi:

$$m'_q C_{n.h} dT = k(T_s - T) dS_\omega$$

$$\int_{T_{k.h,q}}^{T_{ch.h,q}} \frac{dT}{(T_s - T)} = \int_0^{S_\omega} \frac{k}{m'_q C_{n.h}} dS_\omega$$

Integrallash natijasida quydagi ifoda hosil bo‘ladi:

$$\frac{T_s - T_{ch.h,q}}{T_s - T_{k.h,q}} = exp\left(-\frac{S_\omega k}{m'_q C_{n.h}}\right) \tag{9}$$

Sovitish samaradorligi esa quydagicha formula orqali hisoblanadi:

$$\varepsilon = \frac{T_{k.h,q} - T_{ch.h,q}}{T_{k.h,q} - T_{k.h,n}} \tag{10}$$

bu yerda: $T_{k.h,q}$- kirish havosining quruq termometr harorati; $T_{ch.h,q}$- chiqish havosining quruq termometr harorati; $T_{k.h,n}$- kirish havosining nam termometr harorati.

(10) – tenglamani (9) – tenglamaga qo‘yish orqali quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\varepsilon = 1 - exp\left(-\frac{S_\omega k}{m'_q C_{n.h}}\right) \tag{11}$$

Turbulent oqim sharoitida Dowdy va Karabash [2] qattiq sellyuloza qog‘ozli bug‘lantiruvchi muhit uchun konvektiv issiqlik uzatish koeffitsientini aniqlashga mo‘ljallangan o‘zaro bog‘liqlikni taklif qilganlar:

$$Nu = 0.1 \left(\frac{l_e}{\delta}\right)^{0.12} Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}} \tag{12}$$

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

bu yerda: $l_e = \frac{V}{S_\omega}$ - xarakterli uzunlik; V – bug‘lantiruvchi material hajmi; S_ω- umumiy namlangan issiqlik almashinuv yuzasi; δ – materialning qalinligi.

Nusselt, Reynolds va Prandtl sonlari quyidagicha aniqlanadi:

$$Nu = \frac{k \cdot l_e}{\lambda_{n.h}} \tag{13}$$

$$Re = \frac{\rho_{n.h} \vartheta_q l_e}{\mu_{n.h}} \tag{14}$$

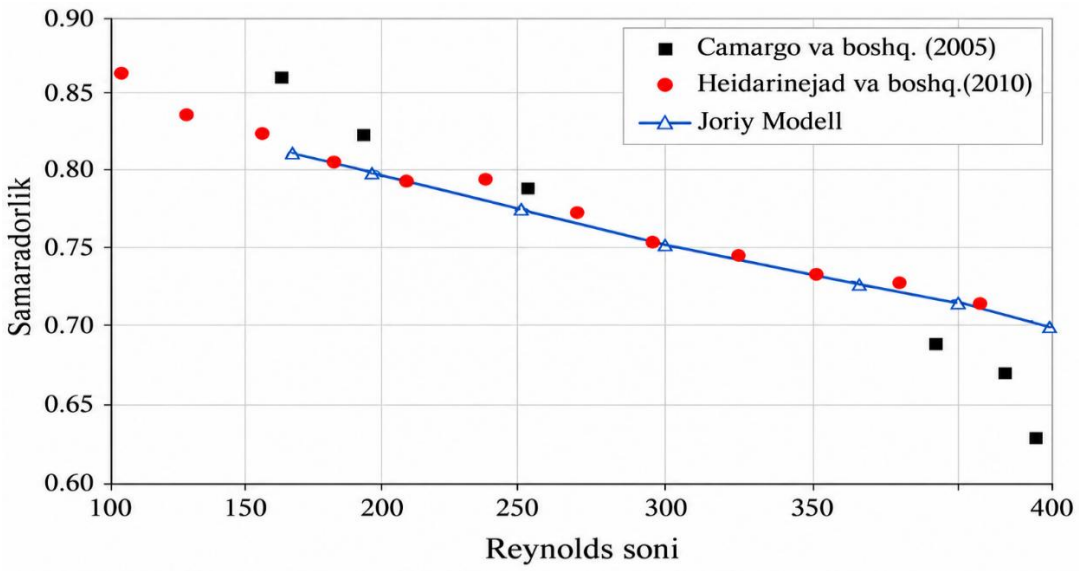
$$Pr = \frac{\mu_{n.h}\ C_{n.h}}{\lambda_{n.h}} \tag{15}$$

bu yerda: $\lambda_{n.h}$- nam havoning issiqlik o‘tkazuvchanligi; $\rho_{n.h}$ - nam havoning zichligi; $\mu_{n.h}$ - nam havoning dinamik yopishqoqligi.

(2), (4), (12) va (13) - tenglamalardan foydalanib, quyidagi ifoda hosil qilinadi:

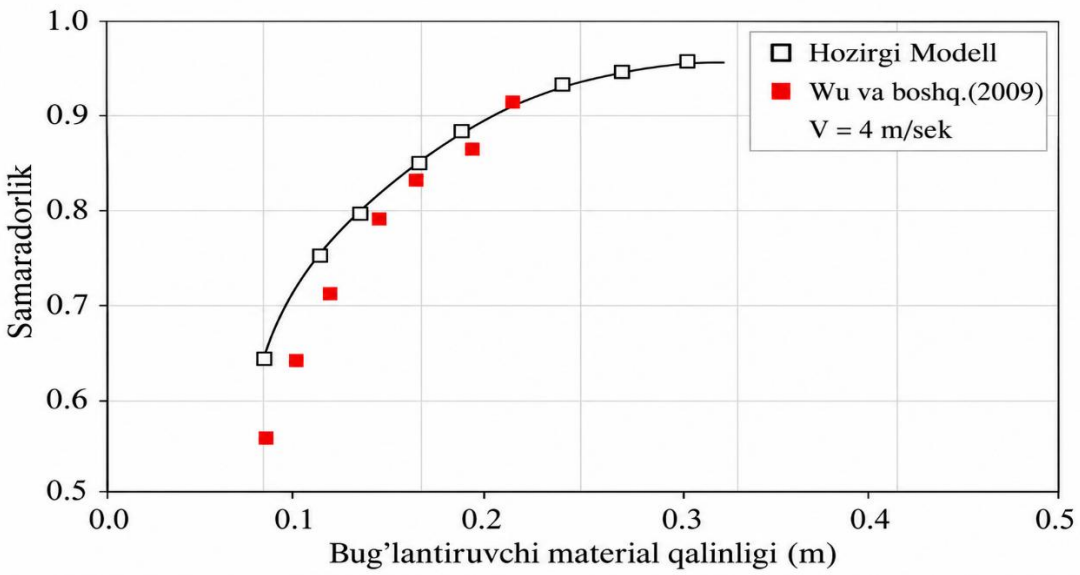
$$\varepsilon = 1 - \exp\left(\frac{-0.1\lambda_{n.h}\delta^{0.88}\xi^{1.88}Re^{0.8}Pr^{\frac{1}{3}}}{\rho_{n.h}\vartheta_q\ C_{n.h}}\right) \tag{16}$$

Bug‘lantirib sovitgichning energiya va massa almashinuvi modeli Camargoning tajriba [3] natijalari, Heidarinejadning nazariy natijalari [4] hamda Wuning natijalari [5] bilan tasdiqlangan. 3- va 4-rasmlarda ko‘rsatilganidek, ushbu tadqiqot natijalari avvalgi ishlar bilan yaxshi mos keladi, samaradorlik bo‘yicha maksimal xatolik 8 % dan oshmaydi.



3-rasm. Bug‘lantirib sovitgich modelining energiya va massa balansi bo‘yicha tasdiqlanishi

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

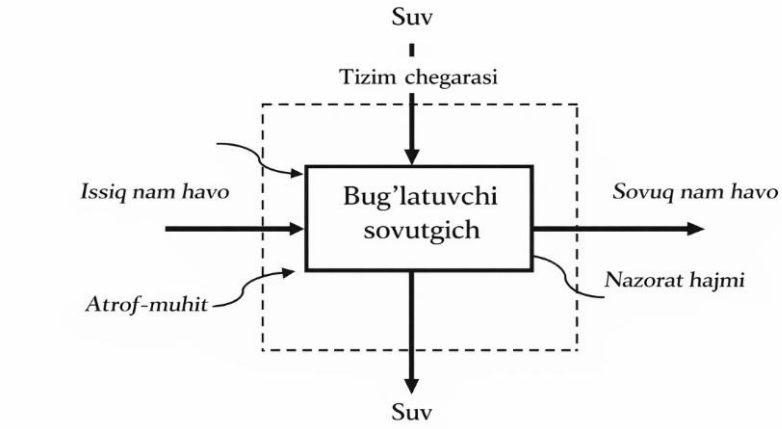


4-rasm. To‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgich samaradorligining material qalinligiga bog‘liqligi

Eksergiya tahlili (Exergy analysis)

Eksergiya tahlili termodinamikaning ikkinchi qonuniga asoslangan bo‘lib, tizimda mavjud energiyaning foydali ishga aylanish imkoniyatini va qaytarilmas yo‘qotishlar miqdorini aniqlashga xizmat qiladi. Ushbu tahlil yordamida jarayonlarning mukammallik darajasi baholanadi, eksergiya yo‘qotishlari aniqlanadi hamda tizimni optimallashtirish imkoniyatlari ko‘rsatib beriladi.

5-rasmda ko‘rsatilgan nazorat hajmi uchun eksergiya balansi quyidagicha yozilishi mumkin [6]:



5-rasm. To‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichning nazorat hajmi sxemasi

$$\sum X_{kir} - \sum X_{chiq} - \sum X_{issiq} - \sum X_{ish} - X_{yo'q.eks} = 0 \quad (17)$$

bu yerda: $\sum X_{kir}$- kiruvchi eksergiya; $\sum X_{chiq}$- chiquvchi eksergiya; $\sum X_{issiq}$- issiqlik uzatish bilan bog‘liq eksergiya; $\sum X_{ish}$- ish bilan bog‘liq eksergiya; $X_{yo'q.eks}$- yo‘qotilgan eksergiya.

To‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichda issiqlik almashinuvi va tashqi ish bilan bog‘liq eksergiya nolga teng deb qabul qilinadi. Shuning uchun (17) - tenglama quyidagicha soddalashadi:

$$\sum X_{kir} - \sum X_{chiq} - X_{yo'q.eks} = 0 \quad (18)$$

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

Shuningdek, 5-rasmda ko‘rsatilganidek, quyidagi munosabat o‘rinli bo‘ladi:

$$\sum X_{kir} = X_{iss.havo} + X_{kir.suv}$$
$$\sum X_{chiq} = X_{sovuq.havo} + X_{chiq.suv} \quad (19)$$

Shuning uchun (18) - tenglamadan kelib chiqib, to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitgichning nazorat hajmi uchun eksergiya balansi quyidagicha yoziladi:

$$X_{iss.havo} + X_{kir.suv} - X_{sovuq.havo} - X_{chiq.suv} - X_{yo'q.eks} = 0 \quad (20)$$

bu yerda: $X_{iss.havo}$- kiruvchi issiq nam havoning eksergiya oqimi; $X_{kir.suv}$- suvning eksergiya oqimi; $X_{sovuq.havo}$- chiquvchi sovutilgan nam havoning eksergiya oqimi.

Statsionar holatda kinetik va potensial energiya ta’siri e’tiborga olinmasa, solishtirma eksergiya quyidagicha ifodalanadi [7]:

$$\psi_s = \psi_t + \psi_k \quad (21)$$

bu yerda: ψ_t va $\psi_k$mos ravishda termomexanik eksergiya va kimyoviy eksergiyani bildiradi.

Termomexanik eksergiya - tizim tarkibi o‘zgarmagan holda, uning harorati va bosimi atrof-muhit harorati hamda bosimiga tenglashganda olinishi mumkin bo‘lgan maksimal ish miqdoridir.

Kimyoviy eksergiya esa - tizimdagi har bir moddaning konsentratsiyasi atrof-muhitdagi konsentratsiyasiga tenglashganda (harorat va bosim o‘zgarmas va atrof-muhitnikiga teng bo‘lib qolgan holda) olinishi mumkin bo‘lgan maksimal ishni anglatadi [8].

Shunday qilib, solishtirma eksergiya quyidagicha yoziladi:

$$\psi_s = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \sum_{k=1}^{n} x_k(\mu_k - \mu_{k,0}) \quad (22)$$

bu yerda: x_k- aralashmadagi k-moddaning mol ulushi; μ- kimyoviy potensial.

Doimiy solishtirma issiqlik sig‘imiga ega ideal gaz uchun termomexanik va kimyoviy eksergiyalar quyidagicha ifodalanadi:

$$\psi_t = (h - h_0) - T_0(s - s_0) = C_p(T - T_0) - T_0\left[C_p \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - R \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)\right] \quad (23)$$

$$\psi_k = \sum_{k=1}^{n} x_k(\mu_k - \mu_{k,0}) = \sum_{k=1}^{n} x_k T_0 R \ln\left(\frac{P_k}{P_{k,0}}\right) \quad (24)$$

Nam havo holati uchun solishtirma oqim eksergiyasi Wepfer va boshqalar [9] ga ko‘ra quyidagicha ifodalanadi:

$$\psi_{n.s} = (h_{q.h} - h_{q,0}) - T_0(s_{q.h} - s_{q.h,0}) + (\mu_{q.h} - \mu_{q.h,0}) + \omega[(h_{s.b} - h_{s.b,0}) - T_0(s_{s.b} - s_{s.b,0}) + (\mu_{s.b} - \mu_{s.b,0})] \quad (25)$$

bu yerda: indeks $q.h$ - quruq havo, $s.b$ - suv bug‘i, ω - namlik nisbati.

Nam havo quruq havo va suv bug‘idan iborat ideal gaz aralashmasi sifatida qaralsa, solishtirma oqim eksergiyasi quyidagicha yoziladi:

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

$$\psi_{n.s} = (C_{p,h} + \omega C_{p,s})T_0 \left[\frac{T}{T_0} - 1 - \ln\left(\frac{T}{T_0}\right)\right] + (1 + 1.608\omega)R_h T_0 \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

$$+R_h T_0 \left[(1 + 1.608\omega) \ln\left(\frac{1+1.608\omega_0}{1+1.608\omega}\right) + 1.608\omega \ln\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\right] \quad (26)$$

bu yerda: $C_{p,h}$ va $C_{p,s}$ mos ravishda quruq havo va suv bug‘ining bosim doimiy bo‘lgandagi solishtirma issiqlik sig‘imlari; ω- namlik nisbati; R_h- havo uchun ideal gaz doimiysi; P- aralashmaning umumiy bosimi; 1.608- havoning molyar massasining suv bug‘i molyar massasiga nisbati.

(26)-tenglama nam havoning eksergiyasini ifodalaydi va u uch qismdan iborat: termik, mexanik va kimyoviy qismlar [10, 7]. Ular mos ravishda ψ_t, ψ_m va ψ_k bilan belgilanadi hamda quyidagicha yoziladi:

$$\psi_t = (C_{p,h} + \omega C_{p,s})T_0 \left[\frac{T}{T_0} - 1 - \ln\left(\frac{T}{T_0}\right)\right] \quad (27)$$

$$\psi_m = (1 + 1.608\omega)R_h T_0 \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (28)$$

$$\psi_k = R_h T_0 \left[(1 + 1.608\omega) \ln\left(\frac{1+1.608\omega_0}{1+1.608\omega}\right) + 1.608\omega \ln\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\right] \quad (29)$$

Termik va mexanik eksergiya birgalikda termomexanik eksergiya deb ataladi [11–7]. Muangnoi va hamkorlari [11] nam havo aralashmasi eksergiyasi uchun yuqoridagi tenglamalarning keltirib chiqarilishini batafsil bayon qilganlar.

$$\psi_\omega = \left(h_f(T) - h_f(T_0)\right) - T_0\left[s_f(T) - s_f(T_0)\right] + v_f(T)[P - P_{tsb}(T)] - R_{sb}T_0 \ln(\phi_0) \quad (30)$$

bu yerda: P_{tsb}- to‘yingan suv bug‘i bosimi; R_{sb}- suv bug‘i uchun ideal gaz doimiysi; $indeks\ f$- to‘yingan suyuqlik holatini bildiradi.

Amaliy jihatdan, (30)-tenglamaning o‘ng tomonidagi uchinchi had odatda oxirgi hadga nisbatan juda kichik bo‘lgani sababli e’tiborga olinmaydi [11–7]. Shuning uchun suyuq suvning solishtirma oqim eksergiyasi soddalashtirilgan ko‘rinishda qo‘llanadi.

Shu sababli, suyuq suvning solishtirma oqim eksergiyasi quyidagi soddalashtirilgan ko‘rinishni oladi:

$$\psi_\omega = \left(h_f(T) - h_f(T_0)\right) - T_0\left[s_f(T) - s_f(T_0)\right] - R_{sb}T_0 \ln(\phi_0) \quad (31)$$

Sovitgichning nazorat hajmi uchun massa balansi quyidagicha yoziladi:

$$m'_q(1 + \omega_h) + m'_{kir.suv} = m'_q\left(1 + \omega_q\right) + m'_{chiq.suv} \quad (32)$$

Bug‘latgichdan chiqadigan suyuq suv miqdori nolga teng deb qabul qilinsa, massa balansi soddalashib quyidagicha bo‘ladi:

$$m'_{kir.suv} = m'_q(\omega_q - \omega_h) \quad (33)$$

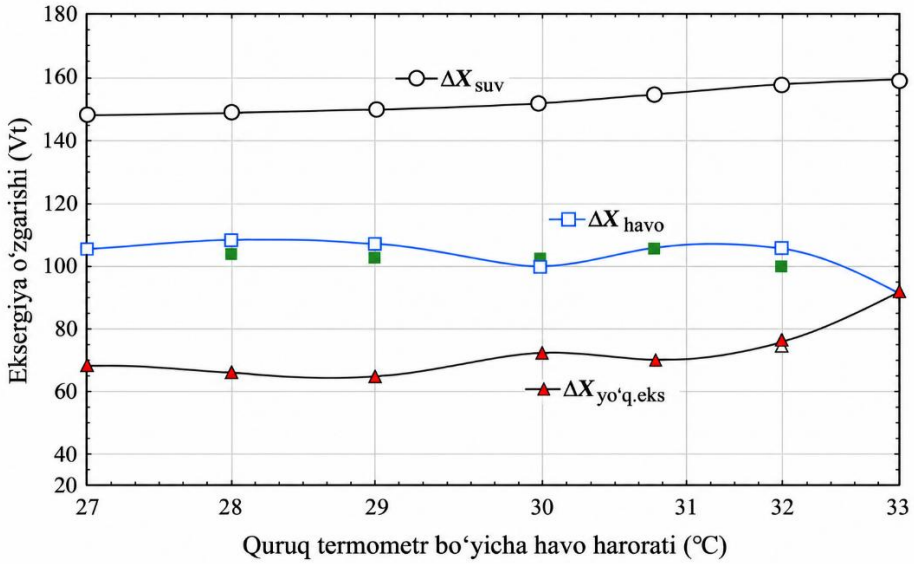
DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

Eksergiya tahlilida qulaylik sharoitlari ideal sifatida qabul qilinadi. Shunday qilib, yo‘qotilgan eksergiya oqimi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$X_{yo'q.eks} = X_{kir.suv} + X_{iss.havo} - X_{sovuq.havo} \quad (34)$$

Eksergiya samaradorligi tizimdan chiqayotgan jami eksergiyaning tizimga kirayotgan jami eksergiyaga nisbati sifatida aniqlanadi [6]:

$$\eta = \frac{\sum X_{chiq}}{\sum X_{kir}} = 1 - \frac{X_{yo'q.eks}}{\sum X_{kir}} \quad (35)$$



6-rasm. Kirish havosi haroratiga bog‘liq holda suv va havoning eksergiya oqimlari o‘zgarishi

Xulosa. Ushbu tadqiqotda to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lantirib sovitish qurilmalarining energetik va eksergetik ko‘rsatkichlari massa, energiya hamda eksergiya balans tenglamalari asosida kompleks ravishda tahlil qilindi. 6-rasmda kirish havosining quruq termometr bo‘yicha haroratiga bog‘liq holda nam havo va suv eksergiyasining o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Taqqoslash maqsadida Muangnoi va hamkorlari natijalari ham keltirilgan. Natijalardan ko‘rinadiki, farqlar juda kichik. Ushbu tekshiruv natijalari ishlab chiqilgan modellarning aniqligi va ishonchliligini tasdiqlaydi.

Adabiyotlar

1. W. Zalewski and P. A. Gryglaszewski, Mathematical model of heat and mass transfer processes in evaporative fluid coolers, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 36 (1997) 271-280. https://doi.org/10.1016/S0255-2701%2897%2900006-8

2. J. A. Dowdy and N. S. Karabash, Experimental determination of heat and mass transfer coefficients in rigid impregnated cellulose evaporative media, ASHRAE Transactions (1987) 382-395.

3. J. R. Camargo, C. D. Ebinuma and J. L. Silveira, Experimental performance of a direct evaporative cooler operating during summer in a Brazilian city, International Journal of Refrigeration, 28 (2005) 1124-1132. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2004.12.011

4. G. Heidarinejad, M. Farmahini Farahani and S. Delfani, Investigation of a hybrid system of nocturnal radiative cooling and direct evaporative cooling, Building and Environ- ment, 45

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.41

(2010) 1521-1528. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.003

5. J. M. Wu, X. Huang and H. Zhang, Theoretical analysis on heat and mass transfer in a direct evaporative cooler, Applied Thermal Engineering, 29 (2009) 980-984. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.05.016

6. Y. A. Cengel and M. A. Boles, Thermodynamics an engineering approach, McGraw-Hill, New York, NY 10020 (2008).

7. L. Wang and N. Li, Exergy transfer and parametric study of counter flow wet cooling towers, Applied Thermal Engineering, 31 (2011) 954-960. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.11.019

8. M. H. Sharqawyv and S. M. Zubair, On exergy calculations of seawater with applications in desalination systems, International Journal of Thermal Sciences, 50 (2011) 187-196. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2010.09.013

9. W. J. Wepfer, R. A. Gaggioli and E. F. Obert, Proper evaluation of available energy for HVAC, ASHRAE Journal American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 20 (1978) 63-63.

10. M. Farmahini-Farahani, S. Delfani and J. Esmaeelian, Exergy analysis of evaporative cooling to select the optimum system in diverse climates, Energy, 40 (2012) 250-257. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.075

11. T. Muangnoi, W. Asvapoositkul and S. Wongwises, An exergy analysis on the performance of a counterflow wet cooling tower, Applied Thermal Engineering, 27 (2007) 910-917. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.08.012