

UO‘K 621.311

BINOGA INTEGRATSIYALANGAN FOTO VA FOTO-ISSIQLIK O‘ZGARTIRGICHLI TIZIMLARNI TAJRIBA JAROYONIDA O‘RGANISH

Komilov Asliddin G‘ulomovich¹ - texnika fanlari doktori,

ORCID:0000-0002-0477, E-mail: asliddin@rambler.ru

Nasrullayev Yusuf Zokirovich² - doktorant (PhD),

ORCID: 0009-0000-8492-8233, E-mail: yusuf.nasrullayev@gmail.com

Ergashev Shaxriyor Hamudillayevich² - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori(PhD), dotsent

ORCID: 0000-0002-3336-9942, E-mail: strong.shakhrier@mail.ru

¹Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent sh., O‘zbekiston

²Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi sh., O‘zbekiston

***Annotatsiya.** Quyosh simulyatoridan foydalangan holda ish jismi havoga asoslangan ochiq aylanishli binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimi tajribada o‘rganildi. Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarining o‘zgarishlari va polo-kristalli kremniy asosidagi fotoelektrik panellardan foydalanish tizimlari o‘rganilgan. Tajriba natijalari shuni ko‘rsatadiki, ekvivalent tizimda samaradorligi va binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarda fotoelektrik panellar, binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimi bo‘shlig‘idagi pastki yuzada ba‘zida quyosh nurlanishining yutilishi tufayli yuqori issiqlik samaradorligini hosil qiladi.*

Ushbu muammoni hal qilishning turli usullari mavjud bo‘lib, quyosh simulyatori, quyosh radiatsiyasi, shamol tezligi va atrof-muhit harorati nuqtai nazaridan aniq va qayta ishlanadigan sinov sharoitlarini hosil qiladi, bu prototipni xona haroratiga yaqin barqaror muhitda sinovdan o‘tkazish imkonini beradi. Quyosh nurini taqlid qiluvchi lampalar quyosh spektriga yaqin nurlanishni barqaror sharoitda ta‘minlaydi. Ventilyator bo‘shliqdagi oqim bilan bir xil yo‘nalishda fotoelektrik panel yuzasiga parallel ravishda turli xil shamol tezligini hosil qiladi.

Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlar ostidagi konstruktiv qo‘llab-quvvatlovchi bo‘lgan izolyatsion qatlamdagi issiqlik samaradorligi, egilish burchagi 0 dan 180^o daraja bo‘lganda, quyosh simulyatoridagi nurlanishining tushishi 880 dan 940 Vt/m² va shamolning o‘rtacha tezligi 2 dan 3 m/s ni tashkil qiladi.

Xona harorati va quyosh simulyatorini radiatsiyasi intensivligini hisobga olgan holda foto va foto-issiqlik o‘zgartirgichli tizimdan oqib o‘tayotgan havo harorati o‘zgarishini aniqlash bo‘yicha nazariy va tajribaviy tadqiqotlar o‘tkazildi.

***Kalit so‘zlar:** quyosh simulyator, fotoelektrik panel, kvadrat foto-sezgir stenti, RTD harorat sensori, anemometr, kollektor.*

УДК 621.311

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ФОТО И ФОТОТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ

Комилов Аслиддин Гуломович¹ - доктор технических наук,

ORCID: 0000-0002-0477 -8009, E-mail: asliddin@rambler.ru

Насруллаев Юсуф Зокирович² - докторант (PhD),

ORCID: 0009-0000-8492-8233, E-mail: yusuf.nasrullayev@gmail.com

Эргашев Шахриёр Хамудиллаевич² - доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент, ORCID: 0000-0002-3336-9942, E-mail: strong.shakhrier@mail.ru

¹Национальный научно-исследовательский возобновляемых источников энергии,
г. Ташкент, Узбекистан

²Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. С помощью солнечного симулятора экспериментально исследована фото-электро-тепловая система, интегрированная в воздушное здание разомкнутого типа с рабочим телом. Изучены варианты интегрированных в здания фотоэлектрических/тепловых систем и систем с использованием фотоэлектрических панелей на основе поликристаллического кремния. Результаты экспериментов показывают, что эффективность эквивалентной системы и фотоэлектрических панелей в фотоэлектрических/тепловых системах, интегрированных в здание, нижняя поверхность в полости фотоэлектрической/тепловой системы, интегрированной в здание, иногда обеспечивает высокий тепловой КПД из-за поглощения солнечного излучения.

Существуют различные способы решения этой проблемы, и Solar Simulator создает точные и воспроизводимые условия испытаний с точки зрения солнечного излучения, скорости ветра и температуры окружающей среды, что позволяет тестировать прототип в стабильной среде, близкой к комнатной температуре. Лампы, имитирующие солнечный свет, в стабильных условиях дают излучение, близкое к солнечному спектру. Вентилятор создает ветер различной скорости параллельно поверхности фотоэлектрической панели в том же направлении, что и ток в полости.

Тепловая эффективность изоляционного слоя, который является опорой конструкции интегрированных фотоэлектрических/тепловых систем здания, при угле наклона от 0 до 180 градусов, падение солнечной радиации в симуляторе составляет от 880 до 940 Вт/м², средняя скорость ветра – от 2 до 3 м/с.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования по определению изменения температуры воздуха, проходящего через систему с фото и фототеплообменником, с учетом комнатной температуры и интенсивности излучения солнечного имитатора.

Ключевые слова: имитатор солнечной энергии, фотоэлектрическая панель, квадратный светочувствительный стенд, температурный датчик RTD, анемометр, коллектор.

UDC 621.311

EXPERIMENTAL STUDY OF CONSTRUCTION OF INTEGRATED PHOTO AND PHOTOHEAT EXCHANGE SYSTEMS.

Komilov, Asliddin G‘ulomovich¹- Doctor of Technical Sciences,
ORCID:0000-0002-0477, E-mail: asliddin@rambler.ru

Nasrullayev, Yusuf Zokirovich²- Doctoral student (PhD),
ORCID; 0009-0000-8492-8233, E-mail: yusuf.nasrullayev@gmail.com

Ergashev, Shaxriyor Hamudillayevich²- Doctor of Philosophy in Technical Sciences,
Associate professor(docent), ORCID: 0000-0002-3336-9942, E-mail: strong.shakhriyor@mail.ru

¹National Scientific Research Institute of Renewable Energy Sources,
Tashkent city, Uzbekistan

² Karshi engineering-economics institute, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. Using a solar simulator, a photoelectric-thermal system integrated into an open-loop air building with a working fluid was experimentally investigated. Options for building-integrated photovoltaic/thermal systems and systems using polycrystalline silicon photovoltaic panels were explored. Options for building-integrated photovoltaic/thermal systems and systems using polycrystalline silicon photovoltaic panels were explored. Experimental results show that the efficiency of equivalent system and PV panels in building-integrated PV/thermal systems, the bottom

surface in the cavity of building-integrated PV/thermal system sometimes achieves high thermal efficiency due to solar radiation absorption.

There are various ways to solve this problem, and the Solar Simulator creates accurate and repeatable test conditions in terms of solar radiation, wind speed and ambient temperature, allowing the prototype to be tested in a stable, near-room temperature environment. Lamps that simulate sunlight under stable conditions produce radiation close to the solar spectrum. The fan creates winds of varying speeds parallel to the surface of the PV panel in the same direction as the current in the cavity.

Thermal efficiency of the insulating layer, which supports the structure of the integrated photovoltaic/thermal systems of the building, at an angle of inclination from 0 to 180 degrees, the solar radiation drop in the simulator is from 880 to 940 W/m², the average wind speed is from 2 to 3 m/s.

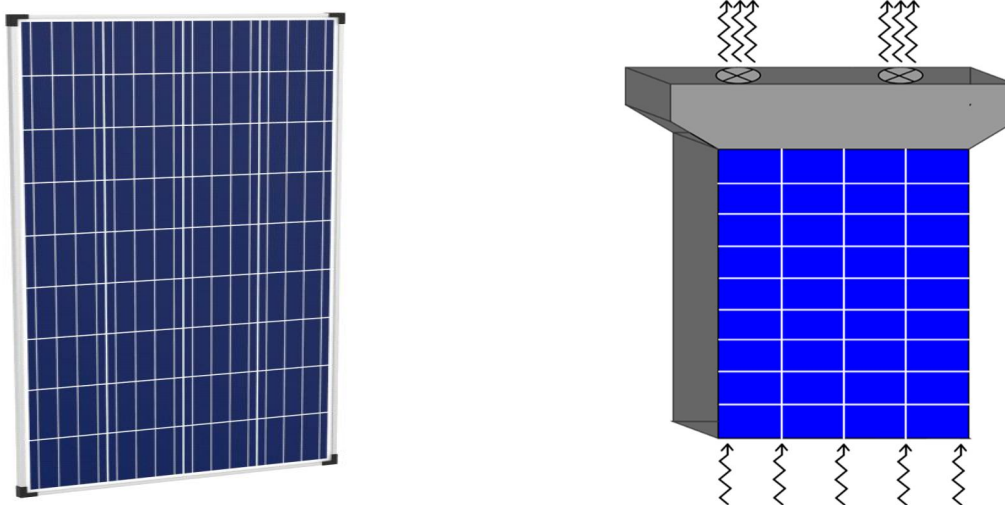
Theoretical and experimental studies were carried out to determine the change in the temperature of the air passing through a system with a photo and photoheat exchanger, taking into account room temperature and the radiation intensity of the solar simulator.

Keywords: Solar Energy Simulator, Photovoltaic Panel, Square Photosensitive Stent, RTD Temperature Sensor, Anemometer, Collector.

Kirish

Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimi quyosh energiyasini yig'ish uchun bir vaqtning o'zida elektr energiyasi va foydali issiqlikni ishlab chiqarish uchun bino tomidan foydalaniladi, bu esa binolarning energiya sarfini kamaytirishning samarali usulini ta'minlaydi. Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarida ishchi jism sifatida havo va suyuqlik sovitgichlarni o'z ichiga olgan bir qator texnologiyalardan foydalanilgan [1]. Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarda ishchi jism sifatida havodan foydalanish, suyuqlik asosidagi binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlariga nisbatan o'rnatish xarajatlari, suyuqlikni sizib ketish va muzlash xavfini kamaytiradi va texnik xizmat ko'rsatish juda qulay hisoblanadi. Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimining havo bo'shlig'ini yuqori qismida fotoelektrik modullar va pastki izolyatsiya qatlam o'rtasida joylashgan bo'lib, fotoelektrik modullarni sovitish uchun ventilyator tizimi orqali boshqariladigan atrof-muhit havosining bo'shliq orqali o'tishiga imkon beradi, natijada fotoelektrik panellarning elektr samaradorligini oshiradi [2].

Odatda, binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarda ishchi jism sifatida havoning o'ziga xos fizik xususiyatlari past; masalan, zichligi, issiqlik sig'imi va issiqlik o'tkazuvchanligi, pastligi natijasida havoga asoslangan binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarining ishlash samaradorligini oshiradi [1].



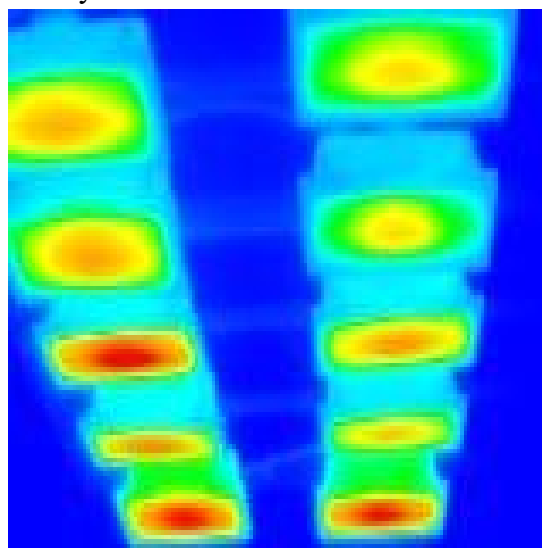
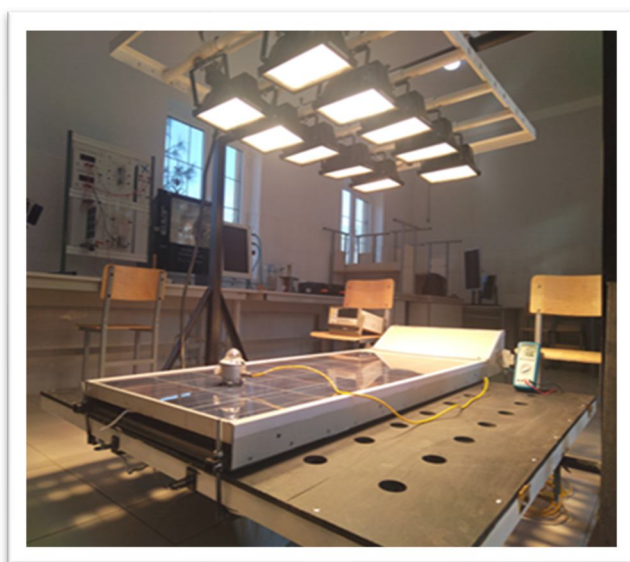
1-rasm. Polo-kristalli fotoelektrik panelli tajriba qurilmasining umumiy ko'rinishi

Tajriba jarayonida xonaning harorati, fotoelektrik panel va havo kanaliga asoslangan binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimining energiya ko'rsatkichlari tahlil qilingan. 1-rasmda tajriba jarayonida polo-kristalli fotoelektrik paneldan foydalanilgan. Fotoelektrik panelning uzunligi \times eni \times qalinligi 1048 mm \times 680 mm \times 4 mm bo'lgan to'qqizta quyosh elementining to'rtta ustunidan iborat.

Havo kanalining ikki tomoni fotoelektrik panellarni o'rnatish uchun qalinligi 5 mm qalinlikdagi alikafon bilan qoplangan. Fotoelektrik panellar qalinligi bo'ylab kesilgan va yuqori qismida 12 vattli ikkita ventilyator o'rnatilgan, havo kanalining kengligi 680 mm tashkil qiladi.

Usul va materiallar

Quyosh simulyatori, quyosh radiatsiyasi, shamol tezligi va atrof-muhit harorati nuqtai nazaridan aniq va qayta ishlanadigan sinov sharoitlarini hosil qiladi, bu prototipni xona haroratiga yaqin barqaror muhitda sinovdan o'tkazish imkonini beradi. Quyosh nurini taqlid qiluvchi lampalar quyosh spektriga yaqin nurlanishni barqaror sharoitda ta'minlaydi. Ventilyator bo'shliqdagi oqim bilan bir xil yo'nalishda fotoelektrik panel yuzasiga parallel ravishda turli xil shamol tezligini hosil qiladi. Shu bilan birga, ishlab chiqilgan stand ilmiy tadqiqot ishlarini olib borish, qurilmalarning fotoelektrik xususiyatlarini va ularning sifatini o'rganish uchun laboratoriya sharoitida quyoshning "tabiiy" nurlanishini imitatsiya qilish uchun quyosh nuri simulyatoridan iborat.



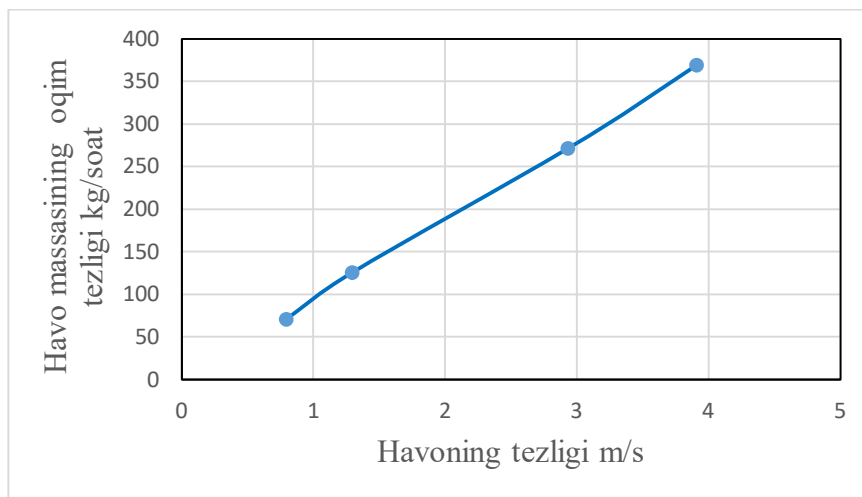
2-rasm. Quyosh simulyatori va foto-sezgir stendi [4]

Yaratilgan stand ikkita asosiy qismdan iborat: 1) Kvadrat foto-sezgir stand o'rnatilgan g'ildirakli rama; 2) Quyosh radiatsiyasi simulyator qurilmasi [4]. Ishlab chiqilgan quyosh radiatsiyasi simulyatori va foto-sezgir stand bir-biridan ma'lum masofada o'rnatiladi. Stand yuzasida nurlanish intensivligini o'zgartirish uchun quyidagicha boshqarilishi mumkin: 1) stand va simulyator orasidagi masofani o'zgartirish, 2) lampalarning quvvatini boshqarish, 3) lampalarni almashtirish tizimlari bo'yicha alohida talablar mavjud. Har bir chiroqning intensivligi va joylashishini (jami 10 ta) sinov yuzasida nurlanish maqbul bir xillik oralig'ida bo'lishi uchun sozlangan. Erishilgan bir xillik 3 foizni tashkil etadi. Laboratoriya xonasining harorati 20 °C atrofida o'rnatildi, bu laboratoriya xonasidagi haroratning bir xil me'yorda saqlash uchun konditsioner qurilmasi tomonidan boshqariladigan sovitish moslamasi orqali ta'minlandi. Quyosh simulyatorining xatoligi 1% ni tashkil etadi.

Kvadrat foto-sezgir stand o'rnatilgan g'ildirakli ramada, Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarini prototipi turli xil tom/fasad qiyaliklarini ishlab chiqarish uchun 0° dan 180° gacha burilish imkoniyatiga ega [4].

Tizimda quyosh simulyatoridan foydalangan holda fotoelektrik panellarning to'rtta parametri o'Ichandi: Fotoelektrik modulining pastki sirt harorati, kanal havosi harorati, izolyatsiyaning ichki yuzasi harorati va fotoelektrik modulning harorati, fotoelektrik modulning yuqori yuzasidan bir oz yuqoridagi sun'iy shamol harorati (simulyator kollektor uzunligi bo'ylab sun'iy shamol hosil qiladi). Havo massasining oqim tezligini o'Ichashning noaniqligi 2% dan kam. Panel orqa yuzasi orqali harakatlanayotgan, havo tezligini o'Ichash uchun UNI-T (UT363) anemometrda foydalanilgan. Anemometrda xatolik 3,0% yoki $\pm 0,015$ m / s aniqligiga ega. Havo tezligining massa oqimiga bog'liqligi 3-rasmda ko'rsatilgan. Ularning o'zaro bog'liqligi quyida keltirilgan:

$$\dot{m} = 90.6V^{1.038} \quad (1)$$



3-rasm. Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimining havo tezligiga nisbatan havo massasining oqim tezligi

Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimining issiqlik samaradorligi η_{th} quyidagi tenglama yordamida hisoblanadi [5]

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{G \cdot A}, \quad (2)$$

bu yerda, η_s – issiqlik samaradorligi, \dot{m} –havoning massaviy oqim tezligi, kg/s, T_o – tashqi harorat, T_i -ichki harorat.

Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarda fotoelektrik panel, izolyatsiyasi tizimi [6], havo kanali va atrof-muhit harorati tajriba jarayonida ifodalangan. Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimining har bir komponenti uchun hisoblash tenglamalari quyidagicha keltirilgan [5].

Fotoelektrik panellar uchun energiya balans tenglamasi quyidagicha hisoblanadi.

$$S_{pv} = \frac{A\sigma(T_{pv}^4 - T_{ins}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{pv}} + \frac{1}{\varepsilon_{ins}} - 1} + Ah_{amb}(T_{pv} - T_{amb}) + Ah_{top}(T_{pv} - T_{air}). \quad (3)$$

Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimining havo kanalidagi energiya balansi tenglamasi quyidagicha hisoblanadi [7].

$$\dot{m}c_p(T_{out} - T_{in}) = Ah_{top}(T_{pv} - T_{air}) + Ah_{bot}(T_{ins} - T_{air}). \quad (4)$$

Izolyatsiyaning ichki yuzasi uchun energiya balans tenglamasi hisoblanadi

$$S_{ins} + \frac{A\sigma(T_{pv}^4 - T_{ins}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{pv}} + \frac{1}{\varepsilon_{ins}} - 1} = Ah_{bot}(T_{ins} - T_{air}). \quad (5)$$

Fotoelektrik panel quyosh energiyasini yuqori yuzasiga yutadi va uning pastki yuzasi ham izolyatsiya tomonidan aks ettirilgan nurlanishni oladi, shunda S_{pv} fotoelektrik panellar uchun energiya balans tenglamasi quyidagicha hisoblanadi [8].

$$S_{pv} = G \cdot A \cdot PF \cdot a_{pv} + G \cdot A(1 - PF) \cdot a_g + G \cdot A \cdot (1 - PF) \cdot \tau_g \cdot p_{ins} \cdot a_{pv} - E, \quad (6)$$

bu yerda PF qadoqlash koeffitsiyentini bildiradi va E ishlab chiqarilgan elektr energiyasi.

Quyosh simulyatoridagi nurlanishni izolyatsiyaga tushishi [9].

$$S_{ins} = G \cdot A \cdot (1 - PF) \cdot \tau_g \cdot a_{ins}. \quad (7)$$

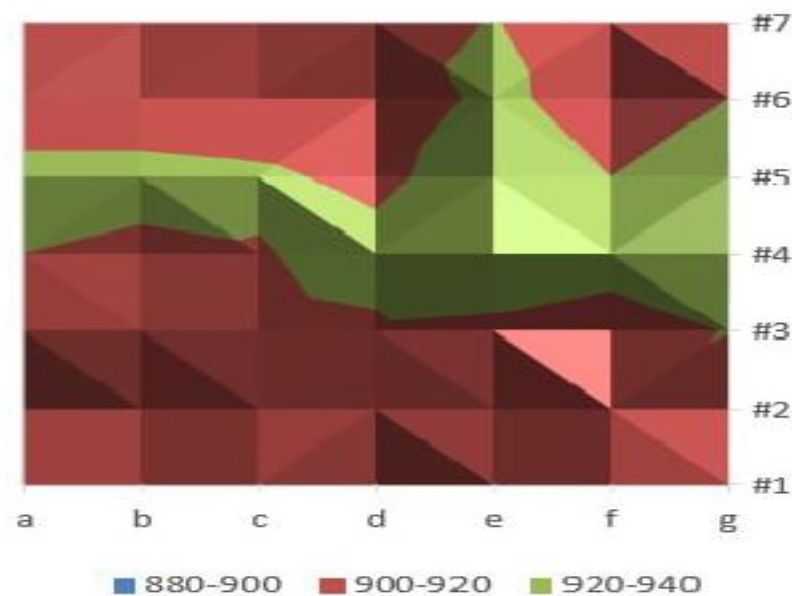
Izolyatsiya fotoelektrik panelning orqa yuzasida aks ettirilgan nurlanishni olmagan deb taxmin qilingan, chunki izolyatsiya ham, fotoelektrik panel ham yuqori singdiruvchanlikka ega.

Fotoelektrik modulning elektr samaradorligi harorat funktsiyasi sifatida quyidagicha ifodalanadi [10].

$$\eta_e = \eta_{ref} \left(1 - 0.4\% (T_{pv} - 25) \right). \quad (8)$$

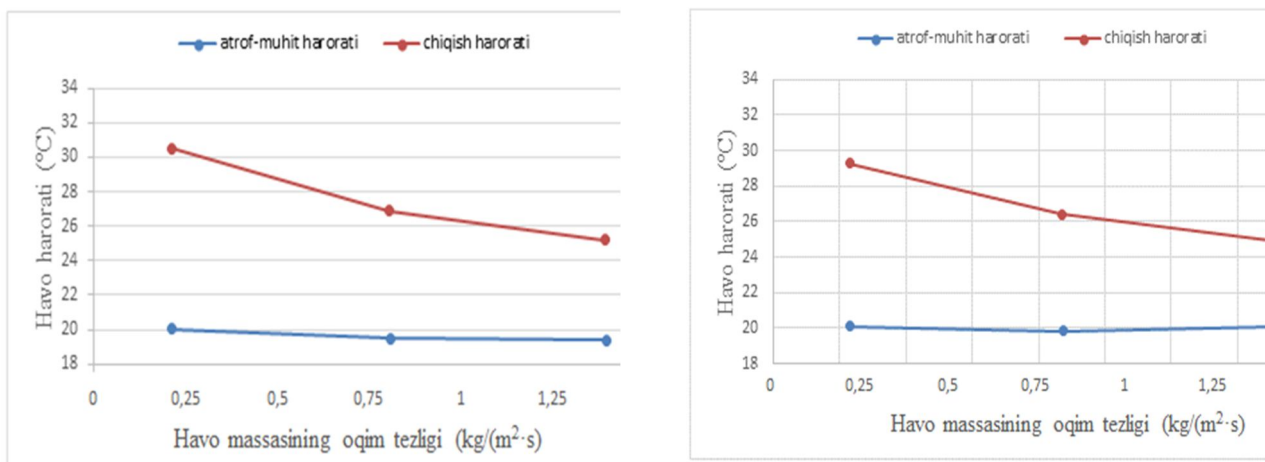
Natijalar

Fotoelektrik tizimdagi havo oqim tezligi bir xil ekanligi, bu ventilyator tezligini nazorat qilish orqali amalga oshiriladi [3]. RTD harorat sensori kollektor tayanchidagi prototipning yoniga joylashtirilgan, lampalardan to'g'ridan-to'g'ri quyosh nurlaridan soyalanadi. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, xona uchun sovitish moslamasi ishlaganda harorat barqaror bo'ladi. O'rtacha 880 Vt/m^2 dan 940 Vt/m^2 gacha quyosh simulyatoridagi nurlanish ta'sirida fotoelektrik tizimdan chiqish havosi harorati 4- rasmda keltirilgan.

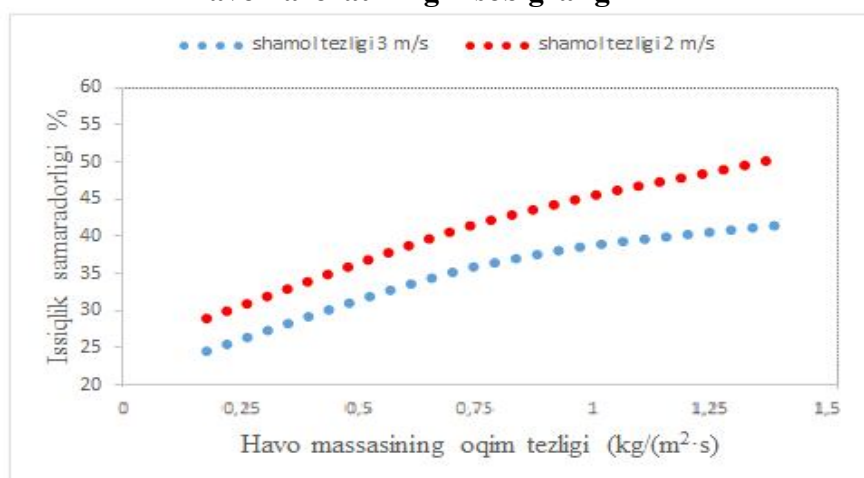


4-rasm. Quyosh semulyatori orqali tushayotgan nurlanishning ko'rsatgichlari [8], [4]

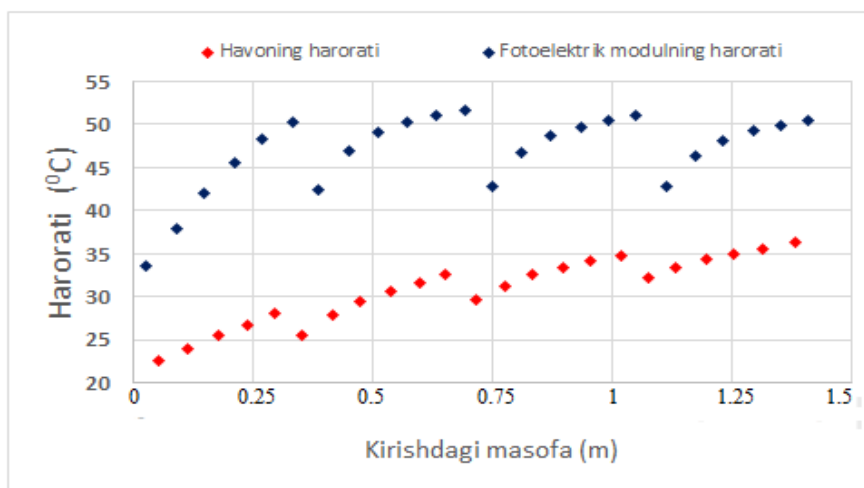
Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlarining issiqlik samaradorligi turli shamol tezligida taqqoslandi. Quyosh semulyatoridagi nurlanishining tushishi 880 dan 940 Vt/m^2 va atrof-muhit haroti havo massasining oqim tezligining o'zgarishi, shamol tezligi 2 m/s va 3 m/s bo'lganda atrof-muhit va fotoelektrik panel orqa yuzasidagi kollektorli tizimdan chiqayotgan havo haroratining o'zgarishi 5-6 rasmida keltirilgan.



5-rasm. Atrof-muhit va fotoelektrik panel orqa yuzasidagi kollektorli tizimdan chiqayotgan havo haroratining hisob grafigi



6-rasm. Binoga integratsiyalangan fotoelektrik/issiqlik tizimlar ostidagi konstruktiv qo‘llab-quvvatlovchi bo‘lgan izolyatsion qatlamdagi issiqlik samaradorligi



7-rasm. Oqim yo‘nalishi bo‘yicha fotoelektrik modul va havoning bo‘shliqdagi haroratning taqsimoti

Fotoelektrik panel va havo oqimining harorat o‘zgarishi 7-rasmda keltirilgan. Har bir yo‘nalishiga qarab, fotoelektrik panel va havo kanali o‘rtasidagi mahalliy issiqlik uzatish koeffitsiyenti 5~50 $W/(m^2 \cdot K)$ orasida o'zgarib turadi. Fotoelektrik panelning ventilyatsiya

(konveksiya) va atrofi bilan aralash issiqlik uzatish koeffitsiyenti $20 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ oralig'ida o'zgarib turadi.

Xulosa

Ushbu maqolada havo oqimi va fotoelektrik modullari o'rtasida issiqlik o'tkazuvchanligini yaxshilash uchun bir nechta kirish joylaridan foydalanadigan, binoga integratsiya qilingan fotoelektrik panellarning issiqlik tizimlari uchun takomillashtirilgan qurilma konsepsiyasi ishlab chiqilgan. Binoga integratsiya qilingan fotoelektrik panellarning issiqlik tizimlarining eksperimental prototiplari qurildi va quyosh simulyatori konsepsiyasining amalga oshirilishini va uning issiqlik uzatish xususiyatlarini o'rganish uchun foydalanildi.

Xona harorati va quyosh simulyatorini radiatsiyasi intensivligini hisobga olgan holda foto va foto-issiqlik o'zgartirgichli tizimdan oqib o'tayotgan havo harorati o'zgarishini aniqlash bo'yicha nazariy va tajribaviy tadqiqotlar o'tkazildi.

Binoga integratsiya qilingan fotoelektrik panellarning issiqlik tizimi, issiqlik samaradorligini bir kirishmali tizimga nisbatan 5% ga oshirishi mumkin va amalga oshirish oson hisoblanadi.

Adabiyotlar

- [1] L. Zhu, Q. Li, M. Chen, K. Cao, and Y. Sun, "A simplified mathematical model for power output predicting of Building Integrated Photovoltaic under partial shading conditions," *Energy Convers. Manag.*, vol. 180, no. November 2018, pp. 831–843, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2018.11.036.
- [2] A.G. Komilov. Yu.Z. Nasrullaev., "Influence of the Ambient on the Parameters of a Photovoltaic and Photovoltaic-thermal Converter Based on CIGS in Real Conditions," *Appl. Sol. Energy*, vol. 57, no. 1, pp. 16–22, 2021.
- [3] M. E. A. Slimani, M. Amirat, I. Kurucz, S. Bahria, A. Hamidat, and W. B. Chaouch, "A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: Comparative study under Algiers climatic conditions," *Energy Convers. Manag.*, vol. 133, pp. 458–476, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2016.10.066.
- [4] Yu.Z.Nasrullayev, "Quyosh batareyalarni parametrlari o'lchash uchun kichik o'lchamli quyosh simulyatorining nurlanish xarakteristikasi," *Innov. texnologiyalar, Maxsus son, 2022, ISSN 2181-4732*, pp. 118–121.
- [5] Yang.Tingting, "A numerical and experimental investigation of enhanced open - loop air-based Building - Integrated Photovoltaic / Thermal systems," *Build. Civ. Environ. Eng. Present.*, 2015.
- [6] F. Bayrak, N. Abu-Hamdeh, K. A. Alnefaie, and H. F. Öztop, "A review on exergy analysis of solar electricity production," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, no. March, pp. 755–770, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.03.012.
- [7] F. Spertino, J. Ahmad, A. Ciocia, and P. Di Leo, "Techniques and Experimental Results for Performance Analysis of Photovoltaic Modules Installed in Buildings," *Energy Procedia*, vol. 111, no. September 2016, pp. 944–953, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.257.
- [8] Sauer K.J. Roessler T. & Hansen C.W. (2015)., "Modeling the Irradiance and Temperature Dependence of Photovoltaic Modules in PVsyst. Photovoltaics.," *Photovoltaics. IEEE Journal;* 5(1), pp.152–158.
- [9] Akinyele D. Belikov J. Levron Y., "Battery Storage Technologies for Electrical Applications: Impact in Stand-Alone Photovoltaic Systems.," doi: <https://doi.org/10.3390/en10111760>.
- [10] A. H. Fanny, B. P. Dougherty, and M. W. Davis, "Performance and characterization of building integrated photovoltaic panels," *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, no. December, pp. 1493–1496, 2002, doi: 10.1109/pvsc.2002.1190893.