

UO‘K 662 997. 631.344

BILVOSITA QUYOSH QURITGICHINING QUYOSH HAVO KOLLEKTORIDAGI HAVO HARORATINING O‘ZGARISHINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH

Ibragimov Umidjon Xikmatullayevich – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori,
e-mail: ibragimov_u@rambler.ru

Ro‘ziqulov G‘ulom Yusupovich – doktorant (PhD), e-mail: gulom.roziqulov@bk.ru

Ergashev Shahriyor Hamidullayevich – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori,
e-mail: strong.shakhriyer@mail.ru

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

***Annotatsiya.** Hozirgi vaqtda bilvosita quyosh quritgichlari qishloq xo‘jalik mahsulotlarini quritishda keng qo‘llaniladi. Quyosh havo kollektori bilvosita quyosh quritgichlarining asosiy jihozlaridan biri bo‘lib, quritgichga uzatilayotgan havoni zarur haroratgacha qizdirib berish uchun xizmat qiladi. Ushbu tadqiqot ishida bilvosita quyosh quritgichi uchun ishlab chiqilgan quyosh havo kollektoridan oqib o‘tayotgan havo haroratini o‘zgarishini aniqlash imkonini beradigan matematik model taklif etilgan va matematik model bo‘yicha olingan nazariy natijalar tajribaviy tadqiqot natijalari bilan yetarlicha mos kelishi asoslangan. Shuningdek yilning may-oktabr oylarining xarakterli kunida o‘tkazilgan tadqiqotlar natijalari va ularni tahlili keltirilgan.*

***Kalit so‘zlar:** quyosh quritgichi, quyosh havo kollektori, havo, harorat, quyosh radiatsiyasi, issiqlik miqdori, issiqlik berish.*

УДК 662 997. 631.344

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СОЛНЕЧНОМ ВОЗДУШНОМ КОЛЛЕКТОРЕ НЕПРЯМОЙ СОЛНЕЧНОЙ СУШИЛКИ

Ибрагимов Умиджон Хикматуллаевич – доктор философии по техническим наукам,
e-mail: ibragimov_u@rambler.ru

Рузикулов Гулям Юсупович – докторант (PhD), e-mail: gulom.roziqulov@bk.ru

Эргашев Шахриёр Хамидуллаевич – доктор философии по техническим наукам,
e-mail: strong.shakhriyer@mail.ru

Каршинский инженерно-экономический институт, г Карши, Узбекистан

***Аннотация.** В настоящее время для сушки сельскохозяйственной продукции широко используются солнечные сушилки непрямого действия. Солнечный коллектор воздуха является одним из основных устройств не прямых солнечных сушилок и служит для нагрева воздуха, подаваемого в сушилку, до необходимой температуры. В статье предложена математическая модель для определения изменения температуры воздуха, протекающего через солнечный воздухооборник, разработанная для непрямого солнечной сушилки, и она была основана на том факте, что теоретические результаты, полученные с помощью математической модели, соответствуют с результатами экспериментальных исследований. Также представлены результаты исследования, проведенного в типичный день мая-октября месяца года, и их анализ.*

***Ключевые слова:** солнечный осушитель, солнечный коллектор воздуха, воздух, температура, солнечное излучение, количество тепла, теплоснабжение.*

UDC 662 997. 631.344

MATHEMATICAL MODELING OF AIR TEMPERATURE CHANGES IN THE SOLAR AIR COLLECTOR OF AN INDIRECT SOLAR DRYER

Ibragimov Umidjon Xikmatullayevich¹ – Doctor of Philosophy in technical Sciences,
e-mail: ibragimov_u@rambler.ru

Ruzikulov Gulyam Yusupovich¹ – Doctoral student (PhD), e-mail: gulom.roziqulov@bk.ru

Ergashev Shakhriyor Khamidullaevich¹ – Doctor of Philosophy in technical Sciences,
e-mail: strong.shakhriyor@mail.ru

Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. *Currently, indirect solar dryers are widely used for drying agricultural products. The solar air collector is one of the main equipments of indirect solar dryers and serves to heat the air supplied to the dryer to the required temperature. In this research work, a mathematical model was proposed to determine the temperature change of the air flowing through the solar air collector developed for an indirect solar dryer, and it was based on the fact that the theoretical results obtained by the mathematical model are in good agreement with the results of the experimental study. Also, the results of the research conducted on the typical day of May-October of the year and their analysis are presented.*

Keywords: *solar dryer, solar air collector, air, temperature, solar radiation, amount of heat, heat supply.*

Kirish

Bilvosita quyosh quritgichida mahsulotlarni talab etilgan namlik miqdorigacha quritishda harorat-namlik rejimlarini chuqur tadqiqot qilish uchun quritish kamerasidagi optimal harorat rejimining matematik modelini ishlab chiqish zarur. Ishlab chiqilayotgan matematik model quyosh havo kollektori (QHK) va quritish kamerasining geometrik parametrlarini, tashqi va ichki havoning issiqlik-texnik parametrlarini inobatga olgan holda quritish kamerasida harorat o'zgarishini ifodalashi kerak. Shuningdek, matematik modellashtirish tenglamalarining yechimi QHKda qizdirilayotgan havoning haroratini vaqtga va quyosh radiatsiyasi miqdoriga bog'liq holda aniqlash imkonini berishi kerak.

Bilvosita quyosh quritgichining havo kollektorida qizdirilayotgan havo haroratini o'zgarishini nazariy va tajribaviy tadqiqot qilish uchun yassi quyosh havo kollektorining tajriba qurilmasi ishlab chiqildi va tajriba sinovlaridan o'tkazildi. QHKning tajriba qurilmasi 1-rasmda ko'rsatilgan. QHK quyosh quritgich qurilmasiga uzatilayotgan havoni qizdirish uchun mo'ljallangan.

Ma'lumki, ko'pgina ilmiy ishlarda [1-7] turlicha konstruktiv yechimli quyosh kollektorli quritish kameralarida harorat va namlik rejimlarini modellashtirish masalalari yoritilgan. Taklif etilgan matematik modellar QHK va quritish kameralarining issiqlik va moddiy balanslariga asoslangan bo'lib, ulardan QHK va quritish kamerasida sodir bo'ladigan issiqlik va massa almashinuv jarayonlarini tadqiqot qilishda foydalanish mumkin. QHKlarini modellashtirish bo'yicha tahliliy ma'lumotlar [8-12] tadqiqot ishlarida keltirilgan.

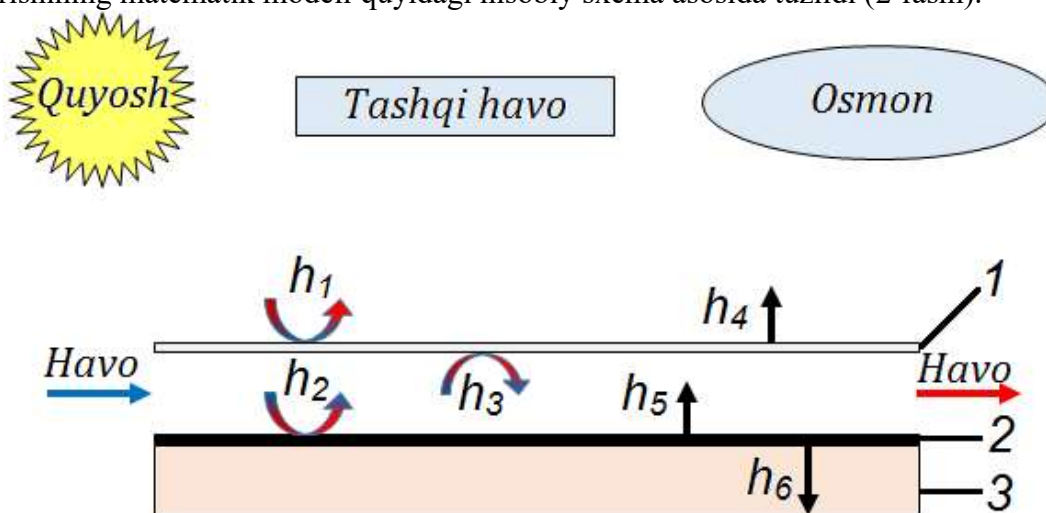
Hozirgi vaqtda QHKning bir nechta modellari mavjud bo'lib, u asosan to'rtta qismdan iborat:

- shaffof qoplama (shisha) – quyosh energiyasini o'tkazadi va absorberdan issiqlik yo'qotilishini kamaytiradi;
- yassi absorber – quyosh energiyasini yutadi va issiqlik tashuvchiga (havo) uzatadi;
- issiqlik tashuvchi (havo) – kollektor orqali o'tadi va absorberdagi issiqlikni olib ketadi;
- issiqlik izolyatsiyasi – kollektorning yon va orqa tomonlaridan issiqlik yo'qotilishini kamaytiradi.



1-rasm. QHK tajriba qurilmasining umumiy ko‘rinishi

Ushbu tadqiqot ishida QHK orqali oqib o‘tayotgan havoning haroratini shaffof qoplama va absorber yuzasidagi haroratga bog‘liq holda vaqt bo‘yicha o‘zgarishini matematik modeli taklif etilgan. QHKdagi havo haroratini matematik modellashtirishning asosiy maqsadi quyosh quritgichiga kirayotgan havoning optimal harorat rejimini aniqlash hisoblanadi. QHKdagi havo harorati o‘zgarishining matematik modeli quyidagi hisobiy sxema asosida tuzildi (2-rasm).



2-rasm. Quyosh havo kollektorining hisobiy sxemasi:
1-shaffof qoplama (shisha); 2-absorber; 3-issiqlik izolyatsiyasi.

Matematik model quyidagi taxminlar asosida ishlab chiqildi:

1. QHK barqaror rejimda ishlaydi.
2. Quyosh radiatsiyasi 1 soat vaqt qadami davomida o‘zgarmas.
3. QHK gorizontal tekislikka nisbatan 39° burchak ostida o‘rnatilgan.
4. Havo oqimi bir yo‘nalishli va QHK kanali bo‘yicha havoning massaviy sarfi o‘zgarmas.
5. Absorber va izolyatsiya orasidagi radiatsion issiqlik uzatish juda kichik bo‘lganligi sababli inobatga olinmaydi.

Shaffof sirt uchun energiya balansi tenglamasi:

$$Q_{sh} = I_{sh} + Q_{r.ab-sh} - Q_{k.sh-h} - Q_{k.sh-t.m} - Q_{r.sh-o} \tag{1}$$

bu yerda Q_{sh} -shaffof qoplamada akkumulyatsiyalangan issiqlik oqimi, Vt ; I_{sh} -shaffof qoplama yutilgan quyosh nurlanish oqimi, Vt ; $Q_{r.ab-sh}$ -absorber va shaffof qoplama orasidagi radiatsion issiqlik oqimi, Vt ; $Q_{k.sh-h}$ -shaffof qoplama va havo orasidagi konvektiv issiqlik oqimi, Vt ; $Q_{k.sh-t.m}$ -shaffof

qoplama va tashqi muhit orasidagi konvektiv issiqlik oqimi, Vt ; $Q_{r.sh-0}$ -shaffof qoplama va osmon orasidagi konvektiv issiqlik oqimi, Vt .

(1) tenglamaning asosiy tashkil etuvchilarini qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\rho_{sh} V_{sh} c_{psh} \frac{dt_{sh}}{dt} = \alpha_{sh} S_{sh} A_{sh} + h_5(t_{ab} - t_{sh}) A_{ab} - \dot{z} - h_3(t_{sh} - t_h) A_{sh} - (h_1 + h_4)(t_{sh} - t_{t.m}) A_{sh} \quad (2)$$

bu yerda ρ_{sh} -shaffof qoplama zichligi, $\rho_{sh} = 2500 \text{ kg/m}^3$; V_{sh} -shaffof qoplama hajmi, $V_{sh} = 2,8 \times 0,9 \times 0,005 = 0,0126 \text{ m}^3$; c_{psh} -shaffof qoplamaning solishtirma issiqlik sig'imi, $c_{psh} = 840 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$; α_{sh} -shaffof qoplamani yutish koeffitsiyenti, $\alpha_{sh} = 0,06$; S-shaffof qoplama yuzasiga tushayotgan quyosh nurlanish oqimi zichligi, Vt/m^2 ; A_{sh} -shaffof qoplama yuzasining maydoni, $A_{sh} = 2,52 \text{ m}^2$; h_5 -absorberdan shaffof qoplamaga radiatsion issiqlik almashinuv koeffitsiyenti, $Vt/(m^2^\circ\text{C})$; t_{ab} va t_{sh} -absorber va shaffof qoplama yuzasidagi haroratlar, $^\circ\text{C}$; A_{ab} -absorber yuzasining maydoni, $A_{ab} = 2,77 \text{ m}^2$; A_{sh} -shaffof qoplama yuzasining maydoni, m^2 ; h_3 -shaffof qoplama va absorber orasidan oqib o'tayotgan havo uchun konvektiv issiqlik almashinuv koeffitsiyenti, $Vt/(m^2^\circ\text{C})$; t_h -havo harorati, $^\circ\text{C}$; h_1 -shamol hisobiga shaffof qoplamadan konvektiv issiqlik almashinuv koeffitsiyenti, $Vt/(m^2^\circ\text{C})$; h_4 -shaffof qoplamadan osmonga nurlanishli issiqlik almashinuv koeffitsiyenti, $Vt/(m^2^\circ\text{C})$; $t_{t.m}$ -tashqi muhit harorati, $^\circ\text{C}$.

Absorber uchun energiya balansi tenglamasi:

$$Q_{ab} = I_{ab} - Q_{r.ab-sh} - Q_{k.ab-h} - Q_{kon.ab-t.m} \quad (3)$$

bu yerda Q_{ab} -absorberda akkumulyatsiyalangan issiqlik oqimi, Vt ; I_{ab} -absorberga yutilgan quyosh nurlanish oqimi, Vt ; $Q_{r.ab-sh}$ -absorber va shaffof qoplama orasidagi radiatsion issiqlik oqimi, Vt ; $Q_{k.ab-h}$ -absorber va havo orasidagi konvektiv issiqlik oqimi, Vt ; $Q_{kon.ab-t.m}$ -absorber va tashqi muhit orasidagi konduktiv issiqlik oqimi, Vt .

(3) tenglamaning asosiy tashkil etuvchilarini qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\rho_{ab} V_{ab} c_{pab} \frac{dt_{ab}}{dt} = \tau_{sh} \alpha_{ab} S_{ab} A_{ab} - h_5(t_{ab} - t_{sh}) A_{ab} - h_2(t_{ab} - t_h) A_{ab} - h_6(t_{ab} - t_{t.m}) A_{ab} \quad (4)$$

bu yerda ρ_{ab} -absorber materialining zichligi, $\rho_{ab} = 2530 \text{ kg/m}^3$; V_{ab} -absorber hajmi, $V_{ab} = 2,8 \times 0,9 \times 0,003 = 0,0076 \text{ m}^3$; c_{pab} -absorber materialining solishtirma issiqlik sig'imi, $c_{pab} = 860 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$; τ_{sh} -shaffof qoplamaning o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, $\tau_{sh} = 0,84$; α_{ab} -absorberni yutish koeffitsiyenti, $\alpha_{ab} = 0,95$; S_{ab} -absorber yuzasiga tushayotgan quyosh nurlanish oqimi zichligi, Vt/m^2 ; h_2 -shaffof qoplama va absorber orasidagi havo uchun konvektiv issiqlik almashinuv koeffitsiyenti, $Vt/(m^2^\circ\text{C})$; h_6 -issiqlik izolyatsion material orqali konduktiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $Vt/(m^2^\circ\text{C})$.

Kollektor ichidan oqib o'tayotgan havo uchun energiya balansi tenglamasi:

$$Q_h = Q_{k.sh-h} + Q_{k.ab-h} \quad (5)$$

bu yerda Q_h -havoga uzatilgan foydali energiya, Vt ; $Q_{k.sh-h}$ -shaffof qoplama va havo orasidagi konvektiv issiqlik oqimi, Vt ; $Q_{k.ab-h}$ -absorber va havo orasidagi konvektiv issiqlik oqimi, Vt .

(5) tenglamaning asosiy tashkil etuvchilarini qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\rho_h V_h c_{ph} \frac{dt_h}{dt} = h_3(t_{sh} - t_h) A_{sh} + h_2(t_{ab} - t_h) A_{ab}, \quad (6)$$

bu yerda ρ_h -havoning zichligi, $\rho_h = 1,165 \text{ kg/m}^3$; V_h -havoning hajmiy sarfi, m^3/s ; c_{ph} -havoning solishtirma issiqlik sig'imi, $c_{ph} = 1005 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$ [13,14].

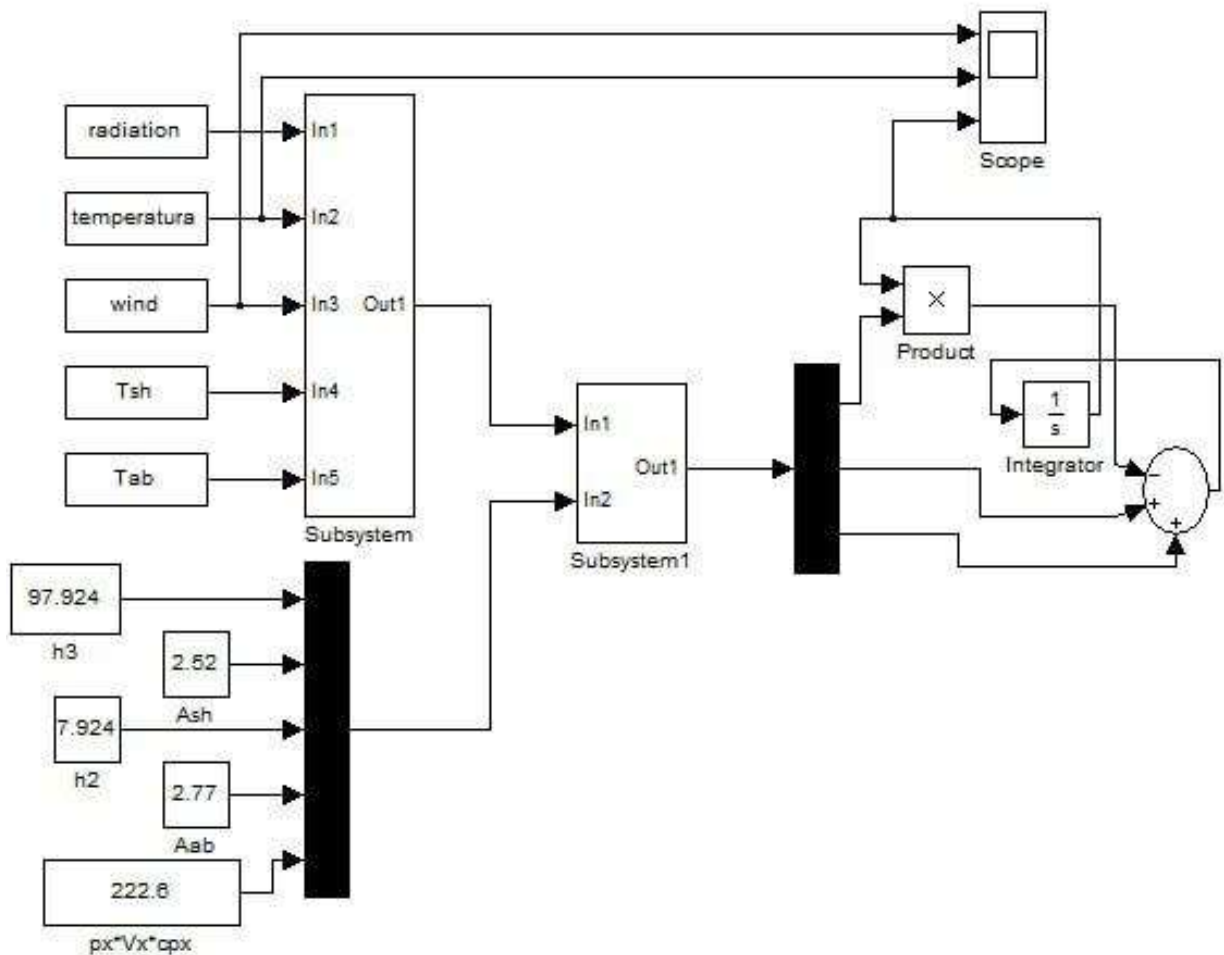
(6) tenglamani $\frac{dt_h}{dt}$ ga nisbatan yechib, QHKda havo haroratini vaqt bo'yicha o'zgarishini aniqlash imkonini beradigan (7) tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\frac{dt_h}{dt} = \frac{-h_3 A_{sh} + h_2 A_{ab}}{\rho_h V_h c_{ph}} t_h + \frac{h_x A_{ab}}{\rho_h V_h c_{ph}} t_{ab} + \frac{h_3 A_{sh}}{\rho_h V_h c_{ph}} t_{sh}. \tag{7}$$

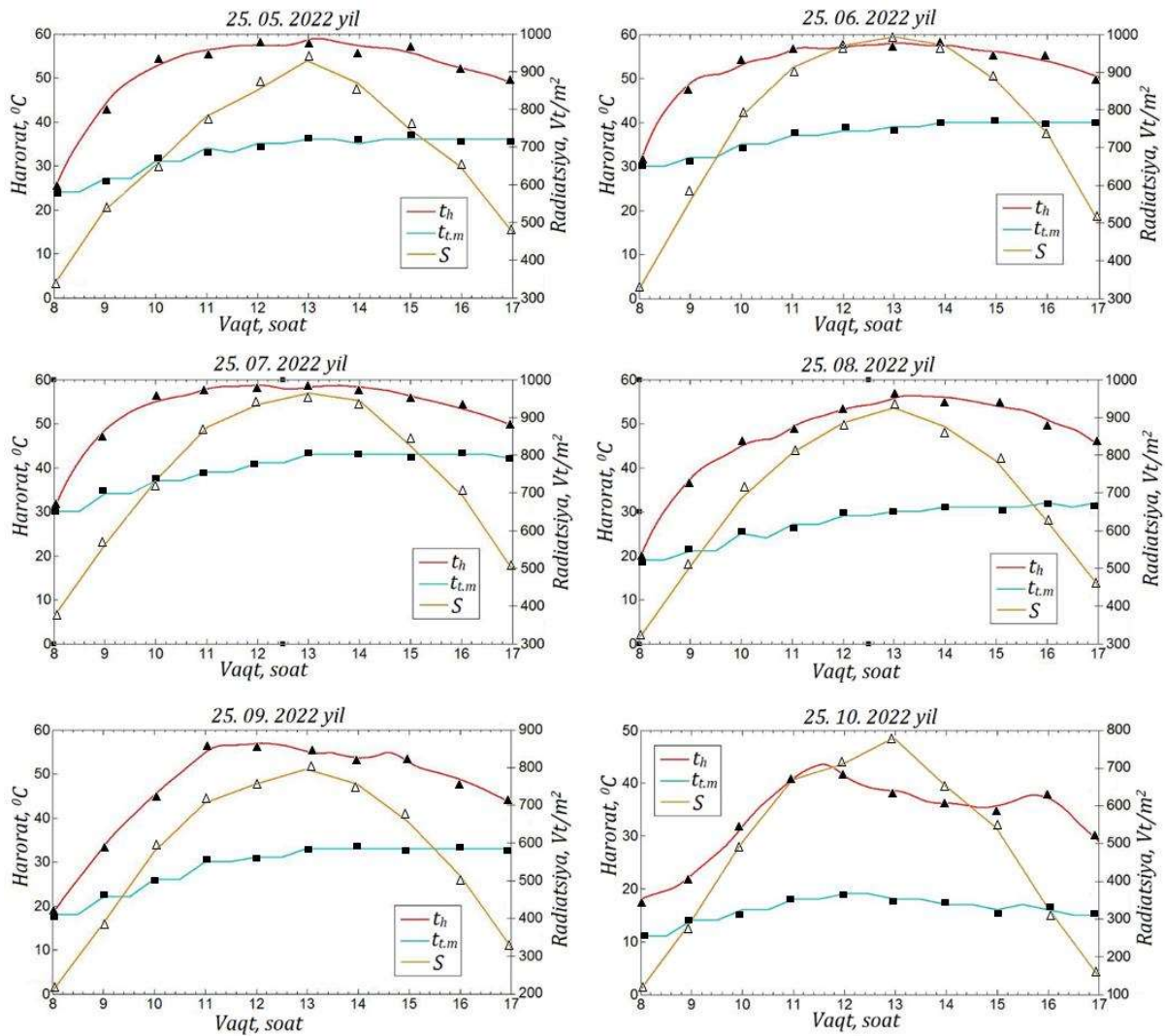
(7) tenglamani yechish uchun Matlab/Simulink dasturi yordamida blok sxema qurildi (3-rasm). QHKda havo harorati o'zgarishini matematik modellashtirishni hisoblash natijalari 4-rasmda ko'rsatilgan.

4-rasmda QHKdan oqib o'tayotgan havo haroratini yilning xarakterli kunlardagi o'zgarishlari natijalari ko'rsatilgan. Grafiklardan ko'rinib turibdiki, qizdirilayotgan havoning haroratini o'zgarishi tashqi muhit havosi harorati va quyosh radiatsiyasi intensivligini o'zgarishiga bog'liq.

25.05.2022-yildagi natijalarga ko'ra tashqi havo harorati 24...36 °C, quyosh radiatsiyasi intensivligi soat 8⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha vaqt oralig'ida 6,82 kVt/m² ni tashkil etgan. QHKda harakatlanayotgan havo harorati soat 10⁰⁰ gacha jadal sur'atda ko'tarilgan va harorati 52 °C ga yetgan, soat 11⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha o'rtacha 55 °C harorat saqlanib qolgan. Demak shu vaqt oralig'ida quritgichga kiritilayotgan havoni to'liq quyosh energiyasi yordamida qizdirish mumkin.



3-rasm. QHKda havo haroratini hisoblashning matematik modelini Matlab/Simulink dasturidagi blok sxemasi



4-rasm. QHKdan oqib o‘tayotgan havoning haroratini o‘zgarishi:

t_h -havo harorati; $t_{t,m}$ -tashqi muhit havosi harorati; S -quyosh radiatsiyasi intensivligi, Vt/m^2 ; Δ , \square , \circ -tajriba tadqiqoti natijalari.

25.06.2022-yildagi natijalarga ko‘ra tashqi havo harorati 30...40 °C, quyosh radiatsiyasi intensivligi soat 8⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha vaqt oralig‘ida 7,93 kVt/m² ni tashkil etgan. QHKda harakatlanayotgan havo harorati soat 9⁰⁰ gacha jadal sur‘atda ko‘tarilgan va soat 11⁰⁰ dan 16⁰⁰ gacha bir xil o‘rtacha 55 °C harorat saqlangan.

25.07.2022-yildagi natijalarga ko‘ra tashqi havo harorati 30...42 °C, quyosh radiatsiyasi intensivligi soat 8⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha vaqt oralig‘ida 7,46 kVt/m² ni tashkil etgan. QHKda harakatlanayotgan havo harorati soat 9⁰⁰ gacha jadal sur‘atda ko‘tarilgan va harorati 50 °C ga yetgan, soat 10⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha o‘rtacha 57 °C harorat saqlanib qolgan.

25.08.2022-yildagi natijalarga ko‘ra tashqi havo harorati 19...32 °C, quyosh radiatsiyasi intensivligi soat 8⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha vaqt oralig‘ida 6,81 kVt/m² ni tashkil etgan. QHKda harakatlanayotgan havo harorati nisbatan sekinroq ko‘tarilgan va soat 13⁰⁰ da harorat 55 °C ga yetgan, soat 17⁰⁰ gacha o‘rtacha 45 °C gacha pasaygan. Bu avgust oyida quritish uchun zarur havo haroratini ta‘minlash uchun quyosh radiatsiyasi intensivligi va tashqi muhit havosi haroratini pastligi bilan bog‘liq.

25.09.2022-yildagi natijalarga ko‘ra tashqi havo harorati 18...33 °C, quyosh radiatsiyasi intensivligi soat 8⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha vaqt oralig‘ida 5,62 kVt/m² ni tashkil etgan. QHKda harakatlanayotgan havo harorati nisbatan sekinroq ko‘tarilgan va soat 11⁰⁰ dan 14⁰⁰ gacha o‘rtacha 55 °C harorat saqlanib turgan, soat 17⁰⁰ gacha o‘rtacha 45 °C gacha pasaygan.

25.10.2022-yildagi natijalarga ko‘ra tashqi havo harorati 11...15 °C, quyosh radiatsiyasi intensivligi soat 8⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha vaqt oralig‘ida 3,81 kVt/m² ni tashkil etgan. QHKda harakatlanayotgan havo harorati sekin ko‘tarilgan va kun davomida haroratni keskin o‘zgarib turishi kuzatilgan. Bu bevosita tashqi muhit havosining haroratini pastligi va shamol tezligini nisbatan yuqori bo‘lganidan yuzaga kelgan.

Xulosa

1. Tashqi muhit va quyosh radiatsiyasi intensivligini hisobga olgan holda QHKdan oqib o‘tayotgan havoning haroratini hisoblash imkonini beradigan matematik model ishlab chiqildi.

2. Yilning may-oktabr oylarining xarakterli kunlarida QHKda havo harorati o‘zgarishini aniqlash bo‘yicha nazariy va tajribaviy tadqiqotlar o‘tkazildi, olingan tajriba natijalarini model natijalari yetarli aniqlikda mos kelishi aniqlandi.

3. May-oktabr oylarining 25 kunida o‘tkazilgan tajriba natijalari grafik shaklida umumlashtirildi va tahlil qilindi. Tahlil natijalariga ko‘ra QHKdan soat 10⁰⁰ dan 16⁰⁰ gacha to‘liq foydalanish mumkinligi aniqlandi.

Adabiyotlar

- [1] Akpinar E.K. Mathematical modelling and experimental investigation on sun and solar drying of white mulberry. *J Mech. Sci. Technol.* (2008) 22:1544–1553.
- [2] Akpinar E.K., Bicer Y. Modeling of the drying of eggplants in thin-layers. *Int. J Food Sci. Technol.* (2005) 40:273–281.
- [3] Akpinar E.K., Bicer Y. Mathematical modeling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun. *Energy Convers Manag.* (2008) 49:1367–1375.
- [4] Bahnasawy A.H., Shenana M.E. A mathematical model of direct sun and solar drying of some fermented dairy products (Kishk). *J Food Eng.* (2004) 61(3):309–319.
- [5] Fudholi A., Ruslan M.H., Othman M.Y., Zaharim A., Sopian K. Mathematical modeling of solar drying of thin layer Ginger. Kuala Lumpur, Malaysia, April 2-4, 2013, pp 273–278. ISBN:978-1-61804-175-3.
- [6] Ismail M.A., Ibn Idriss E.M. Mathematical modelling of thin layer solar drying of whole okra pods. *Int. Food Res J* (2013) 20(4):1983–1989.
- [7] Onwude D.I., Hashim N., Janius R.B., Nawi N.M., Abdan K. Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: a review. *Compr. Rev Food Sci. Food Saf.* (2016) 15(3):599–618.
- [8] Rene Tchinda. A review of the mathematical models for predicting solar air heaters systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 1734–1759.
- [9] Ong KS. Thermal performance of solar air heaters: mathematical model and solution procedure. *Solar Energy* 1995;55 (2):93–109.
- [10] Paisarn N, Kongtragool B. Theoretical study on heat transfer characteristics and performance of the flat-plate solar air heaters. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2003;30 (8):1125–36.
- [11] Ammari H.D. A mathematical model of thermal performance of a solar air heater with slats. *Renewable Energy* 2003; 28:1597–615.
- [12] Ergashev S. H., Fayziev T. A., Khusenov A. A. Mathematical modeling of heat regime of underground heat accumulator //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2023. – T. 2612. – №. 1.
- [13] Nematov I. L. et al. Quyosh hajmiy havo qizdirish kollektorli quritgichda mevalarni quritish jarayonida issiqlik-massa almashinuvi jarayonlarini tadqiq qilish //Muqobil energetika. – 2022. – T. 1. – №. 04. – S. 57-62.
- [14] Чориева С. Ю. и др. Применение тепловых насосов для теплоснабжения сельскохозяйственных сооружений //современные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса. – 2021. – С. 143-145.