



UDK: 536.24

A'zam PAYZULLAEV,

*O'zRFA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti tayanch doktoranti
E-mail: Payzullayev214@gmail.com*

Shavkat NURMATOV,

O'zRFA Materialshunoslik instituti katta ilmiy xodimi

Suxrob TELLYAYEV,

O'zRFA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti kichik ilmiy xodimi

Sirojiddin MIRZAYEV,

O'zRFA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti professori,

O'zRFA vitse-prezidenti, Fizika-matematika fanlari doktori,

O'zRFA akademigi, f.-m.f.d, prof., S.A.Baxramov taqrizi asosida

SUVNING BUG'LANISH JARAYONIGA SiO₂ NANOZARRALARINING TA'SIRI

Аннотация

Ushbu maqolada chiziqli o'lchami 16 nm bo'lgan SiO₂ nanozarralari va suvdan tashkil topgan nanosuyuqlikning sirti bug'lanish paytidagi massa almashinuv jarayoni eksperimental tadqiqot natijalari taqdim etilgan. Nanosuyuqliklardagi nanozarralarning turli massaviy (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 3, 5)% konsentratsiyalarda bug'lanish tezligi o'zgarish bosim va 40 °C temperaturada STA PT1600 (LINSEIS) sinxron termal analizatorida o'rganildi. Tadqiqot natijalaridan ma'lum bo'ldiki, barcha o'rganilgan konsentratsiyalar uchun asos suyuqligi bo'lgan suv va nanosuyuqlikning massa almashinuv jarayoni chiziqli qonuniyatga bo'ysinadi. SiO₂ nanozarralari o'zlarining asosiy suyuqligi ya'ni suvning bug'lanish tezligini, 0.1 % massaviy konsentratsiyagacha kamaytirishi kuzatildi, ammo nanozarralarning suvdagi oraliq konsentratsiyasida 0.5 % massaviy konsentratsiyagacha bug'lanish tezligini oshib, nanozarralarning yuqori, 1 % massaviy konsentratsiyalaridan keyin, o'zgarishligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: Nanosuyuqlik, kremniy dioksid nanozarrachasi, bug'lanish tezligi, termal analizator.

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ SiO₂ НА ПРОЦЕСС ИСПАРЕНИЕ ВОДЫ

Аннотация

В данной статье представлены результаты экспериментального исследования процесса массообмена при поверхностном испарении наножидкости состоящей из воды с наночастицами SiO₂ с линейным размером 16 нм. Скорость испарения изучали на синхронном термоанализаторе STA PT1600 (LINSEIS) при постоянном давлении и температуре 40 °C в наножидкостях при различных массовых (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 3, 5) % концентрациях наночастиц. По результатам исследований стало ясно, что процесс массообмена наножидкости, и воды являющейся базовой жидкостью, протекает по линейному закону для всех исследованных концентраций. Наночастицы SiO₂ снижали скорость испарения исходной жидкости, воды, до концентрации 0,1 мас. %, но увеличивали скорость испарения при промежуточных концентрациях наночастиц в воде до концентрации 0,5 мас. % и после концентрации наночастиц, 1 мас.% оставались неизменными.

Ключевые слова: Наножидкость, наночастицы диоксида кремния, скорость испарения, термоанализатор.

EFFECT OF SiO₂ NANOPARTICLES ON WATER EVAPORATION PROCESS

Annotation

The manuscript presents the results of an experimental study of the mass transfer process during surface evaporation of nanofluid consisting of water and SiO₂ nanoparticles with a linear size of 16 nm. The evaporation rate nanofluids at different mass (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 3, 5) % concentrations of nanoparticles was studied in a STA PT1600 (LINSEIS) synchronous thermal analyzer at constant pressure and temperature of 40 °C. From the results of the research, it became clear that the mass exchange process of nanofluid and base liquid water, follows a linear law for all studied concentrations. SiO₂ nanoparticles were observed to reduce the evaporation rate of their parent liquid, water, up to a concentration of 0.1 mass %, but increased the evaporation rate at intermediate concentrations of nanoparticles in water up to concentration of 0.5 mass %, and after high concentrations of nanoparticles, 1 mass % remained unchanged.

Key words: Nanofluid, silicon dioxide nanoparticle, evaporation rate, thermal analyzer.

Kirish. So'nggi o'n yilliklarda asosi suv bo'lgan nanosuyuqliklarda bug'lanish jarayoni ilmiy jihatdan dolzarb bo'lmoqda va bu eng muhim, fundamental kinetik va termodinamik xususiyatlardan biri bo'lib, diffuziya va sirt xossalari asosiy tushunchalarini o'rganish imkonini beradi. Bundan tashqari, nanosuyuqliklarda suv bug'lanishini o'rganish DNK qadoqlari, oqsillarni quritish jarayonlari va dori vositalarini yetkazib berishni o'rganish, shuningdek, suvga asoslangan

qoplamalarni, suvda eruvchan pestitsidlar va biotsidlarni, gerbitsidlarni quritish uchun potentsial qo'llanilishini o'rganish uchun ajoyib model bo'lib xizmat qiladi [1].

Suvning bug'lanish tezligi, o'simliklarni himoya qilish samaradorligidan boshlab to dori ishlab chiqarish tezligiga va hatto suvga asoslangan qoplamalarni quritishga qadar bo'lgan ko'plab texnologiyalar uchun, muhim iqtisodiy ahamiyatga ham ega.

Erkin suyuqlik yuzasidan bug'lanish tezligini o'rganish uchun turli usullar taklif qilingan va tadqiqotlar olib borilgan [6]. Nanotexnologiyaning yuqori suratlarda rivojlanishi tufayli hozirgi vaqtda nanosuyuqlik deb ataladigan asosiy suyuqlikka o'lchamlari (1 nm dan 100 nm) gacha nanozarrachalarni qo'shish orqali suv [9] va suyuq yoqilg'ining [11] bug'lanish tezligini boshqarish imkoniyati katta qiziqish uyg'otmoqda. Nanozarrachalar yuqori sirt maydoni va hajm nisbatiga ega shuning uchun asosiy suyuqlikdagi nanozarrachalarning mavjudligi asosiy suyuqlikning sirt tarangligi va qovushqoqligi kabi fizikaviy xususiyatlariga ta'sir qiladi [12]. Nanozarrachalar, zarralar va suyuqlik molekulari o'rtasidagi o'zaro ta'sir va to'qnashuvni kuchaytiradi [16]. Ushbu o'ziga xos xususiyatlar tufayli nanozarracha ko'rinishidagi qo'shimchalar suyuqlikning bug'lanishiga ta'sir qilishi taxmin qilinmoqda. Suyuqliklarning bug'lanish tezligini o'rganib chiqib, tahlil qilishda asosan sirt taranglik ko'effitsiyentining o'zgarishini hisobga olish kerakligini ta'kidlash muhimdir.

Sefian va Bennaser [11] alyuminiy nanozarrachalari etanolga qo'shilganda uning asosiy suyuqligi etanol bilan solishtirganda tomchilarning bug'lanish tezligini pasayishiga olib kelishini ko'rsatdi. Alyuminiy oksidi nanozarrachalarining (asosiy suyuqlik sifatida toza suvda) sirt tarangligi va faza o'zgarishi hodisalariga, shu jumladan nanosuyuqlikning bug'lanishiga ta'siri Madhusoodanan va boshqalar [10] tomonidan eksperimental ravishda o'rganildi. Ularning tajribalari shuni ko'rsatdiki, nanozarrachalar qo'shilishi bilan sirt tarangligi ortib borishini va ular nanosuyuqlikning bug'lanish tezligi toza suvga nisbatan kamroq ekanligini ham kuzatdilar.

A.D.Nazarov va boshqalar [17] kremniy dioksidi zarrachalari (10 nm, 0,1% masaviy) bilan hosil qilingan nanosuyuqlik tomchilarining bug'lanishini eksperimental ravishda o'rgandilar. Nanosuyuqlik tomchilari asosiy suyuqlik tomchilariga qaraganda sekinroq bug'lanishi ko'rsatilgan.

Nanozarrachalar o'zining asosiy suyuqligini bug'lanish xossalarini o'zgartrishini o'rganish natijalari bir-biriga ziddiyatli ekanligi e'lon qilingan maqolalarda o'z aksini topgan. Bug'lanish tezligini o'rganish uchun ishlatiladigan ko'pgina nanosuyuqliklar bir xillikka ega emas va shuning uchun takrorlanadigan namunalarni olish qiyin [18]. Yana bir muammo - nanosuyuqliklarning barqarorligi yo'qligi. O'rganilayotgan namunadagi nanozarrachalar foizi yuqori darajaga yetganda, ko'pchilik nanozarrachalar Van der Waals kuchlari [19] ta'sirida agregatsiyaga moyil bo'ladi va mikrostruktura yoki konfiguratsiyani o'zgartiradi.

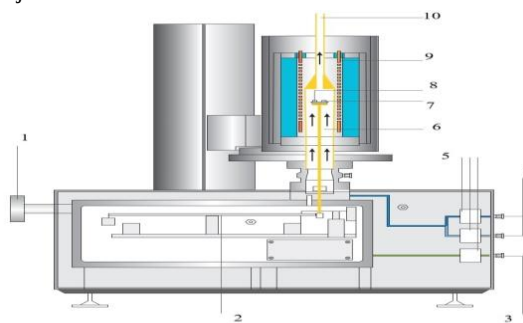
Ushbu ishda tarkibida nanozarrachalari bo'lgan suyuqliklarning bug'lanish tezligi ortishi yoki, kamayishi xossasi nanozarrachaning turli konsentratsiyalari uchun eksperimental tadqiq qilindi.

Tajriba qurilmasi va tafsilotlari.

Bu ishda nanozarracha massaviy konsentratsiyasi (0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 1, 3, 5) % bo'lgan nanosuyuqliklar ishlatilgan. O'rtacha nanozarracha o'lchami 16 nm bo'lgan kremniy dioksidi nanozarralari (Evonik Aerosil 200 – Fumed silica aerosol 200, Germaniya) deionizatsiyalangan suvga qo'shildi, suv asosiy suyuqlik sifatida ishlatilgan. Ma'lum bir nanozarracha konsentratsiyasiga ega bo'lgan nanosuyuqlikni tayyorlash uchun suv va nanozarrachalar EP 214C Explorer Pro (Ohaus, AQSh) elektron tarozida 0,01 mg o'lchov xatoligi bilan tayyorlandi. Keyin nanozarrachalar va asosiy suyuqlik mexanik aralashtirildi. Suvdagi nanozarralarning dastlabki aglomeratsiyasini oldini olish uchun (Ultrasonic disintegrator type UD-11 automatic) disintegratordan foydalanildi. Disintegratorda (quvvati 100 Wt va 22 kHz) nanozarralarning suyuqlik hajmida teng ravishda dispersiyalash uchun eng optimal davomiylik vaqti sifatida 20 min disperegatsiya qilindi.

Hosil bo'lgan nanosuyuqlikning bug'lanish xossalari termal analizator STA PT1600 (LINSEIS, Germaniya) avtomatlashtirilgan qurilmada o'rganildi. (1-rasm)

Termogravimetrik analiz massa o'zgarishi, kinetik tahlil uchun ishlatiladigan eng keng tarqalgan usuldir [20-21]. Ushbu usul o'rganilayotgan namunaning ma'lum haroratda yoki dasturlashtirilgan haroratda massa yo'qotilishini baholashga asoslanadi [20]. Termogravimetrik analiz usuli massa o'zgarishini aniq o'lchashni ta'minlab, juda kichik namuna hajmlarida ham tadqiqotlar olib borishga imkon berib, ushbu tadqiqot uchun juda mos vosita hisoblanadi.



1 - rasm. Termal analizator: 1-Vakuum burchagi, 2-Tarozi yelkasi, 3-Gazni tozalash kanali, 4-Gaz berish kanali, 5-Gazlar oqimini nazorat qilish tizimi, 6-Gaz oqimi, 7- O'rganilayotgan suyuqlik, 8- Namuna, 9-Isitgich, 10-qo'shimcha EGA (FTIR/MS/GC-MS)

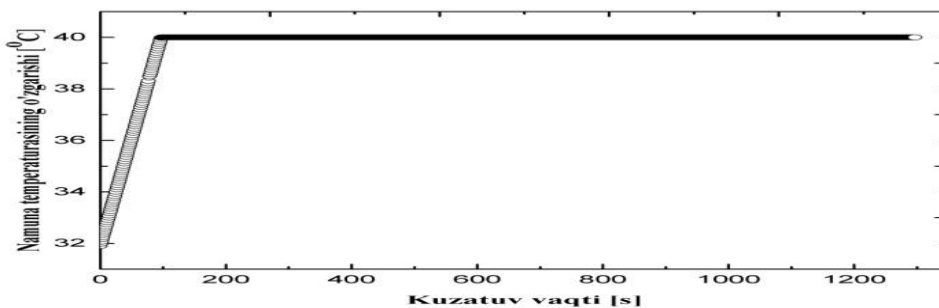
Qurilmaning o'lchash harorat diapazoni: -150 dan 1750 °C gacha, isitish tezligi: 0,1 dan 100 °C/min gacha. Namuna qo'yiladigan idishning ichki hajmi 0.12 ml bo'lgandan foydalanildi. (2-rasm)



2-rasm. Namuna qo'yiladigan idish.

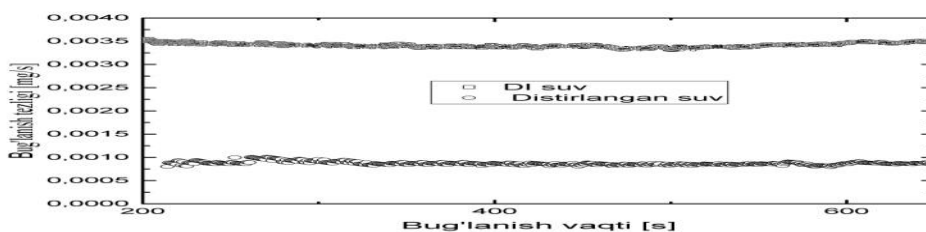
Tajriba izolyatsiyalangan xonada o'tkazilganligi sababli gaz oqimidan foydalanilmadi. Namunalar idishiga solinib, qopqog'i yopilib 313 K o'zgaras temperaturada 20 min vaqt davomida massa yo'qotishi o'lchandi. Idishni ishlatish juda ehtiyotkorlik bilan bajarilishi kerak, idishning har qanday shikastlanishi idishni almashtirish va qayta kalibrlashni qayta amalga oshirishga olib keladi. Idishning shikastlanishi yoki ifloslanishi tufayli o'zgarmaganligini nazorat qilish uchun deionizatsiyalangan suvda muntazam ulchashlar amalga oshirildi.

Ekspperimental natijalar va muhokama. Qurilma boshqariladigan avtomatlashtirilgan tizim orqali namunaga beradigan issiqlik energiyasi o'rganilayotgan suyuqlikni (DI suvni) xona haroratidan 1 grad/min tezlik bilan ma'lum vaqtda 40°C haroratgacha olib chiqadi va shu temperaturani o'zgaras holda saqlaydi (3-rasm).



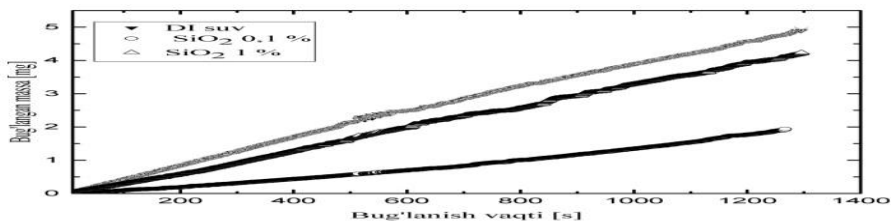
3-rasm. Idishdagi deionizatsiyalangan suvning temperaturasi vaqtga bog'liq o'zgarishi.

Bug'lanish jarayonining dastlabki bosqichida namuna solinadigan idishning ichidagi to'yingan bug' bosimi ortib, vaqtning ma'lum qismidan keyin, to'yingan bug' bosimi ham o'zgaras holatni egallaydi. Natijada vaqtga bog'liq suyuqlik yuzasidan ajralib chiqayotgan bug' molekullari soni ham o'zgaras va bu bug'lanish tezligining grafigi to'g'ri chiziqdan (4-rasm) iborat bo'lishini ta'minlaydi. Dastlab, namuna solinadigan idishga biror miqdorda deionizatsiyalangan va distillangan suv solinib, ularning bug'lanish xossasi yopiq (izolyatsiyalangan) sistemada 10 marta takroran o'rganildi. Umumiy olingan natijalardan ma'lum bo'ldiki, olingan natijalar o'rtasida katta farq yo'q. Lekin distillangan va deionizatsiyalangan suvlarning bug'lanish tezliklarining son qiymatlari bir-biridan katta, taqriban 4 barobar, farq qildi, $k_{DI}=3,5 \mu\text{g/s}$, $k_{DS}=0,85 \mu\text{g/s}$. Deionizatsiyalangan suvning bug'lanish tezligi standart sifatida ko'rsatilgan. Ma'lumotlar har 1 soniyada yig'ildi, sekundiga juda oz miqdordagi massa yo'qolishi va kichik miqdordagi tebranish bilan ma'lumotlarda sezilarli darajada shovqin kuzatildi. O'lchash jarayonining boshi va oxirgi daqiqalaridagi suvning bug'lanish tezligi natijalarida nisbatan katta noturg'unlik kuzatildi. Kuzatuv vaqti 200 dan 800 s oralig'ida bo'lgan o'lchovlar uchun skanerlash vaqtida noturg'unlik juda kichik bo'lib, ushbu kuzatuv vaqti oralig'ida ma'lumotlar ishonchliroq bo'lishi aniqlandi.



4-rasm. Distillangan va deionizatsiyalangan suvlarning 40 °C temperaturada bug'lanish tezligining vaqtga bog'liqligi.

Termogravimetrik analiz metodini standartlashtirib olganimizdan keyin, kremniy dioksid nanozarrachali nanosuyuqliklarning ham barcha konsentratsiyaviy oraliqlarida 20 min vaqt davomidagi bug'lanish natijasida massa yo'qotishi tajribaviy natijalari olindi va ba'zi natijalar 5-rasmda ilova qilindi.



5-rasm. Asosiy suyuqligi deionizatsiyalangan suv va SiO₂ nanozarrachali nanosuyuqlikning vaqtga bog'liq bug'langan massasini o'zgarishi.

Olingan natijalar tahlilidan ma'lum bo'ldiki, namuna harorati ma'lum vaqtdan keyin o'zgarmas (izotermik $T = \text{const}$) 313 K temperaturada bo'ladi (3-rasm). Natijada idishning ichidagi to'yingan bug' bosimi ham ma'lum vaqtdan keyin o'zgarmas (izobarik $P = \text{const}$) holatda bo'ladi. Bunday holatda bo'lgan namuna bug'lanishidagi massa yo'qotishi ma'lum vaqtdan keyin (1) ko'rinishdagi qonuniyatga bo'ysindi.

$$m = m_0 - kt \quad (1)$$

bu yerda m - nanosuyuqlikning bug'langandan keyingi massasi, m_0 - sanoq boshidagi massa, k - bug'lanish tezligi. Ya'ni OX o'qi bilan hosil qilingan burchak $\text{tg} \alpha = k$. Bu ishda har bir konsentratsiyaviy holat uchun bug'lanish tezligi k [mg/min] topildi.

$$k = \frac{\Delta m_i}{\Delta t} \quad (2)$$

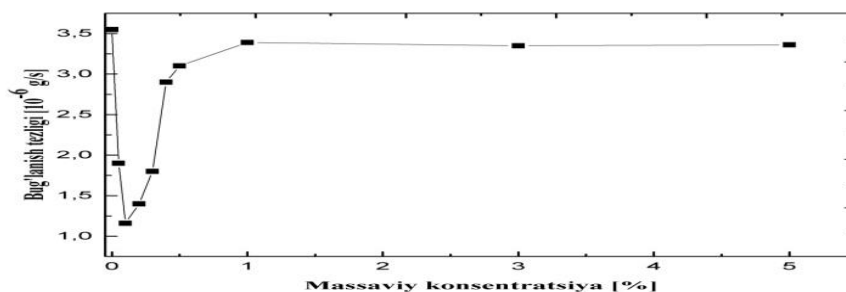
Bu yerda $\Delta m_i - \Delta t$ vaqt davomida bug'langan massa. Olingan natijalar 5-rasmda keltirilgan.

5-rasmdan massaviy konsentratsiyaning har biri uchun $\text{tg} \alpha = k$ qiymatlar aniqlanib 1-jadvallada ilova qilindi.

1-jadval. Massaviy konsentratsiyaga bog'liq bug'lanish tezligining o'zgarishi.

massaviy [%]	k [10 ⁻⁶ g/s]
0.05	1,9
0.1	1,16
0.2	1,4
0.3	1,8
0.4	2,9
0.5	3,1
1	3,39
3	3,349
5	3,36
DI suv	3,5

1-jadvaldagi qiymatlar asosida 6-rasmdagi grafik hosil qilindi.



6-rasm. Deionizatsiyalanga suvdagi SiO₂ nanozarralarining massaviy konsentratsiyasiga bog'liq va suvga nisbatan bug'lanish tezligining o'zgarishi.

Xulosa. Olingan dastlabki natijalar tahlilidan, nanozarrachalar massaviy konsentratsiyasining ayni bir oraliq konsentratsiyasida eng kichik 0.1% da 1,16 µg/s va eng katta 1% da $k = 3,39$ µg/s bug'lanish tezligi kuzatildi. Nanozarrachalarning suvdagi massaviy konsentratsiyasining 1% dan keyingi istalgan konsentratsiyasida bug'lanish tezligining o'zgarmay qolishi kuzatildi. Demak, nanozarrachalar yordamida suvning bug'lanish xususiyatlarini boshqarishda nanozarrachalarning suvdagi eng optimal konsentratsiyasini tanlab olish orqali erishish mumkin.

Bir qancha tajribalarda [22] olingan natijalar suvning bug'lanish tezligi nanosuyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyenti orqali tahlil qilingan. Suvning bug'lanish xususiyatlarini nanozarrachalar yordamida o'zgarishiga olib keluvchi fizik jarayonlarning mexanizmlarini aniqlash maqsadida nanozarrachalarning va suvning sirt xususiyatlaridan kelib chiqib qo'shimcha tadqiqotlar olib borish talab etiladi.

ADABIYOTLAR

1. Erbil H.Y. Evaporation of pure liquid sessile and spherical suspended drops: A review. *Adv. Colloid Interface.Sci.* 2012, 170, 67–86.
2. Deegan R.D. Pattern formation in drying drops. *Phys. Rev. E* 2000, 61, 475–485.
3. Sefiane K., Wilson S.K., David S., Dunn G.J., Duy B.R. On the effect of the atmosphere on the evaporation of sessile droplets of water. *Phys. Fluids* 2009, 21, 062101.
4. Meng S., Meng X., Fan W., Liang D., Wang L., Zhang W., Liu Y. The role of transparent exopolymer particles (TEP) in membrane fouling: A critical review. *Water Res.* 2020, 181, 115930.
5. Wang R., Fan W., Liu X., Fan W., Liang D., Cai W. Effect of magnesium ion on polysaccharide fouling. *Chem. Eng. J.* 2020, 379, 122351.
6. Yao X., Zhang H., Lemckert Ch., Brook A., Schouten P. Evaporation reduction by suspended and floating covers: overview, modelling and efficiency, *Urban Water Security Research Alliance Technical Australia*, 2010, pp. 1-23.
7. Coleman M. Review and discussion on the evaporation rate of brines, mundijong, 2000, pp. 1-12.
8. Ali H., Madramootoo C.A. and Abdel Gwad S. Evaporation model of lake qaroun as influenced by lake salinity. *Irrigation And Drainage*, 2001, 50, 9–17.
9. Chen R.H., Phuoc T.X. and Martello D., Effects of nanoparticles on nanofluid droplet evaporation. *International Journal of Heat and Mass Transfe*, 2010, 53, 3677-3682.
10. Madhusoodanan M.R., Sajith V. and Sobhan C.B. "Experimental Investigation of Phase Change Phenomena in Nanofluids" *Thermal Engineering Heat Transfer Summer Conference*, Canada, 2007, 859-863.
11. Sefiane K. and Bennacer R. Nanofluids droplets evaporation kinetics and wetting dynamics on rough heated substrates. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2009, 147–148, 263–271.
12. Payzullayev A.N., Gafurova M.V., Allayev B.A., Tellyayev S.K., Mirzayev S.Z. Nanosuyuqlikning qovushqoqligi va barqarorligining kremniy dioksidi nanozarrachalari chiziqli o'lchamiga bog'liqligi. *SamDU ilmiy axborotnomasi*, 2022-yil, 3-son 171-175.
13. Gan Y. and Qiao L. Evaporation characteristics of fuel droplets with the addition of nanoparticles under natural and forced convections. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2011, 54, 4913–4922.
14. Dominguez-Ontiveros E., Fortenberry S. and Hassan Y.A. Experimental observations of flow modifications in nanofluid boiling utilizing particle image velocimetry. *Nuclear Engineering and Design*, 2010, 240, 299–304.
15. Wen D. Mechanisms of thermal nanofluids on enhanced critical heat flux (CHF). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2008, 51, 4958–4965.
16. Xuan Y. and Li Q. Heat transfer enhancement of nanofluids. *Heat Fluid Flow*, 2000, 21, 58– 64.
17. Nazarov A.D., Miskiv N.B., Bochkareva E.M. // *J. Phys. Conf. Ser.* 2018. Vol. 1105. 012095.
18. Prime R.B., Bair H.E., Vyazovkin S., Gallagher P.K., Riga A. Thermogravimetric analysis (TGA). In *Thermal Analysis of Polymers: Fundamentals and Applications*; Menczel J., Prime R., Eds.; JohnWiley & Sons, Inc.: New Jersey, NJ, USA, 2009.
19. Zareei M., Yoozbashizadeh H., Hosseini H.R.M. Investigating the effects of pH, surfactant and ionic strength on the stability of alumina/water nanofluids using DLVO theory. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2018, 135, 1185–1196.
20. Brown M.E. *Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications*; Kluwer Academic Publishers: Boston, MA, USA, 2001.
21. Rahman R., Hamdan S., Hui J.L.C. Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA) of Wood polymer nanocomposites. *MATEC Web Conf.* 2017, 87, 03013.
22. Kazuo Hisatake, Satoko Tanaka, Youko Aizawa; Evaporation rate of water in a vessel. *Journal of Applied Physics* 1 June 1993; 73 (11): 7395–7401.
23. Mohammad Moghiman, Bentolhoda Aslani, Influence of nanoparticles on reducing and enhancing evaporation mass transfer and its efficiency, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 61, 2013, Pages 114-118.