AEROSILDA PAST HARORATDA AZOT ADSORBSIYASINING TEKSTUR XUSUSIYATLARI

Qodirov Olimjon Raximjon o‘g‘li
Namangan davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
E-mail: olimjonqodirov18@gmail.com
Ergashev Oybek Karimovich
Namangan davlat texnika universiteti professori, k.f.d.

Annotatsiya. Kremniy sirtidagi funksional guruhlarni o‘z ichiga olgan atomlar elektron-donor molekulalar bilan donorno-akseptor bog‘lar shakllanishi orqali to‘rtdan ortiq koordinatsiya holatiga intilish xususiyatini namoyon etadi. Shu sababli, bunday sirt atomlari faol markazlar sifatida qaraladi. Hatto yuzaning izolyatsiyalangan gidroksil guruhlari bilan qisman band bo‘lgan holatida ham besh koordinatsionli komplekslar mavjud bo‘lishi mumkin. Adsorbsiya jarayonida koordinatsion bog‘lanish orqali tutib turilgan suv molekulalari protonlanadi va, natijada, ular ham faol markaz vazifasini bajarishi mumkin. Bu suv molekulalarining yuzadan ajralishi esa 423–723 K oralig‘idagi haroratda yuz beradi.

Kalit so‘zlar. Aerosil, kriogen muhit (suyuq azot), adsorptsiya jarayoni, adsorbsion izotermalar.

Аннотация. Атомы, содержащие функциональные группы на поверхности кремния, проявляют склонность к координации с числом больше четырёх за счёт формирования донорно-акцепторных связей с электронодонорными молекулами. Поэтому такие атомы поверхности рассматриваются как активные центры. Даже в случае, когда поверхность частично занята изолированными гидроксильными группами, возможно образование пятикратно координированных комплексов. В процессе адсорбции молекулы воды, удерживаемые посредством координационных связей, подвергаются протонированию и, в результате, также могут выполнять функцию активных центров. Десорбция этих молекул воды происходит в интервале температур 423–723 К.

Ключевые слова: аэросил, криогенная среда (жидкий азот), процесс адсорбции, адсорбционные изотермы.

Annotation. Atoms containing functional groups on the silicon surface tend to achieve coordination numbers higher than four by forming donor–acceptor bonds with electron-donor molecules. Therefore, such surface atoms are considered as active centers. Even when the surface is partially occupied by isolated hydroxyl groups, the formation of five-coordinate complexes is possible. During the adsorption process, water molecules retained via coordination bonding become

ISSN 3030-3907

protonated and, as a result, can also act as active centers. The desorption of these water molecules occurs within the temperature range of 423–723 K.

Keywords: Aerosil, cryogenic environment (liquid nitrogen), adsorption process, adsorption isotherms.

Kirish.

Gidratlangan aerosil — bu sof amorf tuzilishga ega bo‘lgan, g‘ovaklik xususiyatiga ega bo‘lmagan kremniy dioksididir. U kolloid diapazondagi sferik shakldagi zarrachalardan tashkil topgan bo‘lib, yuqori darajadagi maxsus sirt maydoni bilan ajralib turadi [1]. SiO_2 ni olish jarayonida, xususan quritish bosqichida zarrachalar dastlab o‘zining yakka holatdagi shaklini saqlab qoladi. Ammo jarayon davomida ular orasida vujudga keladigan kuchsiz bog‘lovchi ta’sirlar natijasida, birlamchi monodispers sferik zarrachalarning agregatlari shakllanadi [2].

Zarrachalarning agregatlanish jarayoniga ularning sirt qatlamida suv va xlorli vodorod asosidagi komplekslarning mavjudligi muhim ta’sir ko‘rsatadi. Aynan shu komponentlar aerosil asosidagi gidrogelning sirt energiyasi hamda vodorod ionlari konsentratsiyasi (pH qiymati)ni belgilovchi omil hisoblanadi. Quritish jarayonida esa kislotali komponentlar zarracha yuzasidan ajralib chiqadi va natijada gidrat qobig‘i qayta tiklanadi [3]. Bu holat esa zarrachalar orasidagi tortishish kuchlarining kamayishiga olib kelib, ularning o‘zaro agregatlanish ehtimolini pasaytiradi [2].

Aerosil sintez jarayonida silanol guruhlarining hosil bo‘lishi zarrachalarning o‘sishi bosqichida ularning bir-biriga yopishib qolish ehtimolini kamaytiruvchi omil sifatida namoyon bo‘ladi.

Dispers kremniy dioksidining dispergator muhitlar uchun faol to‘ldiruvchi va quyuqlashtiruvchi sifatida namoyon bo‘lishi, asosan, uning sirt qismida joylashgan faol markazlarning kimyoviy xususiyati, soni va geometrik joylashuvi bilan belgilanadi. Ushbu omillar kremniy oksidi yuzasida energetik jihatdan bir xil bo‘lmagan (nohomogen) faol markazlar tizimining shakllanishiga olib keladi.

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida gidratlangan aerosil sirtida joylashgan faol markazlarning kimyoviy tabiatini aniqlash imkoniyati yaratildi. Ushbu faol markazlar tarkibiga gidroksil (–OH) guruhlarini ushlab turuvchi kremniy atomlari, tang siloksan ko‘priklari, silandiol guruhlari, koordinatsion jihatdan to‘yinmagan, izolyatsiyalangan gidroksil guruhlari bilan bog‘langan kremniy atomlari, shuningdek, bog‘langan suvning turli shakllari kiradi.

Aerosil yuzasidagi –OH guruhlar ikki xil holatda uchraydi: erkin holatda hamda vodorod bog‘lari orqali bog‘langan shaklda. Vodorod bog‘i bilan birikkan guruhlar mavjudligi esa erkin guruhlarning faolligini oshirishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot o‘bekti va usullari. G‘ovaklik darajasi, maxsus sirt maydoni hamda g‘ovaklar hajmi kabi tekstura parametrlari aerosil materiallarining adsorbent sifatidagi samaradorligini belgilovchi asosiy omillar hisoblanadi. Ushbu bo‘limda turli faollashtirish usullarining aerosil tuzilishiga ko‘rsatgan ta’siri hamda bu strukturaviy o‘zgarishlarning adsorbsion xossalarga bo‘lgan ta’siri tahlil qilinadi.

G‘ovakli tuzilmaning asosiy parametrlaridan biri bo‘lgan o‘ziga xos sirt maydoni (S_{sp}), umumiy g‘ovak hajmi (V_S) hamda o‘rtacha g‘ovak diametri (d_{pore}) 77 K haroratda past haroratli azot adsorbsiyasi usuli asosida aniqlandi. O‘lchovlar **Quantachrome Nova 1000e** statik turdagi adsorbsion analizatori yordamida amalga oshirildi. Tadqiqotga jalb qilingan namunalar dastlab 100 °C haroratda 12 soat davomida vakuum sharoitida aktivlashtirildi. Azotning adsorbsiyasi va desorbsiyasi egri chiziqlari qisman bosim diapazoni 0,005 dan 0,995 P/P_0 gacha bo‘lgan oraliqda yozib olindi. Qoldiq bosim ostida aniqlangan adsorbsiyalangan gaz miqdoriga asoslangan holda, sirt maydonining hisob-kitoblari Brunauer–Emmett–Teller (BET) usuli orqali amalga oshirildi.

Tadqiqot natijalari va muhokalari. Mikrog‘ovaklar hajmini aniqlashda t-Plot usulidan foydalanildi, mezog‘ovaklarning umumiy hajmi esa Barrett–Joyner–Halenda (BJH) usuli yordamida hisoblandi. O‘rtacha g‘ovak diametri BET usuliga asoslangan $D_{avg} = 4V/S$ formulasi orqali baholandi. Mikroporlarning hajmi va ularning taqsimotini aniqlash uchun Horvath–Kawazoe (HK) usulidan foydalanildi; bunda o‘rtacha mikrog‘ovak o‘lchamlari 1,15–1,17 nm atrofida baholandi.

Qizilmiya ildizi keki asosida olingan karbonat namunalar uchun tuzilgan azot adsorbsiyasi/desorbsiyasi izotermalari I va IV turdagi aralash ko‘rinishida bo‘lib, bu mikrog‘ovakli qattiq moddalarga xos xususiyatlarni namoyon etadi. Xususan, I turdagi izoterma past nisbiy bosim ($P/P_0 < 0,05$) oralig‘ida keskin adsorbsiya ko‘rsatkichlari bilan tavsiflanadi, bu mikrog‘ovaklar mavjudligini anglatadi. IV turdagi izoterma esa o‘rtacha va yuqori bosim sohalarida kuzatiladigan histerez hodisasi bilan xarakterlanadi, bu esa mezog‘ovak tuzilmaning mavjudligini bildiradi.

400–450 °C harorat oralig‘ida namunadagi o‘ziga xos sirt maydoni eng yuqori qiymatga yetadi, bu esa kekning g‘ovakli tuzilmasini shakllantirish uchun optimal sharoitlar mavjudligini ko‘rsatadi. Aynan shu bosqichda o‘lchangan maksimal sirt maydoni 169,8 m^2/g ga teng bo‘ldi.

Harorat 450 °C dan yuqoriga ko‘tarilganda, sirt maydonining kamayishi kuzatildi. Ushbu holat g‘ovaklarning o‘zaro birikishi yoki strukturaning qulashiga

ISSN 3030-3907

olib keladigan o‘zgarishlar bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Natijada, umumiy g‘ovaklik darajasi sezilarli darajada pasayadi.

Taxminan 450 °C haroratda o‘ziga xos sirt maydonining ikkilamchi ortishi kuzatiladi. Bu holat aerosil tarkibidagi qolgan komponentlarning chuqurroq parchalanishi hamda natijada yangi g‘ovakli tuzilmalar shakllanishi bilan izohlanadi. Bunday ikkilamchi o‘sish, shuningdek, past haroratlarda yopilib qolgan yoki boshqa moddalarning tiqilishi natijasida faol bo‘lmagan ba’zi g’ovaklarning harorat ta’sirida faollashuvi bilan ham bog‘liq bo‘lishi mumkin.

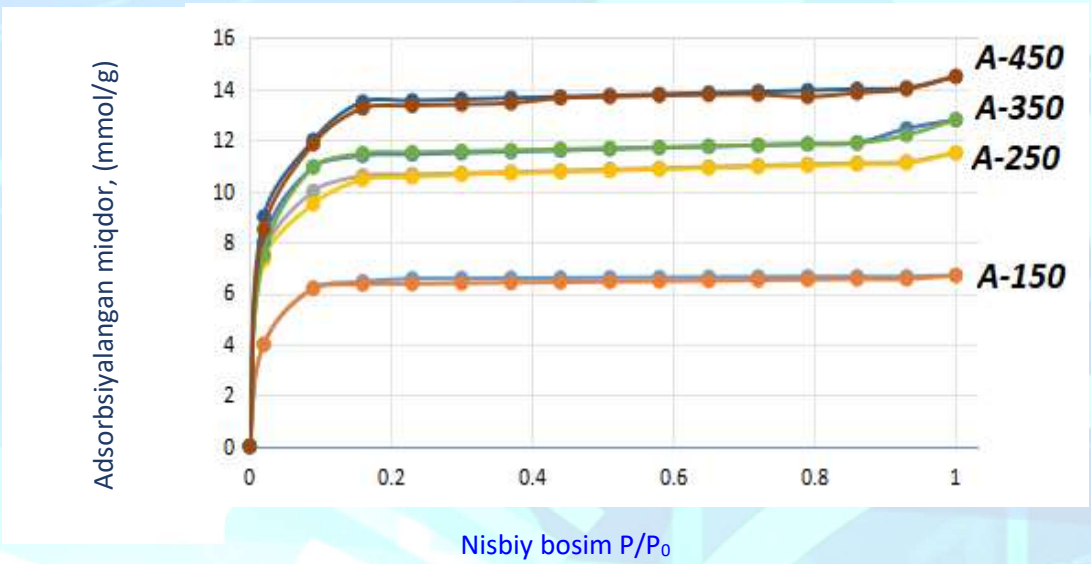
Ta’kidlash lozimki, o‘ziga xos sirt maydonida sodir bo‘ladigan bu kabi o‘zgarishlar aerosilning adsorbsion samaradorligiga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi. Shu bois, haroratning ma’lum bir qiymatida erishilgan maksimal sirt maydoni, muayyan amaliy qo‘llanma uchun optimal adsorbentni ishlab chiqish imkonini beradi.

1-rasm tahliliga ko‘ra, karbonizatsiya harorati 150 °C dan 450 °C gacha oshirilganda mikrog‘ovaklar hajmi (V_a) ortadi, bu esa harorat oshishi bilan mikrog‘ovakli tuzilmaning shakllanishi kuchayishini ko‘rsatadi. Maksimal mikropor hajmi 450 °C da qayd etilgan bo‘lib, bu harorat mazkur material uchun mikro g‘ovakli struktura rivojlanishi uchun eng qulay sharoit bo‘lishi mumkinligini bildiradi.

Mezog‘ovaklar hajmi esa 250 °C da eng yuqori darajaga yetadi. Bu natija g‘ovakli tuzilmaning shakllanishidagi dastlabki bosqich bilan bog‘liq bo‘lib, bu bosqichda g’ovaklarning aksariyati hali mikrog‘ovak diapazoniga o‘tmagan bo‘ladi. 450 °C haroratda esa mezog‘ovaklar hajmi kamayadi, bu esa ularning qisqarishi va mikrog‘ovakli strukturaning shakllana boshlaganligini anglatadi. Shunga qaramay, 450 °C ga yaqin haroratda mezopor hajmining yana ortishi kuzatiladi, bu esa aynan shu harorat oralig‘ida optimal mezog‘ovakli tuzilma shakllanishini ko‘rsatadi.

NaOH eritmasi yordamida amalga oshirilgan faollashtirish jarayoni sintezlangan aerosilning porozlik darajasini sezilarli darajada oshiradi. Bu o‘zgarish past haroratli azot adsorbsiyasi natijalarida yaqqol namoyon bo‘ladi. Xususan, izoterma shaklining o‘zgarishi hamda y o‘qi bo‘ylab olingan qiymatlarning siljishi bu ta’sirni isbotlaydi, bu esa strukturadagi porozlik parametrlarining sezilarli darajada o‘zgarganligidan dalolat beradi.

ISSN 3030-3907



1-rasm Faollashtirilgan namunalardagi azotning adsorbsion va desorbsion izotermlari: 1) A-150; 2) A-250; 3) A-350; 4) A-450.

Ko‘plab tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, NaOH eritmasi bilan amalga oshirilgan faollashtirish jarayoni aerosilning o‘ziga xos sirt maydonini kengaytiradi, g‘ovaklik darajasini oshiradi hamda g‘ovak diametrlari taqsimotining rivojlanishiga olib keladi.

Tadqiqotda olingan barcha to‘rtta adsorbsion izoterma IUPAC tasnifiga ko‘ra IV turdagi mezog‘ovakli materiallar uchun xos bo‘lgan ko‘rinishga ega. Bunday izotermalar yuqori nisbiy bosim sohasida platoning mavjudligi bilan ajralib turadi, bu esa mezog‘ovaklarning to‘lish jarayonini aks ettiradi.

A-450 va A-350 namunalarining adsorbsion sig‘imi A-250 va A-150 namunalariga nisbatan yuqoriroq bo‘lib, bu A-450 va A-250 izotermalarining egri chiziqlari yuqorida joylashganligi bilan tasdiqlanadi; bu holat bir xil nisbiy bosim qiymatlarida ko‘proq gaz miqdorining adsorbsiyalanganini bildiradi. Shuningdek, barcha namunalarda izoterma egri chiziqlari past nisbiy bosim sohasida nisbatan tez platoga chiqadi, bu esa yuqori adsorbsion faollik mavjudligini, shuningdek, ehtimol, material tarkibida mikrog‘ovaklarning sezilarli miqdorda ekanligini ko‘rsatadi.

Barcha tahlil qilingan namunalar uchun izoterma egri chiziqlarining dastlabki bosqichda keskin ko‘tarilishi mikrog‘ovaklarning mavjudligidan dalolat beradi, chunki aynan ushbu past nisbiy bosim oralig‘ida mikrog‘ovaklar to‘ldiriladi. Nisbiy bosim ortgani sari adsorbsiyalangan modda miqdorining ko‘payishi kuzatiladi, bu esa klassik fizik adsorbsiyaga xos xatti-harakatdir.

Shunday qilib, izoterma tahlillari shuni ko‘rsatadiki, faollashtiruvchi reagent — NaOH miqdorining oshirilishi aerosil namunalarining adsorbsion qobiliyatini sezilarli darajada kuchaytiradi. Bu holat jadvalda keltirilgan tekstura

ISSN 3030-3907

parametrlariga ham mos keladi. Xususan, karbonat:NaOH nisbati yuqori bo‘lgan namunalar yuqori o‘ziga xos sirt maydoni hamda katta g‘ovak hajmiga ega bo‘lib, bu ularning adsorbsion samaradorligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatgan.

Izotermiya asosida aerosil namunalarining teksturaviy xarakteristikalari qiymatlari hisoblab chiqilgan va 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Namunalarning teksturaviy xarakteristikalari

Namuna	S_{ud}, m^2/g	S_{ud}, m^2/g	t - Plot (tashqi sirt), m^2/g	V_a , sm^3/g	V_b , sm^3/g	R , Å	O'rtacha g’ovak kengligi , Å	G’ovaklarning o'rtacha gidravlik radiusi, Å
A-150	360.17	578.13	78.87	0.2147	0.2478	21,971	127.11	6.895
A-250	517.67	879.17	166.89	0.3784	0.3787	22,243	90.78	6,778
A-350	778.57	1278.47	185.26	0.4128	0.4841	22.347	65.74	6.658
A-450	897.17	1347.21	203.36	0.4974	0.5871	22.585	45.47	6.624

Maxsus sirt maydonining A-350 namunadan A-450 namunagacha oshishi kuzatiladi, bu holat faollashtiruvchi modda — NaOH miqdorining ortishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Sirt maydonining bunday kengayishi adsorbsion sig‘imning oshishiga xizmat qiladi, bu esa tahlil qilingan adsorbsion izoterma egri chiziqlari bilan tasdiqlanadi. Shu bilan birga, A-350 namunasi A-450 ga nisbatan biroz pastroq o‘ziga xos sirt maydoniga ega bo‘lib, bu holat sirt maydonining o‘sishi uchun mavjud bo‘lgan ma’lum bir optimal chegarani anglatishi mumkin. Bu chegaradan keyin NaOH miqdorining ortishi, ehtimol, g’ovaklarning qisman tiqilib qolishi yoki ortiqcha eroziya natijasida sirt maydonining yanada oshishiga olib kelmaydi. Bundan tashqari, mikrog‘ovaklar hajmi (V_a) hamda mezog‘ovaklar hajmi (V_b) ham NaOH eritmasining oqim tezligi ortishi bilan bir qatorda ko‘payganligi kuzatilgan.

Ushbu bo‘lim natijalari shuni ko‘rsatadiki, qizilmiya ildizi keki asosida sintezlangan aerosil materiallarida g‘ovakli tuzilmaning shakllanishida karbonizatsiya harorati va vaqt omillari muhim rol o‘ynaydi. Olib borilgan tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, karbonizatsiya harorati oshgani sari materialning o‘ziga xos sirt maydoni o‘zgarib boradi va ayniqsa 400–450 °C oralig‘ida maksimal qiymatga erishiladi. Bu esa mazkur harorat intervalini g‘ovakli struktura shakllanishi uchun optimal sharoit sifatida belgilaydi.

ISSN 3030-3907

Biroq, 450 °C dan yuqori haroratda sirt maydonining pasayishi kuzatiladi, bu holat g‘ovaklarning birlashuvi yoki strukturaning qisman qulashiga olib keladigan o‘zgarishlar bilan izohlanadi. Azotli adsorbsion izoterma ma’lumotlari haroratning material porozligiga ta’sirini yaqqol tasdiqlaydi. Optimal haroratda ishlov berilgan namunalar yuqori darajadagi porozlik va adsorbsion faollik namoyon qilgan. Ushbu natijalar esa g‘ovak hosil bo‘lish mexanizmlarini chuqurroq anglash, shuningdek, ularning aerosilning adsorbsion xossalariga bo‘lgan ta’sirini baholashda muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Shu tariqa, olingan natijalar aerosil materiallarini 400 °C dan yuqori haroratlarda regeneratsiya qilish jarayonida harorat sharoitlarini qat’iy nazorat qilish ularning tekstura xususiyatlarini optimallashtirishda muhim rol o‘ynashini ko‘rsatadi. Bunday yondashuv aerosilning adsorbsion imkoniyatlarini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Ushbu topilmalar prognoz qilinadigan ishlash va yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan aerosil asosidagi adsorbentlarni ishlab chiqishga ilmiy asos yaratadi va ularning sanoat miqyosida muvaffaqiyatli qo‘llanilishi uchun muhim omil bo‘lib xizmat qiladi.

Bundan tashqari, g‘ovakli tuzilmalarning shakllanishi hamda aerosilning kimyoviy bog‘lanishlaridagi o‘zgarishlar materialni yanada faol va samarali adsorbent shakliga aylantiradi, bu esa uning adsorbsion xossalarining oshishiga xizmat qiladi.

Azotning adsorbsion va desorbsion izotermalarini tahlil qilish natijalari aerosilning teksturaviy xossalarida sezilarli darajada ijobiy o‘zgarishlar yuz berganini tasdiqlaydi. Maxsus sirt maydoni hamda g‘ovak hajmining ortishi, asosan, keraksiz organik komponentlarning yuzadan to‘liq olib tashlanishi va yangi mikro- hamda mezog‘ovaklarning shakllanishi bilan bog‘liq. Maksimal porozlik va yuqori adsorbsion sig‘imga erishishda optimal faollashtirish harorati va uning davomiyligi hal qiluvchi omillar sifatida belgilandi.

Xulosa. Suvsizlangan namunalar bilan taqqoslaganda, silanlangan namunalardagi sirt kimyosi va adsorbsion xossalarda kuzatilgan o‘zgarishlar silanizatsiya jarayoni sirtning g‘ovakli tuzilmasi bilan chambarchas bog‘liqligini ko‘rsatadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatmoqdaki, sirt silanol guruhlarining faolligi ortgani sari sirtning porozligi ham sezilarli darajada kuchayadi. Ushbu omillar aerosilning fizik-kimyoviy xossalarini samarali ravishda yaxshilaydi hamda ularni yuqori adsorbsion samaradorlik talab qilinadigan sanoat sohalarida qo‘llash uchun istiqbolli materialga aylantiradi. Olingan natijalar esa prognoz qilinadigan va takomillashgan ishlashga ega aerosil asosidagi adsorbentlarni ishlab chiqish uchun yangi yondashuvlar ishlab chiqishda muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O. Kodirov, O.Ergashev. Energetics of adsorption of water molecules to aerosil. Scientific and technical journal of Namangan Institute of Engineering and Technology. Volume 9, Issue 4, 2024. 212-218 p.
2. О.Р. Қодиров, О.К.Эргашев. Аэросилга сув молекулалари адсорбция изотермаси ва дифференциал иссиклиги. Андижон машинасозлик институти Машинасозлик илмий-техника журнали. 2024-йил 1-махсус сон. 36-42 б.
3. O.R. Kodirov, O.K.Ergashev. Liquid nitrogen adsorption isotherm on aerosol. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Volume 6, 2025.
4. C.G. Armistead and J. A. Hockey, Trans. Faraday Soc., 63 (1967) 2549.
5. V. Rehak and E. Smolkova, Chromatographia, 9 (1976) 219.
6. A.V. Kiselev and V. I. Lygin, in Infrared Spectra of Surface Compounds, Wiley, New York, 1975, Chap. 4.
7. Темиров, А. Х. (2024). Технология Производства Ингибиторов Коррозии. Miasto Przyszłości, 46, 832-836.
8. Temirov, A. H. O. G. L., O’G’Li, G. A. H., & Nosirov, S. N. O. G. L. (2024). Kondensatsiya usuli yordamida gazni qayta ishlash texnologiyasi. Science and Education, 5(3), 204-210.
9. Temirov A. H., To'raqulova M. Q. & Izzatov D. H. (2024). ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ, ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ. Development Of Science, 4(1), pp. 19-24.
10. Alisher hoshim o’g’li, T., & Husan o’g’li, S. D. (2024). Dizel Yoqilg ‘Isi Tarkibidan Parafinni Adsorbsion Usulda Ajratib Olish Texnologik Tizimi Tahlili. Miasto Przyszłości, 46, 271-275.

ISSN 3030-3907