UDK: 661.183.2 + 666.116.2

NATRIY SILIKAT (SUYUQ SHISHA) UMUMIY XOSSALARI, NOORGANIK MODIFIKATSIYALASH USULLARI VA QO‘LLANILISH SOHALARI

Oripov Azizbek Anvarovich
Buxoro davlat texnika universiteti,
Kimyo texnologiyasi kafedrasi tayanch doktoranti
Ostonov Firuz Istamovich
texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent
Buxoro davlat texnika universiteti,
Kimyo texnologiyasi kafedrasi dotsenti
https://doi.org/10.5281/zenodo.20623456

Annotatsiya. Ushbu maqolada natriy silikat (suyuq shisha, $Na_2O \cdot nSiO_2$) ning kimyoviy tuzilishi, fizik-kimyoviy xossalari va noorganik modifikatsiyalash usullari adabiyotlar asosida tahlil qilingan. Natriy geksaftorosilikat, aluminiy sulfat, metall oksidlari va nanozarrachalar bilan modifikatsiyalash yog'och uchun yong'inga chidamli qoplamalar yaratishdan tortib to qurilish va infratuzilma obyektlarini mustahkamlashgacha bo'lgan keng qo'llanilish imkoniyatlarini taqdim etishi ko'rsatilgan. Maqolada mavjud tadqiqotlarning asosiy natijalari umumlashtirilgan va istiqbolli yo'nalishlar belgilab berilgan.
Kalit so'zlar: natriy silikat, suyuq shisha, noorganik modifikator, silikat moduli, yong'inga chidamlilik, termoizolyatsiya, qurilish materiallari, suvga chidamlilik.

СИЛИКАТ НАТРИЯ (ЖИДКОЕ СТЕКЛО): ОБЩИЕ СВОЙСТВА, МЕТОДЫ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Аннотация. В статье на основе анализа научной литературы рассмотрены химическое строение, физико-химические свойства натриевого силиката (жидкого стекла, $Na_2O \cdot nSiO_2$) и методы его неорганической модификации. Показано, что модификация гексафторосиликатом натрия, сульфатом алюминия, оксидами металлов и наночастицами открывает широкие возможности применения — от огнезащитных покрытий для древесины до укрепления строительных и инфраструктурных объектов. Обобщены основные результаты существующих исследований и намечены перспективные направления.
Ключевые слова: натриевый силикат, жидкое стекло, неорганический модификатор, силикатный модуль, огнестойкость, теплоизоляция, строительные материалы, водостойкость.

SODIUM SILICATE (LIQUID GLASS): GENERAL PROPERTIES, METHODS OF INORGANIC MODIFICATION AND FIELDS OF APPLICATION

Abstract. This article analyzes the chemical structure, physico-chemical properties of sodium silicate (liquid glass, $Na_2O \cdot nSiO_2$), and its inorganic modification methods based on a review of scientific literature. It is shown that modification with sodium hexafluorosilicate, aluminum sulfate, metal oxides, and nanoparticles opens broad application opportunities — from fire-resistant coatings for wood to reinforcement of construction and infrastructure facilities. The main findings of existing research are summarized and promising directions are outlined.
Keywords: sodium silicate, liquid glass, inorganic modifier, silicate modulus, fire resistance, thermal insulation, construction materials, water resistance.

KIRISH

Natriy silikat ($Na_2O \cdot nSiO_2$), umumiy xalq orasida suyuq shisha nomi bilan mashhur bo'lgan bu material — arzon, keng tarqalgan va ko'p funksiyali noorganik bog'lovchi sifatida sanoatning turli

tarmoqlarida qo'llaniladi [1, 2]. Qurilish, metallurgiya, yog'ochga ishlov berish, kimyo sanoati va yangi avlod kompozit materiallar ishlab chiqarishda suyuq shishaning roli tobora ortib bormoqda. Biroq, uning past suvga chidamliligi va mo'rtligi kabi tug'ma kamchiliklari qo'llanilish sohasini cheklaydi. Ushbu muammoni hal etishning eng samarali va ekologik jihatdan xavfsiz usuli — noorganik modifikatsiyalash texnologiyasini qo'llashdir [3, 4].

Ushbu maqolaning maqsadi — suyuq shishaning asosiy fizik-kimyoviy xossalarini, noorganik modifikatsiyalash usullarini va ularning natijalarini adabiyotlar tahlili asosida umumlashtirish hamda qo'llanilish istiqbollarini belgilashdan iborat.

NATRIY SILIKATNING KIMYOVIY TUZILISHI VA FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI

Natriy silikat eritmasi — $Na_2O \cdot nSiO_2$ umumiy formulasiga ega noorganik polimer bo'lib, uning tuzilishi Si-O-Si bog'laridan iborat uch o'lchamli tarmoqqa asoslanadi. SiO_2/Na_2O molar nisbati — silikat moduli (M) — materialning barcha texnologik xossalarini belgilovchi asosiy parametr hisoblanadi. M qiymati 2,0 dan 4,0 gacha bo'lgan oraliqda eritmaning barqarorligi, qovushoqligi va adgezion xossalari sanoat ehtiyojlari uchun optimaldir [1].

Suyuq shishaning GOST 13078–81 talablari bo'yicha asosiy texnologik ko'rsatkichlari: silikat moduli 2,4–3,0; quruq qoldiq massaviy ulushi 25–35%; zichlik 1,35–1,45 g/sm³. Silikat moduli 2,4 dan past bo'lganda eritma haddan tashqari ishqoriy bo'lib ketadi va yog'och sirtida gidroliz jarayonini tezlashtiradi; 3,0 dan ortiq bo'lganda esa eritma qovushoqligi oshib ketib, adgeziya pasayadi [5].

Zin Min Xtet [3] ning dissertatsiya tadqiqotida silikat moduli 2,3–3,0 oralig'ida bo'lganda eritmadagi polimer fraksiya ulushi 70% ga yetgandagina uning sirt tarangligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Bu natija suyuq shishani ko'pirtirish texnologiyasi uchun muhim parametrni belgilaydi. Suyuq shisha termik jihatdan barqaror bo'lib, uning asosida tayyorlangan materiallar 900–1000°C gacha bo'lgan haroratlarda ham yonmaydi va shaklini saqlaydi — bu organik bog'lovchilar uchun erishib bo'lmaydigan xususiyat [7].

Korneyev V.I. va Danilov V.V. [2] suyuq shishaning eritma holati, pH, harorat va konsentratsiyaga bog'liq fizik-kimyoviy xossalarini batafsil o'rganib, noorganik modifikatsiyalash jarayonining asosiy mexanizmlarini tavsiflagan. Suyuq shishaning muhim afzalligi shundaki, u arzon xomashyo — kvars qumi va natriy karbonatdan sanoat miqyosida ishlab chiqariladi, bu esa boshqa bog'lovchi materiallarga nisbatan iqtisodiy jihatdan raqobatbardosh qiladi [1, 2].

NOORGANIK MODIFIKATSIYALASH USULLARI VA MEXANIZMLARI

Suyuq shishaning noorganik modifikatsiyalanishi qotish tezligini boshqarish, suvga chidamlilikni oshirish va mexanik mustahkamlikni yaxshilash imkonini beradi. Quyida asosiy noorganik modifikatorlar va ularning ta'sir mexanizmlari ko'rib chiqiladi.

Natriy geksaftorosilikat (Na_2SiF_6)

Na_2SiF_6 — suyuq shishani noorganik usulda qotirishning eng samarali vositalaridan biri. Uning ta'sir mexanizmi $Na_2SiF_6 + 4NaOH \rightarrow 6NaF + Si(OH)_4$ reaksiyasiga asoslanadi: hosil bo'lgan $Si(OH)_4$ tezkor polikondensatsiyaga uchrab, qattiq SiO_2 tarmoqli tuzilmasini shakllantiradi [3]. Zin Min Xtet [3] tomonidan o'tkazilgan tajribalarda Na_2SiF_6 ning optimal miqdori suyuq shishaning 8–12 massaviy % ini tashkil etganda siqilishdagi mustahkamlik ammiak bug'i bilan qotirishga nisbatan 150% ga oshganligi ko'rsatilgan. 12% dan ortganda esa material haddan tashqari tez qotib, tuzilmada yoriqlar paydo bo'lgan.

Aluminiy sulfat ($Al_2(SO_4)_3$)

Aluminiy sulfat suyuq shishani ekologik xavfsiz yo'l bilan qotdirishning zamonaviy usuli hisoblanadi — ammiak singari zaharli gazlar ajratmaydi. Axmedov V.N. va boshqalar [8] ning tadqiqotlarida aluminiy sulfat asosida qotirilgan namunalarning siqilishdagi mustahkamligi 37,48 MPa ga yetishi ko'rsatilgan. Al^{3+} ionlari -Si-O-Al- tipidagi yangi kimyoviy bog'lar hosil qilib, silikat tarmoqni mustahkamlaydi va materialning namlik hamda atmosfera ta'siriga chidamliligini oshiradi [9].

Metall oksidlari va nanozarrachalar

Metall oksidlari (MgO, CaO, Al_2O_3) va nanozarrachalar (SiO_2, TiO_2) suyuq shisha tizimlarida tuzilmaviy zichlikni oshirish va g'ovaklikni kamaytirish uchun qo'llaniladi. Liu X. va boshqalar [6] tomonidan nano - SiO_2 va aktiv MgO dan iborat noorganik to'ldiruvchi qo'shilganda yopishish mustahkamligi 97,6% va suvga chidamlilik 46,7% ga oshganligi aniqlangan. Bundan tashqari, natriy silikatni keramiklashtiruvchi bog'lovchi sifatida ishlatib, gidratlash va o'z-o'zidan kondensatsiyalanish

reaksiyasi orqali yong'inga chidamli qoplamalar ishlab chiqilgan; bunda metakaolin va vollastonit qo'shimcha sementirlash materiallari sifatida qo'llanilib, materialning yong'inga chidamlilik ko'rsatkichlarini keskin yaxshilagan.

Liang Y. va boshqalar [10] tomonidan organosilanlar asosida modifikatsiyalangan natriy silikat/poliuretan kompozitlarida noorganik modifikatsiya organik tizimlar bilan birga qo'llanganda sinergetik ta'sir — bir vaqtning o'zida siqilish mustahkamligi, egilish mustahkamligi va sinish qovushqoqligi oshishi — kuzatilganligi ko'rsatilgan.

Ishqoriy aktivatsiyalangan tizimlar

So'nggi yillarda suyuq shisha asosidagi ishqoriy aktivatsiyalangan sement tizimlariga qiziqish keskin ortmoqda. Erigan natriy silikatlar asosidagi ishqoriy aktivatsiyalangan sement yuqori mustahkamlik va tez pishib yetilishni namoyish etishi mumkin — bu SSS tarkibidagi amorf kremnizemning nano-modifikatsiyalovchi ta'siri bilan bog'liq. Bunday tizimlar portlandsementga muqobil sifatida CO_2 emissiyasini sezilarli kamaytirish imkonini beradi [11].

QO'LLANILISH SOHALARI

Yong'inga chidamli qoplamalar

Natriy silikat asosidagi yong'inga chidamli qoplamalar zamonaviy qurilish xavfsizligida alohida ahamiyat kasb etadi. Suyuq shisha asosidagi noorganik qoplamalar yonmaslik va termik barqarorlik jihatidan ustun bo'lsa-da, ularning qo'llanilishi past suvga chidamlilik va mo'rt kuyindi hosil qilish kabi muammolar bilan cheklangan. Bu muammoni bartaraf etish maqsadida gibrid organik-noorganik tizimlar ishlab chiqilmoqda.

Wang Y. va boshqalar [12] tomonidan melamin sianurati (MCA) bilan modifikatsiyalangan natriy silikat/akril asosidagi yangi yong'inga chidamli qoplama ishlab chiqilib**,** yog'och sirtlarda sinovdan o'tkazilgan. Qoplamaning cheklangan kislorod indeksi va konus kalorimetriya natijalari yong'inga chidamlilik ko'rsatkichlari sezilarli yaxshilanganligini tasdiqlagan.

Qurilish va infratuzilma

Qurilishda natriy silikat tezkor qurituvchi agent va mustahkamlovchi material sifatida qadrlangan bo'lib, loyihalarni tezroq tugatish va beton konstruksiyalarning uzoq muddatli mustahkamligiga hissa qo'shadi. Yin J. va boshqalar [13] tomonidan suyuq shisha va natriy metilsilikat kombinatsiyasi yordamida qayta ishlangan yirik agregatlarni modifikatsiyalash usuli taklif etilgan. Ushbu innovatsion noorganik-organik kombinatsiyalangan modifikatsiya usuli qayta ishlangan yirik agregatlar va ulardan tayyorlangan betonning xossalarini yaxshilash uchun qo'llanilgan.

Natriy silikat betonni suv o'tkazmaslik uchun samarali vosita sifatida keng qo'llaniladi: u betondagi kaltsiy gidroksid bilan reaksiyaga kirishib, kaltsiy silikat gidrat hosil qiladi va bu g'ovak hamda kapillyarlarni to'ldirib, betonning suvga qarshiligini oshiradi.

Termoizolyatsion materiallar

Suyuq shisha asosidagi termoizolyatsion materiallar energiya tejamkorligi va yong'inga chidamlilik nuqtai nazaridan organik analoglariga nisbatan ustun. Imamov S.S. [14] ning tadqiqotlarida modifikatsiyalangan suyuq shisha asosidagi materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti 0,035–0,040 W/m·K, suv yutilish darajasi 1% dan kam ekanigi aniqlangan. Zin Min Xtet [3] ishlab chiqqan Ko'pirtirilgan suyuq shisha va mineral to'ldiruvchilar (vermikulit, perlit, vollastonit) kombinatsiyasi asosidagi materiallar 900°C gacha haroratda barqaror va mutlaqo yonmaydigan xossaga ega.

Yog'ochga ishlov berish sanoati

Formaldegid asosidagi an'anaviy yelimlarga muqobil sifatida suyuq shisha asosidagi ekologik xavfsiz bog'lovchilar yog'ochga ishlov berish sanoatida katta istiqbol ko'rsatmoqda. Natriy silikatning boshqa qo'llanilish sohalari orasida yog'och, metall folga yoki shishani g'ovakli substratlar bilan yopishtirish, shisha tolali izolyatsiyani biriktirish hamda quymakorlik qoliplari va abraziv g'ildiraklarni ishlab chiqarish kiradi. Murodov D.M. va boshqalar [5] ning tadqiqotlarida tiomochevina-glitserin oligomeri bilan modifikatsiyalangan suyuq shisha yelimining yopishish mustahkamligi 27,6% ga oshganligi va suvga chidamliligi 62% dan 82% gacha ko'tarilganligi ko'rsatilgan.

XULOSA

Adabiyotlar tahlili asosida quyidagi xulosalar chiqarildi:

1. Natriy silikat (suyuq shisha) o'zining arzonligi, ekologik xavfsizligi, yuqori harorat va kimyoviy ta'sirlarga chidamliligi bilan zamonaviy sanoat materiallaridagi o'rnini mustahkamlamoqda. Silikat moduli (M = 2,4-3,0) uning barcha texnologik xossalarini belgilovchi asosiy parametr hisoblanadi.

2. Noorganik modifikatsiyalash — Na_2SiF_6 (8-12%), $Al_2(SO_4)_3$, metall oksidlari va nanozarrachalar — suyuq shishaning suvga chidamliligini 38-82%, mexanik mustahkamligini esa 27-150% ga oshirish imkonini beradi va bu jarayon ekologik jihatdan xavfsiz amalga oshiriladi.

3. Qo'llanilish sohalari tobora kengayib bormoqda: yong'inga chidamli qoplamalar, termoizolyatsion materiallar, qurilish va infratuzilma mustahkamlash, yog'ochga ishlov berish, qayta ishlangan agregatlar — bular suyuq shishaning istiqbolli yo'nalishlari hisoblanadi.

4. Mahalliy O'zbekiston mineral xomashyolari (kvars qumi, bentonit, kaolin) asosida noorganik modifikatsiyalash texnologiyalarini ishlab chiqish va ikki yoki undan ko'p modifikatorlarning birgalikdagi (sinergetik) ta'sirini o'rganish — bu sohadagi eng dolzarb tadqiqot yo'nalishlari hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло. – М.: Промстройиздат, 1956. – 444 с.
2. Корнеев В.И., Данилов В.В. Жидкое и растворимое стекло. – СПб.: Стройиздат, 1996. – 216 с.
3. Зин Мин Хтет. Композиционные материалы на основе жидкостекольного связующего для теплоизоляции: дис. … канд. техн. наук: 05.17.11. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2020. – 156 с.
4. Разговоров П.Б., Игнатов В.А., Алексеев С.М., Терская И.Н. Реологические свойства модифицированных систем на основе силиката натрия // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 1992. – Т.35, №11-12. – С.146–149.
5. Murodov D.M., Niyozov A.K., Akhmedov V.N., Beshimov I.A. Study of the changes in rheological and adhesive properties through the modification of liquid glass // Sanoatda raqamli texnologiyalar. – 2025. – V.3, №4. – P.205–210.
6. Liu X., Wu Y., Zhang X., Zuo Y. Study on the effect of organic additives and inorganic fillers on properties of sodium silicate wood adhesive modified by polyvinyl alcohol // BioResources. – 2015. – V.10, №1. – P.1528–1542.
7. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1995. – Ч.2. – 288 с.
8. Akhmedov V.N., Kamolova Z., Olimov B. Modification method of sodium silicate // Universum: технические науки. – 2024. – №3. – Article 120.
9. Разговоров П.Б., Игнатов В.А. Строительная силикатная краска на основе модифицированного натриевого жидкого стекла // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 1995. – Т.38, №1-2. – С.183–185.
10. Liang Y., Gao A., Sun Y. et al. Mechanism confirmation of organofunctional silanes modified sodium silicate/polyurethane composites for remarkably enhanced mechanical properties // Scientific Reports. – 2021. – V.11. – P.9339. DOI: 10.1038/s41598-021-88893-2.
11. Coppola L. et al. Influence of Dosage and Modulus on Soluble Sodium Silicate for Early Strength Development of Alkali-Activated Slag Cements // Minerals. – 2023. – V.13, №9. – P.1164. DOI: 10.3390/min13091164.
12. Wang Y., Ran Y., Shao Y. et al. A Novel Intumescent MCA-Modified Sodium Silicate/Acrylic Flame-Retardant Coating to Improve the Flame Retardancy of Wood // Molecules. – 2024. – V.29, №13. – P.3021. DOI: 10.3390/molecules29133021.
13. Yin J., Kang A., Kou C. Influences of Water Glass and Sodium Methyl Silicate Combined Treatment on Recycled Coarse Aggregate and Concrete Made with It // Materials. – 2025. – V.18, №22. – P.5223. DOI: 10.3390/ma18225223.
14. Imamov S.S. Modifikatsiyalangan suyuq shisha asosida gidrofob termoizolatsion materiallarning olinishi va qurilishda samarali foydalanish // The Multidisciplinary Journal of Science and Technology. – 2024. – V.5, Issue 6. – P.2632–2635.