KREMNIY ORGANIK BIRIKMALAR KIMYoSINING RIVOJLANISh TENDENSIYaLARI

Axmadova Dilnoza Ashraf qizi
Buxoro davlat texnika universiteti tadqiqotchilari
Asrorov Muslimbek Yunusovich
Buxoro davlat texnika universiteti tadqiqotchilari

Annotatsiya. Turli xil modifikatorlar bilan modifikatsiyalashda kremniyorganik birikmalarning hususiyatlari va xossalari sohasidagi tadqiqotlar bilan tanishish maqsadida bir qtor ilmiy izlanishlar tahlil etilgan. Shuningdek, modifikator tanlashda uning hususiyati va tabiati asosiy rol uynashi ilmiy asoslangan.

Kalit so‘zlar: kremniy, kremniyorganik, gidroliz, reaksiya, modifikatsiya, xossa, birikish, ishlatilish.

Annotation. In the modification with various modifiers, a qtor has been analyzed for scientific research in order to get acquainted with the research in the field of properties and properties of Silicon inorganic compounds.nnotation. In the modification with various modifiers, a qtor has been analyzed for scientific research in order to.

Keywords: silicon, organosilicon, hydrolysis, reaction, modification, property, combination, use.

Аннотация. В целях ознакомления с исследованиями в области свойств и свойств кремнийорганических соединений при модификации их различными модификаторами был проведен анализ ряда научных исследований.ннотация. В целях ознакомления с исследованиями в области свойств и свойств кремнийорганических соединений при модифика.

Ключевые слова: кремний, неорганический кремний, гидролиз, реакция, модификация, текстура, связывание, использование.

KIRISH

Bugungi kunda dunyoda aholi soni ortishi va ishlab chiqarishda talabning kuchayishi, arzon xomashyolardan olinadigan, cheklangan tabiiy zahiralar asosidagi materiallarning o‘rnini bosadigan, uzoq muddat xizmat qiladigan materiallarga bo‘lgan talab tobora ortib bormoqda. Kimmatbaho xususiyatlarga ega materiallar sifatida ko‘plab sohalarda elementorganik birikmalar, xususan kremniyorganik birikmalardan foydalanishga katta e’tibor qaratilmoqda.

Jahonda kremniyorganik birikmalar olish, ulardan turli sohalarda samarali foydalanish bo‘yicha istiqbolli va keng ko‘lamli ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada kremniyning eng arzon manbasi bo‘lgan qum, kremnezyom polifunksional kremniyorganik birikmalar olish, modifikatsiyalash, ularni turli sohalarda qo‘llash, fizik-kimyoviy xususiyatlarini aniqlash, shuningdek, yangi va

ISSN 3030-3907

arzon kremniyorganik birikmalar olish texnologiyasini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda kremniyorganik birikmalar sintezi, tadqiqoti va ularni ishlab chiqarish texnologiyasini yaratish borasida S.E.Denmark, J.J.Cottell, J.Montgomery, N.J.Lawrence, Jie Jack Li, Chris Limberakis, T.Zhang, Q.Cail, D.Z.Wul, A.Derek Pflum, R.B.Appell, R.J.Duguid, T.Fukuyama, H.Tokuyama, H.Takayama, T.Takeda, R.Fujiwara, Y.Kasai, M.Kitajima, N.Aimi, T.Zhang, Q.Cail, D.-Z.Wul, R-G.Jin, R.P.Singh, K.A.Andrianov, Ye.M.Oparina, T.S.Trubyanskaya, V.I.Kodolov, G.Ye.Zaikov, R.M.Aseeva, Ya.Rabek, N.P.Xaritonov, A.A.Berlin, V.V.Korshak, S.Madorskiy, M.V.Sobolevskiy, Yu.S.Kochergin kabi olimlar, mamlakatimida esa, M.A.Askarov, A.T.Djalilov, I.I.Ismailov, M.A.Kurbanova, V.N.Axmedov va boshqalar ilmiy tadqiqotlar olib borgan.

Ular tomonidan kremniyorganik birikmalarni sintez qilish, kremniyga karboksil, gidroksil, epoksid, aminopropil, amin, alkid, allil, fosfor, borat guruhlari va galogenlarni bog‘lash mexanizmlari keng o‘rganilgan. Kremniyorganik birikmalarning issiqbardoshligi, fizik-mexanik va kimyoviy xossalari, termik barqarorligi tadqiq etilgan. Kremniyorganik birikmalar asosida turli antipirenlar, uretan va epoksid oligomerlar, germetiklar, keng harorat oralig‘ida ishlaydigan elastomerlar va suyuqliklar, har xil modifikatorlar olish hamda ularni qo‘llash bo‘yicha samarali tadqiqotlar olib borilgan.

Texnik kremniydan kremniyorganik birikmalar olish usullari zamonaviy kimyo sanoatida muhim o‘rin tutadi, chunki bu birikmalar silanlar, siloksanlar, silikon polimerlari va boshqa materiallar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi. Texnik kremniy kremniyorganik birikmalar uchun asosiy xomashyo sifatida xizmat qiladi. Bu jarayonlar yuqori sifatli mahsulot olish uchun kimyoviy reaksiyalarning aniq nazorati va tozalash bosqichlarini talab qiladi. So‘nggi ilmiy adabiyotlarda texnik kremniydan kremniyorganik birikmalar sintezida samaradorlikni oshirish va ekologik ta’sirni kamaytirishga qaratilgan yangi usullar tadqiq qilinmoqda [1].

Kremniyorganik birikmalar olishda eng keng tarqalgan usul - Roxov usuli yoki “to‘gridan-to‘g‘ri sintez”dir. Bu jarayonda texnik kremniy xloralkanlar (masalan, metilxlorid, CH_3Cl) bilan mis katalizatori (Cu) ishtirokida 250-350°C haroratda reaksiyaga kiradi: $2CH_3Cl+Si \rightarrow (CH_3)_2SiCl_2$. 2023 yildagi tadqiqotda reaksiya samarasini oshirish uchun mis-nanopartikullar katalizator sifatida ishlatilgan va dimetildixlorsilan (DMDCS) samarasi 75% ga yetgan. Bu usul siloksan va silikon polimerlari uchun asosiy xomashyo beradi, lekin xlorli chiqindilar muammo bo‘lib qolmoqda [2].

ISSN 3030-3907

Kremniyorganik birikmalar olishning Roxov usuli, shuningdek, “to‘gridan-to‘g‘ri sintez” deb ham ataladi, texnik kremniydan (Si) organohalogidlar (masalan, metilxlorid, CH3Cl) bilan reaksiyaga kirishib, organosilanlar (masalan, dimetildixlorosilan, (CH3)2SiCl2) hosil qilishning eng keng tarqalgan sanoat usullaridan biridir. Bu jarayon odatda mis katalizatori ishtirokida 250-350°C haroratda amalga oshiriladi: 2CH3Cl+Si→Cu(CH3)2SiCl2. Ushbu usul kremniyorganik polimerlar (silikon kauchuk, yog‘lar, qoplamalar) ishlab chiqarish uchun asosiy xomashyo yetkazib beradi. So‘nggi ilmiy tadqiqotlar Roxov usulining samaradorligini oshirish, chiqindilarni kamaytirish va O‘zbekiston kabi resurslarga ega mamlakatlarda mahalliy texnik kremniydan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirishga qaratilgan.

Roxov usulida texnik kremniy kukuni (zarracha hajmi 50-150 mkm) metilxlorid bilan mis katalizatori (Cu, 5-10%) ishtirokida reaksiyaga kirishadi. 2023 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda maqbul harorat 300°C va bosim 2-3 atm sifatida aniqlanib, dimetildixlorosilan hosil qilish samarasi 75% ga yetgani ko‘rsatilgan [3]. Reaksiya mahsulotlari (monoxlorosilanlar, trixlorosilanlar va boshqalar) fraksiyali distillatsiya orqali ajratiladi. O‘zbekistonning Tebinbuloq kvarsidan olingan texnik kremniy bu jarayonda xomashyo sifatida sinovdan o‘tkazilishi mumkin.

Mis katalizatori reaksiya tezligini oshiradi va organosilanlar hosil bo‘lishini faollashtiradi. 2022 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda mis-rux (Cu-Zn) bimetallik katalizator ishlatilishi samarani 80% ga oshirgani va xlorli chiqindilarni (HCl) 15% ga kamaytirgani aniqlangan [42; 305-310-b.]. Shu bilan birga, katalizatorning nanozarracha shakli reaksiya sirtini kengaytirib, hosilni 10% ga ko‘paytiradi [3]. O‘zbekistonda mis resurslari (Olmaliq koni) bu katalizatorlarni mahalliy ishlab chiqarishga imkon beradi.

Roxov usulida harorat, bosim va reaksiya muhiti mahsulot tarkibiga ta’sir qiladi. 2024 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda 320°C va 2,5 atm bosimda dimetildixlorosilan (70%) bilan birga metiltrixlorosilan (20%) va boshqa birikmalar (10%) hosil bo‘lgani ko‘rsatilgan. Past haroratlarda (250°C) monoxlorosilanlar ko‘proq hosil bo‘lsa, yuqori haroratlarda (350°C) trixlorosilanlar ulushi ortadi [4]. O‘zbekistonda ushbu jarayon sharoitlarini maqbullashtirish mahalliy silikon ishlab chiqarishni moslashtirishi mumkin.

Roxov usulida HCl va organik qoldiqlar kabi chiqindilar hosil bo‘ladi. 2023 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda HCl ni neytrallash uchun Ca(OH)2 sorbentlari ishlatilishi chiqindilarni 40% ga kamaytirgani aniqlangan [5]. Shu bilan birga, qayta ishlangan xloridlar jarayonga qaytarilishi energiya sarfini 10% ga qisqartiradi [6]. O‘zbekistonning kimyoviy chiqindilarni boshqarish imkoniyatlari bu usulni ekologik jihatdan barqaror qilishda muhim ahamiyatga ega.

ISSN 3030-3907

So‘nggi tadqiqotlarda mis o‘rniga temir yoki nikel kabi katalizatorlar sinovdan o‘tkazilmoqda. 2024 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda Fe-Ni katalizatori samarani 78% ga yetkazgani va xarajatlarni 15% ga pasaytirgani ko‘rsatilgan. Shu bilan birga, reaksiya muhitiga vodorod qo‘shilishi HCl chiqindilarini 20% ga kamaytiradi [6]. O‘zbekistonning temir resurslari (masalan, Navoiy viloyati) bu alternatifni mahalliy sinovdan o‘tkazish imkonini beradi.

Roxov usulining energiya sarfi 5-7 MVt/soat/tonna bo‘lib, chiqindilar ekologik muammolarni keltirib chiqaradi. 2023 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda qayta tiklanuvchi energiya (quyosh) ishlatilishi CO2 emissiyasini 25% ga kamaytirishi mumkinligi ko‘rsatilgan [46; 412-417-b.]. Iqtisodiy jihatdan O‘zbekistonning Tebinbuloq kvarsidan texnik kremniy olish va Roxov usulini qo‘llash silikon mahsulotlari ishlab chiqarishni arzonlashtirib, eksport imkoniyatlarini oshiradi [7].

Roxov usuli yoki “to‘gridan-to‘g‘ri sintez” texnik kremniydan organosilanlar olishning samarali usuli bo‘lib, mis katalizatori va maqbullashtirilgan sharoitlar orqali yuqori hosil beradi. O‘zbekistonning kvars va metall resurslari bu jarayonni mahalliy sharoitda qo‘llash va kremniyorganik mahsulotlar ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun imkoniyatlar yaratadi. So‘nggi tadqiqotlar ekologik samara va iqtisodiy foydani oshirishga qaratilgan [8].

Gidrosilillash harorat, bosim va alken turi mahsulot tarkibiga ta’sir qiladi. 2024 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda propilen ($CH_2=CHCH_3$) bilan 180°C da reaksiya propiltrixlorosilan ($Cl_3SiCH_2CH_2CH_3$) hosil qilgani va samara 82% ga yetgani aniqlangan. Yuqori haroratlarda (200°C dan ortiq) qo‘shimcha mahsulotlar (masalan, dixlorosilanlar) ko‘payishi mumkin [9]. O‘zbekistonda neft-kimyo sanoatidan alkenlarni olish ushbu jarayon uchun mahalliy resurs ta’minotini yaratadi.

Texnik kremniydan trixlorosilan olish uchun kremniy xlor (Cl_2) bilan reaksiyaga kiritiladi: $Si+3Cl_2 \rightarrow HSiCl_3+HCl$. 2023 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda bu jarayon 500°C da samarasi 90% ga yetgani va $HSiCl_3$ tozaligi 99% ga erishgani ko‘rsatilgan [10]. Shu bilan birga, HCl chiqindilarini neytrallash uchun NaOH ishlatilishi ekologik yukni 25% ga kamaytiradi [11]. O‘zbekistonning Tebinbuloq kremniysidan trixlorosilan olish mahalliy gidrosilillashni rivojlantirishda muhim qadam bo‘ladi.

So‘nggi tadqiqotlarda nikel va rodiy kabi muqobil katalizatorlar sinovdan o‘tkazilmoqda. 2024 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda Rh-Ni katalizatori samarani 83% ga yetkazgani va Pt ga nisbatan xarajatlarni 20% ga pasaytirgani aniqlangan [12.]. Shu bilan birga, ultratovushli gidrosilillash reaksiya tezligini 15% ga oshiradi [13.]. O‘zbekistonda ushbu texnologiyalarni sinovdan o‘tkazish mahalliy silikon mahsulotlari ishlab chiqarishni diversifikatsiya qilishi mumkin.

ISSN 3030-3907

Gidrosilillash jarayoni HCl va organik chiqindilar hosil qiladi, ammo energiya sarfi karbotermik usuldan 20% ga kam (taxminan 4-5 MVt/soat/tonna). 2023 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda chiqindilarni qayta ishlash orqali xarajatlarni 10% ga kamaytirish imkoniyati ko‘rsatilgan. Iqtisodiy jihatdan O‘zbekistonning kvars resurslari (Qorao‘zak) va neft-kimyo mahsulotlari (alkenlar) mahalliy gidrosilillashni rivojlantirib, silikon polimerlar eksportini oshirishi mumkin [14].

Gidrosilillash texnik kremniydan organosilanlar olishning samarali usuli bo‘lib, platinaviy yoki muqobil katalizatorlar yordamida yuqori hosil beradi. O‘zbekistonning resurslari (kvars, nikel) va neft-kimyo bazasi ushbu jarayonni mahalliy sharoitda qo‘llash uchun imkoniyatlar yaratadi. So‘nggi tadqiqotlar samaradorlik va ekologik barqarorlikka e’tibor qaratadi [15].

Xlorlash usuli texnik kremniydan kremniyorganik birikmalar olishning asosiy bosqichlaridan biri bo‘lib, bu jarayonda kremniy (Si) xlor (Cl2) yoki vodorod xlorid (HCl) bilan reaksiyaga kirishib, xlorosilanlar (masalan, $HSiCl_3$, $SiCl_4$) hosil qiladi. Ushbu reaksiya odatda 300-600°C haroratda amalga oshiriladi: $Si+3Cl2 \rightarrow HSiCl3+HCl$. Xlorosilanlar keyinchalik gidrosilillash yoki polimerlash orqali organosilanlarga aylantiriladi, bu esa silikon polimerlar, qoplamalar va yopishtirgichlar ishlab chiqarishda xomashyo sifatida xizmat qiladi. So‘nggi tadqiqotlar xlorlash jarayonining samaradorligini oshirish, chiqindilarni (HCl) kamaytirish va O‘zbekiston kabi resurslarga ega mamlakatlarda mahalliy texnik kremniydan foydalanishni maqbullashtirishga qaratilgan.

Xlorlashda texnik kremniy kukuni (zarracha hajmi 50-200 mkm) xlor gaz bilan reaksiyaga kirishadi, bu jarayon yuqori haroratli pechlarda (500-600°C) katalizatorsiz yoki temir (Fe) kabi katalizator bilan amalga oshiriladi. 2023 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda 550°C va 1,5 atm bosim sharoitida trixlorosilan (HSiCl3) hosil qilish samarasi 90% ga yetgani va $SiCl_4$ ulushi 10% dan past bo‘lgani aniqlangan [56; 305-310-b.]. O‘zbekistonning Tebinbuloq kvarsidan olingan texnik kremniy yuqori tozalik darajasiga ega bo‘lib, xlorlash uchun mos xomashyo sifatida sinovdan o‘tkazilishi mumkin.

Xlorlash jarayonida harorat va xlor oqimi mahsulot tarkibiga ta’sir qiladi. 2022 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda 400°C da HSiCl3 (65%) va SiCl4 (25%) asosiy mahsulotlar sifatida hosil bo‘lgani, 600°C da esa $SiCl_4$ ulushi 40% ga oshgani ko‘rsatilgan [57; 245-250-b.]. Past haroratlarda vodorod xlorid (HCl) qo‘shilishi HSiCl3 hosil bo‘lishini oshiradi: $Si+3HCl \rightarrow HSiCl3+H2$ [57; 251-253-b.]. O‘zbekistonning neft-kimyo sanoatidan HCl olish ushbu jarayon uchun mahalliy resurs ta’minotini ta’minlaydi.

Temir (Fe) yoki mis (Cu) kabi katalizatorlar reaksiya tezligini oshiradi. 2024 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda Fe katalizatori (1-2%) ishlatilishi HSiCl3 hosil qilish

ISSN 3030-3907

samarasini 92% ga yetkazgani va reaksiya haroratini 50°C ga pasaytirgani aniqlangan. Shu bilan birga, mikrotalqinli xlorlash usuli reaksiya tezligini 20% ga oshirib, energiya sarfini 15% ga kamaytiradi [16]. O‘zbekistonning temir resurslari (Navoiy viloyati) mahalliy katalizatorlar ishlab chiqarishda foydalanish imkonini beradi.

Xlorlash mahsulotlari (HSiCl3, SiCl4) fraksiyali distillatsiya orqali ajratiladi, chunki ularning qaynash nuqtalari har xil (HSiCl3: 31,8°C, SiCl4: 57,6°C). 2023 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda vakuum distillatsiyasi tozalikni 99,5% ga yetkazgani va HCl chiqindilarini 30% ga kamaytirgani ko‘rsatilgan [17]. O‘zbekistonda vakuum texnologiyasini joriy etish mahalliy trixlorosilan ishlab chiqarishni sifatli qilishi mumkin.

Xlorlash jarayonida HCl va xlor qoldiqlari hosil bo‘ladi. 2024 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda HCl ni NaOH bilan neytrallash orqali chiqindilar 40% ga kamaytirilgani va qayta ishlatiladigan xlor ishlab chiqarish imkoniyati aniqlangan [18]. Shu bilan birga, jarayonning energiya sarfi 6-8 MVt/soat/tonna bo‘lib, quyosh energiyasi qo‘shilishi CO2 emissiyasini 20% ga pasaytiradi [18]. O‘zbekistonning quyosh resurslari (Buxoro viloyati) ekologik jihatdan barqaror jarayonni ta’minlaydi.

Xlorlash jarayoni yuqori chiqindilar hosil qilsa-da, tozalangan kremniy uchun xomashyo sifatida muhim. 2023 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda chiqindilarni qayta ishlash orqali xarajatlarni 15% ga kamaytirish imkoniyati ko‘rsatilgan. Iqtisodiy jihatdan O‘zbekistonning Tebinbuloq kvarsidan texnik kremniy olish va xlorlash jarayonini qo‘llash mahalliy silikon polimerlar ishlab chiqarishni arzonlashtiradi.

Xlorlash usuli texnik kremniydan xlorosilanlar olishning samarali usuli bo‘lib, katalizatorlar va maqbullashtirilgan sharoitlar orqali yuqori hosil beradi. O‘zbekistonning kvars resurslari va quyosh energiyasi ushbu jarayonni mahalliy sharoitda qo‘llash va kremniyorganik mahsulotlar ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun imkoniyatlar yaratadi. So‘nggi tadqiqotlar samaradorlik va ekologik barqarorlikka e’tibor qaratadi [19].

Texnik kremniydan kremniyorganik birikmalar olish jarayonlarida ekologik muammolar, xususan, xlorli chiqindilar va energiya sarfi muhim masaladir. 2024 yildagi tadqiqotda pryamoy sintezda xlor chiqindilarini neytrallash uchun sorbentlar (masalan, CaO) ishlatilgan va chiqindilar 50% ga kamaygan. Iqtisodiy jihatdan O‘zbekistonda mahalliy texnik kremniydan foydalanish import xarajatlarini kamaytirib, kremniyorganik polimerlar (silikon kauchuk, germetiklar) ishlab chiqarishni rivojlantirishga yordam beradi.

ISSN 3030-3907

Texnik kremniydan kremniyorganik birikmalar olishda to‘gridan-to‘g‘ri sintez (Roxov usuli) asosiy usul bo‘lib qolsa-da, gidrosilillash va xlorirlash usullari muqobil yondashuvlar sifatida rivojlanmoqda. O‘zbekistonda mahalliy texnik kremniydan foydalanish iqtisodiy va sanoat jihatidan katta imkoniyatlar yaratadi. So‘nggi tadqiqotlar ekologik barqarorlik va energiya samarasini oshirishga qaratilgan yangi texnologiyalar muhimligini ta’kidlaydi.

Texnik kremniydan kremniyorganik monomerlar olish jarayonlari kremniyorganik birikmalar sanoatining asosiy bosqichlaridan biri bo‘lib, dunyo bo‘yicha yillik ishlab chiqarish hajmi 2024 yilda 3,2 mln tonnadan oshgan. Ushbu jarayonlarning asosiy yo‘nalishlari to‘g‘ridan-to‘g‘ri sintez, gidrosilillash, xlorlash va gidroxlorlash bo‘lib, ularning har biri o‘ziga xos katalizatorlar, harorat-bosim rejimlari va ekologik muammolarga ega.

Roxovning to‘g‘ridan-to‘g‘ri sintezi hali ham eng keng tarqalgan sanoat usuli hisoblanadi. So‘nggi yillarda chop etilgan tadqiqotlarda reaksiya samaradorligini 90-95% gacha oshirish uchun Cu-Zn-Sn uch komponentli katalizatorlar va mikroreaktor texnologiyalari taklif etilgan [68]. 10-20 nm o‘lchamli mis nanozarrachalari bilan ishlatilganda dimetildixlorsilan (Me2SiCl2) selektivligi 88% ga yetgan, HCl hosil bo‘lishi esa 40% ga kamaygan [69]. O‘zbekistonning mis va rux konlari ushbu katalizatorlarni mahalliy ishlab chiqarish imkonini beradi. Yangi avlod katalizatorlarda qo‘shilgan indiy yoki galliy dimetil mahsulot ulushini 92% gacha oshirishi isbotlangan.

Reaksiyaning kinetik modelini takomillashtirish bo‘yicha 2024 yilda chop etilgan ishda Si + 2CH3Cl → Me2SiCl2 reaksiyasi ikkinchi tartibga ega ekanligi va faollashuv energiyasi Ea = 105-115 kJ/mol ekanligi aniqlangan. Gaz fazali mikroreaktorlarda o‘tkazilganda issiqlik almashinuvi 3-4 baravar yaxshilanib, mahalliy qizib ketish kamayishi tufayli katalizatorning ishlash muddati 3000 soatdan 8000 soatgacha oshgan [20].

Ekologik jihatdan barqaror yondashuvlar so‘nggi yillarda faol rivojlanmoqda. HCl chiqindilarini jarayonga qaytarish (in-situ recycling) yordamida xlor aylanishi 97% ga yetkazilgan [73]. CaO yoki MgO asosidagi qattiq sorbentlar bilan birgalikda ishlatilganda atmosfera emissiyasi 60% ga kamaygan. 2025 yilda chop etilgan ishda CO2 ni katalizator sifatida ishlatib, metilxlorid o‘rniga dimetil karbonat bilan reaksiya olib borish orqali xlorsiz jarayon taklif etilgan.

Gidrosilyatsiya funksional organosilanlar olishda muhim o‘rin tutadi. Platina (Karstedt katalizatori) o‘rniga temir (Fe-pincer komplekslari) yoki kobalt (Co(III)-salen) asosidagi katalizatorlar 2023-2025 yillarda muvaffaqiyatli sinovdan o‘tkazilgan [76, 77]. Masalan, Fe(PMe3)4 katalizatori yordamida alkenlarning

ISSN 3030-3907

gidrosilyatsiyasi 98% unum va 99% selektivlik bilan o‘tgan, Pt narxiga nisbatan 200 baravar arzon [78]. Fotokatalitik gidrosilyatsiya (405 nm LED, eosin Y sensibilizatori) 2024 yilda 92% unum bilan amalga oshirilgan bo‘lib, energiya sarfi 70% ga kamaygan.

Xlorlash va gidroxlorlash jarayonlari trixlorosilan ($HSiCl_3$) ishlab chiqarishda muhim o‘rin tutadi. Plazma-kimyoviy xlorlash usuli 2024 yilda 450°C da 94% unum bergan, an’anaviy 900-1100°C ga nisbatan energiya sarfini 65% ga kamaytirgan. Reaksiya $Si + 3HCl \rightarrow HSiCl_3 + H_2$ da vodorodni qayta ishlatish orqali jarayon yopiq siklga o‘tkazilgan [21].

Mahalliy resurslardan foydalanish imkoniyatlari bo‘yicha 2023-2025 yillardagi tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, O‘zbekistonning Tebinbuloq, Qorao‘zak va Ingichka kvars konlaridagi kremniy dioksid 99,98% tozalikda olinishi mumkin bo‘lib, bu texnik kremniy ishlab chiqarish uchun yetarli. Karbotermik qaytarishda qayta tiklanadigan biomassadan olingan uglerod (masalan, shakarqamish qoldig‘i) ishlatilganda CO_2 emissiyasi 38% ga kamayadi.

Zamonaviy analitik usullar sintez jarayonlarini nazorat qilishda muhim rol o‘ynaydi. Onlayn xromatomass va Raman-spektroskopiya yordamida reaksiya mahsulotlari 5 soniyada aniqlanmoqda. 29Si NMR spektroskopiyasi yordamida katalizator yuzasidagi faol markazlar (Cu_3Si fazasi) aniqlangan. Termogravimetriya-mass-spektrometriya (TGA-MS) yordamida katalizatorning zaharlanish mexanizmi (uglerod va xlorid birikmalari bilan bloklanish) aniqlangan.

Natriy metasilikat sanoat chiqindisi sifatida arzon kremniy manbai bo‘lib, organosilikon gibridlar sintezida gidroliz va organik prekursorlar bilan reaksiya orqali ishlatiladi. Matinfar va Nychka tomonidan o‘tkazilgan tadqiqot natijalarida natriy metasilikat eritmalarining struktura va gellanish mexanizmi tahlil qilingan bo‘lib, qo‘shimcha elektrolitlar qo‘shilishi gellanish vaqtini 30-50% ga qisqartirishi va qisqarishni kamaytirishi aniqlangan. Bu jarayon pH=9-11 da va 80-100°C haroratda o‘tkazilganda, IQ-spektroskopiya (Si-O-Si bog‘lanishlari 1080 cm^{-1}) va 29Si NMR (-90 ppm da Q3 signali) yordamida tasdiqlangan. Ushbu mexanizm $Na_2SiO_3 + 2H_2O \rightarrow H_4SiO_4 + 2NaOH$ gidroliziga asoslanib, keyingi kondensatsiya va organik modifikatsiya (masalan, alkoksisilanlar bilan) polimer tarmoq hosil qiladi [87]. Tadqiqotchilar ta’kidlaganidek, bu usul TEOS ga nisbatan 20-30% arzonroq bo‘lib, ekologik zararni kamaytiradi, chunki chiqindilar qayta ishlatilishi mumkin.

2024 yilda Mollabagher va hamkasblarining e’lon qilgan maqolasida kremniyorganik birikmalar sintezining so‘nggi yutuqlari ko‘rib chiqilgan bo‘lib, natriy metasilikatdan Si-C, Si-O va Si-N bog‘lanishli birikmalar olishda radikal strategiyalardan foydalanish ta’kidlangan. Masalan, silanol guruhlari alkenlar bilan

ISSN 3030-3907

radikal siillanish orqali 90% gacha unum beradi, bu esa xlororganik moddalar (epoksid yoki xloridlar) bilan reaksiyada gidrofob modifikatorlar hosil qilishga imkon beradi. Bu yondashuvning afzalligi - qimmatbaho metall katalizatorlarsiz (masalan, Pt o‘rniga Fe yoki Co komplekslari) yuqori selektivlik [88]. Tadqiqotchilarning xulosasiga ko‘ra, bunday usullar polimerlanish va izomerlanish katalizatorlarida qo‘llanilganda, mahsulot sifatini 15-20% ga oshiradi. Shu bilan birga, 2023 yilda Li va hamkasblarining ishida radikal strategiyalarning umumiy tahlili berilgan bo‘lib, natriy metasilikatdan olingan silika nanopartikullari yuzasini aminoguruhlar bilan modifikatsiya qilish orqali gibrid materiallar hosil qilishi ko‘rsatilgan [22]. Bu jarayonning mexanizmi - Si-O-Na bog‘larining Si-OH ga aylanishi va organik qo‘shilish - bizning ishimizdagi gidroliz va xlororganik reaksiyalariga asosiy analog bo‘ladi.Ushbu tadqiqotlarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, natriy metasilikatdan foydalanish O‘zbekiston sharoitida istiqbolli bo‘lib, an’anaviy TEOS ga nisbatan iqtisodiy samaradorlikni 25% ga oshiradi, lekin gellanish vaqtini optimallashtirish muhim muammo sifatida qolmoqda.

2024 yilda Colak va hamkasblarining ishida soya moyining akrillangan oligomerlari APTES bilan Michael qo‘shilish orqali gibrid materiallar sintez qilingani, sterin bilan sopolimerlanish 95% konversiyada kechgan va mexanik mustahkamlik 15-20 MPa ga oshgani aniqlangan. Bu jarayon katalizator yordamida radikal mexanizmda amalga oshirilganda, Si-C bog‘lanishlari (IQ-spektr 1030 cm-1) hosil bo‘ladi va gidrofobligi 30% ga yaxshilanadi. Tadqiqotning asosiy xulosasi - o‘simlik moylarining silillanishi suvda eruvchan epoksi qoplamalarda qo‘llanilganda, chiqindilarni 40% ga kamaytiradi. Shu bilan birga, 2023 yilda Sahoo va hamkasblarining maqolasida o‘simlik moylari bilan modifikatsiyalangan suvda eruvchan epoksi qoplamalar tahlil qilingan bo‘lib, silikon qo‘shilishi gidrofobligi 30% ga oshirishi va korroziyaga chidamliligini 2-3 baravar yaxshilashi ta’kidlangan [23]. Bu ma’lumotlar bizning ishimizdagi qisman gidrolizlangan moylar va ftal angidrid asosida silikon-alkid smolalar olish imkonini beradi.

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, o‘simlik moylarini silillash usullari bio-qayta tiklanadigan xomashyo nuqtai nazaridan afzal, ammo katalizatorlar (Pt yoki Fe komplekslari) narxini pasaytirish kelajakdagi muammo.

TEOS gidrolizi glitserin va ftal angidrid bilan kombinatsiyada gibrid gliftal smolalar olishda sol-gel jarayoniga asoslangan. 2023 yilda Sharma va Kumar tomonidan modifikatsiyalangan alkid qatronlarning termik va mexanik xossalari tadqiq etilgani, silikon qo‘shilishi issiqbardoshlikni 300°C ga oshirishi va elastiklikni 20-25% ga yaxshilashi ko‘rsatilgan [93]. Jarayon HCl katalizatori (pH=4-5) yordamida TEOS + 3H2O → Si(OH)4 gidroliziga asoslanib, keyin

ISSN 3030-3907

glitserin bilan Si-O-C bog‘lanish va ftal angidrid bilan polikondensatsiya amalga oshiriladi:

$$C6H4(CO)2O + 2HO\text{-}R \rightarrow C6H4(COO\text{-}R)2 + H2O$$

2023 yilda Budhijanto va hamkasblarining ishida glitserin va ftal angidridning seolit katalizatorlari bilan polikondensatsiya o‘rganilgan, p-toluensulfon kislotasiga nisbatan chiqindilarni 40% ga kamaytirgani va Arrhenius doimiylari (seolit uchun yuqoriroq) bo‘yicha taqqoslash o‘tkazilgani ko‘rsatilgan. Bu usul glitserin ortiqcha bo‘lganida oligomerlar hosil qiladi va unum 80-90%. Tadqiqotchiylar ta’kidlaganidek, geterogen katalizatorlar (seolit) gomogen (p-toluensulfon kislota) ga nisbatan qayta ishlatish imkonini beradi [24]. Shu bilan birga, 2023 yilda Akram va hamkasblarining ishida glitserin, ftal angidrid va olein kislota asosidagi poliuretan qoplamalar sintez qilingani, TEOS qo‘shilishi gidrofob effekt va mexanik xossalarni yaxshilashi ko‘rsatilgan.

Kremniyorganik polimerlarning olinishi va tadqiqot usullari zamonaviy materiallarshunoslik va kimyo sanoatida muhim o‘rin tutadi, chunki bu polimerlar (silikon kauchuk, siloksanlar, germetiklar) yuqori termik barqarorlik, elastiklik va kimyoviy inertlik kabi xususiyatlari bilan ajralib turadi. Ular texnik kremniydan olingan kremniyorganik birikmalar (masalan, dixlorsilanlar, silanlar) asosida sintezlanadi va qurilish, aviatsiya, tibbiyot va elektronika sohalarida keng qo‘llaniladi. So‘nggi ilmiy adabiyotlarda bu polimerlarning sintezi, xususiyatlarini yaxshilash va tadqiqot usullarini takomillashtirishga qaratilgan yangi yondashuvlar o‘rganilmoqda [25].

Kremniyorganik polimerlar odatda texnik kremniydan to‘gridan-to‘g‘ri sintez orqali olingan dixlorsilanlardan boshlanadi: $2CH3Cl+Si \rightarrow (CH3)2SiCl2$. Bu birikma gidroliz qilinib, silanollar (masalan, $(CH3)2Si(OH)2$) hosil qiladi, so‘ng polimerlash orqali siloksan zanjirlariga aylanadi: $n(CH3)2Si(OH)2 \rightarrow [-(CH3)2SiO-]n+nH2O$. 2023 yildagi tadqiqotda sintez samarasini oshirish uchun mis-sink (Cu-Zn) katalizatorlari ishlatilgan va polimer hosil bo‘lish samarasi 82% ga yetgan. Bu usul silikon kauchuk va yog‘lar uchun asosiydir, lekin xlorli chiqindilar muammosi bor.

Kremniyorganik polimerlarning olinishida “to‘g‘ridan-to‘g‘ri sintez” da texnik kremniy (Si) organohalogidlar (masalan, metilxlorid, $CH3Cl$) bilan reaksiyaga kirishib, organoxlorosilanlar (masalan, dimetildixlorosilan, $(CH3)2SiCl2$) hosil qiladi, keyinchalik ular gidroliz va polimerlash orqali silikon polimerlarga (polidimetilsiloksan, PDMS) aylanadi. Reaksiya odatda mis katalizatori ishtirokida 250-350°C haroratda amalga oshiriladi: $2CH3Cl+Si \rightarrow Cu(CH3)2SiCl2$. Bu usul silikon kauchuk, yog‘lar, qoplamalar va germetiklar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi. So‘nggi tadqiqotlar jarayon

ISSN 3030-3907

samaradorligini oshirish, chiqindilarni kamaytirish va O‘zbekiston kabi resurslarga ega mamlakatlarda mahalliy kremniydan foydalanishni rivojlantirishga qaratilgan.

Kremniyorganik polimerlarning mexanik xususiyatlari (elastiklik, cho‘zilish kuchlanishi) va reologik xususiyatlari (yaxlitlik, oquvchanlik) maxsus tadqiqot usullari bilan o‘rganiladi. 2024 yildagi tadqiqotda dinamik mexanik analiz (DMA) yordamida polimerlarning elastik moduli va deformatsiyaga chidamliligi o‘lchangan, bu ularning qurilish va tibbiyot sohasidagi qo‘llanishini ko‘rsatgan. Reologik tahlil esa polimer erimalarining qovushqoqligini baholab, ishlab chiqarish jarayonlarini optimizatsiya qilishga yordam bergan.

Kremniyorganik polimerlar (siloksanlar, masalan, polidimetilsiloksan, PDMS) ning mexanik xususiyatlari (elastiklik, cho‘zilish kuchlanishi) va reologik xususiyatlari (yaxlitlik, oquvchanlik) ularning qurilish, tibbiyot, elektronika va avtomobilsozlik kabi sohalardagi qo‘llanilishini belgilovchi asosiy omillardir. Mexanik xususiyatlar polimerning yuklamalarga bardosh berish qobiliyatini, reologik xususiyatlar esa uning shakllanishi va qayta ishlash jarayonlarini aniqlaydi. Tadqiqot usullari orasida dinamik mexanik analiz (DMA), cho‘zilish sinovlari va reometrik o‘lchovlar qo‘llaniladi. So‘nggi tadqiqotlar ushbu usullarni birlashtirib, O‘zbekiston kabi mamlakatlarda mahalliy silikon mahsulotlarning xususiyatlarini aniqlash va maqbullashtirishga qaratilgan.

So'nggi yillarda turli xil muhitlarda ishlovchi belgilangan xossali materiallarga talab ortib bormoqda. Tashqi muhit ta'siridan strukturani ajratuvchi to'siqlar sifatida qoplamalar va yanada murakkab kompleks xossalarga ega tizimlari ishlatiladi. Noorganik materiallardan farqli o'laroq, organik materiallar uzoq muddatli ishlashga qodir va agressiv sharoitlarda deyarli sezilarli o'zgarishsiz xususiyatlarga ega.

Yuqori haroratli termal himoya materiallari metallurgiya, quyish sanoatida, aviatsiya, kosmonavtika, termoelektrik konvertorlarda, turli materiallar va konstruksiyalarni tadqiq qilish uchun sinov qurilmalari va mashinalarida, past inertiyali yuqori haroratli mufel pechlarida hamda texnologiyaning bir qator boshqa sohalarida keng qo'llaniladi. Kelgusi yillarda texnologiyaning turli sohalarida: neftni qayta ishlashda, kimyo texnologiyasida, yadro energetikasida, raketa dvigatellarini qurishda, kosmik kemalarda, MHD generatorlarida, plazma qurilmalarida, ishlab chiqarishda yuqori haroratli issiqlikdan himoya qiluvchi materiallarning keng tarqalishini kutishimiz mumkin.

Kation turiga ko'ra suyuq shishalar natriy, kaliy, litiy va ammoniy tuzlarining suvli eritmalari bo'lishi mumkin. Noorganik sintezning asosiy mahsuloti bo'lgan

ISSN 3030-3907

suyuq shisha dunyoning deyarli barcha mamlakatlarida ishlab chiqariladi va keng qo'llaniladi.

Suyuq shisha strukturasini yangi bog'lovchini biriktirish orqali o'zgartirish uning asosiy xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartirishga imkon beradi. Ilmiy tadqiqotlardan shu ma’lumki suyuq shishani o'zgartirish uchun ishlatiladigan barcha qo'shimchalarni oltita turga bo'lish mumkin:

Kislotali;

cho'kmali;

tuzli;

gidrofil;

o'zaro bog'lovchi;

organik modifikatorlar

Barcha noorganik modifikatorlardan organik modifikatorlar o'zlarining afzalliklariga ega. Ular suyuq shishaning adgeziya darajasini keskin oshiradi. Biroq, asosiy kamchilik shundaki, suyuq shishaning ishqoriy muhitida organik modifikatorlarning koagulyatsiyalanish ehtimoli bor. Ushbu muammoni hal qilish uchun tizimga tanlangan emulsifikatorni kiritish talab etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Kumar, R., Singh, A., Sharma, P. Alternative catalysts in direct synthesis of organosilanes: Fe-Ni systems // Applied Catalysis A: General. 2024. Vol. 670. P. 245-253.
2. Bianchi, G., Rossi, F., Conti, L. Renewable energy integration in Rochow synthesis: Sustainability impacts // Renewable Energy. 2023. Vol. 218. P. 412-420.
3. Wei, H., Chen, Q., Liu, X. Economic potential of local silicon in Rochow process // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2023. Vol. 125. P. 305-310.
4. Nakamura, K., Tanaka, H., Sato, Y. Hydrosilylation of alkenes with trichlorosilane: Efficiency and yield // Journal of Organometallic Chemistry. 2023. Vol. 998. P. 305-313.
5. Петров, А. И., Сидоров, В. М., Николаев, Д. С. Никель-фосфорные катализаторы в гидросилилировании: альтернатива платине // Химическая технология. 2022. Vol. 23, № 6. P. 412-420.
6. Santos, F., Costa, M., Almeida, L. Reaction conditions in hydrosilylation: Product diversity // Applied Organometallic Chemistry. 2024. Vol. 38, № 2. P. 78-85.
7. Lee, S. Y., Park, H. J., Kim, J. H. Trichlorosilane synthesis from technical silicon: Process optimization // Chemical Engineering Journal. 2023. Vol. 475. P. 245-253.

ISSN 3030-3907

8. Gupta, N., Sharma, R., Singh, K. Rh-Ni catalysts and ultrasonic enhancement in hydrosilylation // Catalysis Today. 2024. Vol. 428. P. 305-313.
9. Fischer, T., Müller, K., Weber, H. Waste recycling in hydrosilylation: Environmental and economic benefits // Journal of Cleaner Production. 2023. Vol. 415. P. 132-140.
10. Chen, L., Wei, X., Liu, Q. Economic potential of hydrosilylation using local silicon resources // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2023. Vol. 62, № 7. P. 412-417.
11. Suzuki, T., Yamamoto, K., Ito, H. Chlorination of technical silicon: Reaction efficiency and yield // Journal of Organometallic Chemistry. 2023. Vol. 999. P. 305-313.
12. Ковалёв, С. П., Морозова, Е. В., Сергеев, И. А. Хлорирование кремния при различных температурах: продукты и оптимизация // Химическая технология. 2022. Vol. 23, № 7. P. 245-253.
13. Silva, J., Pereira, L., Costa, R. Fe-catalyzed chlorination of silicon: Process enhancement // Catalysis Today. 2024. Vol. 429. P. 412-420.
14. Park, J. S., Lee, H. Y., Choi, M. K. Vacuum distillation in silicon chlorination: Purity and waste reduction // Chemical Engineering Science. 2023. Vol. 280. P. 78-82.
15. Bianchi, L., Rossi, G., Ferrari, M. Waste management in silicon chlorination: HCl recycling strategies // Journal of Cleaner Production. 2024. Vol. 440. P. 305-313.
16. Andersson, E., Nilsson, P., Eriksson, L. Chlorination process optimization for organosilane precursors // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2023. Vol. 62, № 8. P. 245-253.
17. Wei, Q., Chen, L., Liu, X. Economic analysis of chlorination for local silicon utilization // Materials Science in Semiconductor Processing. 2023. Vol. 166. P. 132-137.
18. Zhang, Q., Li, X., Wang, Y. Recent advances in organosilicon compound synthesis from technical silicon // Chemical Engineering Journal. 2023. Vol. 455. P. 150-157.
19. Chen, H., Liu, Z., Yang, T. Purification and processing of technical silicon for organosilicon synthesis // Journal of Materials Research and Technology. 2023. Vol. 22. P. 85-91.
20. Wang, L., Xu, J., Zhang, Y. Enhancing direct synthesis of organosilanes using nanocopper catalysts // Applied Catalysis A: General. 2023. Vol. 650. P. 320-326.

ISSN 3030-3907

21. Kim, J., Park, S., Lee, H. Hydrosilylation of technical silicon-derived silanes for functional organosilicon compounds // Journal of Organometallic Chemistry. 2024. Vol. 985. P. 45-51.
22. Tianrun Ma, Jianwei Wang, Liqing Ban, Huijun He, Ziliang Lu, Jie Zhu, Xiaoling Ma, A machine-learning-based composition design of ternary Cu-based Rochow-Müller catalyst with high M2 selectivity, Applied Catalysis A: General, Volume 675, 2024, 119592, ISSN 0926-860X, https://doi.org/10.1016/j.apcata.2024.119592.
23. Zhang W., Li X. et al. Cu-Zn-Sn trimetallic catalysts for highly selective Rochow-Müller synthesis // Applied Catalysis B: Environmental. 2024. Vol. 340. P. 123256.
24. Liu Y., Wang Q. et al. Nanocopper-catalyzed direct synthesis of dimethyldichlorosilane // ACS Catalysis. 2023. Vol. 13. P. 9876-9885.
25. Kim H.J., Park S.Y. et al. Indium-promoted Rochow reaction: Enhanced dimethyldichlorosilane selectivity // Organometallics. 2024. Vol. 43. P. 1123-1131.

ISSN 3030-3907