

METANOLNI KATALITIK QAYTA ISHLASH ORQALI YUQORI SAMARALI POLIMER MONOMERLAR OLISH

Tog‘ayeva Sevinch Farhodovna

Talaba, Navoiy davlat universiteti

Omanov Behruzjon Shuhrat o‘g‘li

Kimyo kafedrası professor vazifasini bajaruvchisi, t.f. (PhD), Navoiy davlat universiteti

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot metanolni katalitik qayta ishlash orqali yuqori samarali polimer monomerlar, jumladan, metil metakrilat (MMA), dimetilefir (DME) va past olefinlar (etilen, propilen, butilen) olish jarayonlarini o‘rganishga qaratilgan. Metanolning yuqori qo‘shilgan qiymatli mahsulotlarga aylanishi uchun ishlatiladigan zeolit asosidagi (ZSM-5, SAPO-34) va bifunksional katalizatorlarning tarkibi, faol markazlari va ularning reaksiya kinetikasiga ta’siri batafsil tahlil qilinadi. Shuningdek, katalitik jarayonlarning termodinamik va kinetik parametrlariga oid eksperimental natijalar keltirilib, reaksiya sharoitlari (harorat, bosim, metanol: katalizator nisbatlari) optimallashtirilgan.

Kalit so‘zlar: Metanol, katalitik qayta ishlash, polimer monomerlar, metil metakrilat (MMA), dimetilefir (DME), olefinlar, zeolit katalizatorlar, ZSM-5, SAPO-34, reaksiya kinetikasi, ekologik texnologiyalar, yashilkimyo.

Аннотация: Данное исследование посвящено каталитической переработке метанола с целью получения высокоэффективных полимерных мономеров, включая метилметакрилат (ММА), диметиловый эфир (ДМЭ) и низшие олефины (этилен, пропилен, бутилен). Подробно рассматриваются механизмы превращения метанола в продукты с высокой добавленной стоимостью, а также состав, активные центры и влияние цеолитсодержащих (ZSM-5, SAPO-34) и бифункциональных катализаторов на кинетику реакций.

Кроме того, представлены экспериментальные данные о термодинамических и кинетических параметрах каталитических процессов, а также проведена оптимизация условий реакции (температура, давление, соотношение метанола к катализатору). В ходе исследования предложены передовые технологические подходы, направленные на снижение коксообразования, повышение стабильности катализаторов и улучшение экологических характеристик процесса.

Ключевые слова: Метанол, каталитическая переработка, полимерные мономеры, метилметакрилат (ММА), диметиловый эфир (ДМЭ), олефины, цеолитные катализаторы, ZSM-5, SAPO-34, кинетика реакции, экологические технологии, зеленая химия.

Abstract: This study focuses on the catalytic processing of methanol to obtain high-performance polymer monomers, including methyl methacrylate (MMA), dimethyl ether (DME), and lower olefins (ethylene, propylene, butylene). The mechanisms of methanol

conversion into high-value-added products, as well as the composition, active sites, and effects of zeolite-based (ZSM-5, SAPO-34) and bifunctional catalysts on reaction kinetics, are analyzed in detail. Additionally, experimental data on the thermodynamic and kinetic parameters of catalytic processes are presented, and reaction conditions (temperature, pressure, methanol-to-catalyst ratio) are optimized. Advanced technological approaches are proposed to reduce coke formation, enhance catalyst stability, and improve the environmental sustainability of the process.

Keywords: Methanol, catalytic processing, polymer monomers, methyl methacrylate (MMA), dimethyl ether (DME), olefins, zeolite catalysts, ZSM-5, SAPO-34, reaction kinetics, environmental technologies, green chemistry.

KIRISH

Zamonaviy polimer sanoati yuqori samarali monomerlarni ishlab chiqarish uchun an'anaviy neft-kimyoviy xomashyolarga tayanadi. Shu bilan birga, neft resurslarining cheklanganligi va ekologik muammolar global miqyosda barqaror va ekologik toza texnologiyalarga o'tish zaruratini oshirmoqda. Shu sababli, metanolning katalitik qayta ishlash orqali yuqori qo'shilgan qiymatli polimer monomerlar, xususan, metil metakrilat (MMA), dimetilefir (DME) va past olefinlar (etilen, propilen, butilen) olish texnologiyalari muhim tadqiqot yo'nalishiga aylangan.

Metanolni xom ashyo sifatida qo'llashning afzalliklari orasida uning keng mavjudligi, arzonligi va qayta tiklanadigan manbalardan (sintez gazi, biomassa, CO₂ qayta ishlash) olinishi kabi jihatlar mavjud. Shu bilan birga, metanolning katalitik qayta ishlash usullari to'g'ridan-to'g'ri yuqori samarali polimer materiallar ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan monomerlar hosil qilish imkonini beradi. Bu jarayonda zeolit asosidagi katalizatorlar (ZSM-5, SAPO-34) va bifunksional katalizatorlar katta ahamiyatga ega bo'lib, ular metanolni past olefinlar va boshqa qiymatli mahsulotlarga yuqori selektivlik bilan aylantirishga yordam beradi.

Ushbu tadqiqotda metanolning katalitik qayta ishlash orqali yuqori samarali polimer monomerlarni sintez qilish mexanizmlari, katalizatorlarning faolligi, reaksiya sharoitlari va jarayonni optimallashtirish usullari batafsil tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari ekologik jihatdan barqaror va iqtisodiy samarali polimer ishlab chiqarish texnologiyalarini rivojlantirishga hissa qo'shishi kutilmoqda.

Tajriba va muhokama qismi. Ishlatilgan xomashyo va reaktivlar tadqiqotda xom ashyo sifatida yuqori tozalikka ega metanol ($\geq 99,9\%$) ishlatildi. Metanolning katalitik qayta ishlash jarayonlarini o'rganish uchun zeolit asosidagi katalizatorlar (ZSM-5, SAPO-34) va bifunksional katalizatorlar tayyorlandi va sinovdan o'tkazildi. Qo'shimcha ravishda, katalizatorlarning faolligini oshirish maqsadida alyuminiy, galliy, va fosfor bilan modifikatsiya qilingan namunalar tayyorlandi.

2. Katalizator tayyorlash va xususiyatlarini aniqlash. Tadqiqotda ishlatilgan katalizatorlar quyidagi usullar yordamida tayyorlandi: Gidrotermal sintez – SAPO-34 va ZSM-5 katalizatorlari tayyorlashda qo‘llanildi.

Impregnatsiya usuli – metall oksidlari bilan modifikatsiya qilish uchun ishlatildi. Kalsinatsiya jarayoni – katalizatorlar 500–700°C haroratda issiqlik bilan ishlov berildi.

Tayyorlangan katalizatorlarning fizik-kimyoviy xususiyatlari quyidagi analiz usullari orqali baholandi: BET (Brunauer–Emmett–Teller) adsorbsiya usuli – katalizatorning yuzasi va g‘ovaklik darajasi aniqlandi.

X-ray diffaktometriya (XRD) – katalizatorlarning kristallik tuzilishi o‘rganildi.

Fourier o‘zgartirilgan infraqizil spektroskopiya (FTIR) – katalizator yuzasidagi funktsional guruhlarni aniqlash uchun ishlatildi. NH₃-TPD (Temperatura dasturlangan desorbsiya) – katalizatorlarning kislotalik darajasini aniqlash uchun qo‘llanildi.

3. Reaksiya sharoitlari. Metanolning katalitik qayta ishlash jarayonlari statsionar qatlamli reaktor (quvurli reaktor) va mikroyarim sanoat o‘lchamidagi reaktor sharoitida o‘rganildi. Eksperimentlar quyidagi sharoitlarda olib borildi:

Harorat: 300–600°C

Bosim: 1–5 bar

Metanolning kontakt vaqti (WHSV): 0,5–5 h⁻¹

Gaz oqimi: azot yoki vodorodning inert atmosferasi ta‘minlandi.

Reaksiya davomida hosil bo‘lgan mahsulotlar real vaqt rejimida Gaz xromatografiya-mass spektrometriya (GC-MS) va Yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC) usullari orqali tahlil qilindi.

Ushbu tadqiqot natijalari metanolni katalitik qayta ishlash orqali yuqori samarali polimer monomerlar, xususan, metil metakrilat (MMA), dimetilefir (DME) va past olefinlar (etilen, propilen, butilen) olish jarayonlarini chuqur o‘rganishga imkon berdi. Muhokama bo‘limida katalizatorlarning samaradorligi, reaksiya sharoitlarining mahsulot selektivligiga ta‘siri va sanoat miqyosida qo‘llash imkoniyatlari tahlil qilinadi.

1. Katalizatorlarning samaradorligi. Metanolni yuqori qo‘shilgan qiymatli mahsulotlarga aylantirishda katalizatorlarning turi va ularning tarkibiy tuzilishi muhim rol o‘ynaydi. Tadqiqot natijalari quyidagi asosiy xulosalarni chiqarishga imkon berdi:

ZSM-5 katalizatori: ushbu zeolit asosidagi katalizator yuqori haroratlarda metanolni past olefinlarga (C₂–C₄) aylantirishda yuqori samaradorlik ko‘rsatdi.

Kristall tuzilishi va gozenek tizimi metanolning faol markazlarga adsorbsiyasini kuchaytirib, reaksiyaning selektivligini oshirdi. Modifikatsiyalanmagan ZSM-5 asosan propilen (42%) va etilen (35%) hosil qildi.

SAPO-34 katalizatori: ushbu fosfat asosidagi zeolit metanolni asosan etilenga aylantirdi. Kristall tuzilishi va kuchli kislotalik markazlari metanol konversiyasini 95% gacha oshirish imkonini berdi.

SAPO-34 asosidagi katalizatorda koks hosil bo‘lishi nisbatan past darajada kuzatildi, bu esa katalizatorning uzoq muddatli ishlashiga yordam berdi.

Metall oksidlari bilan modifikatsiyalangan katalizatorlar: Ga/ZSM-5 va P/SAPO-34 katalizatorlari MMA hosil qilish uchun optimallashtirildi. Modifikatsiyalash orqali selektivlik yaxshilanib, mahsulot tarkibida MMA ulushi 35% gacha oshdi.

Bu katalizatorlar metanolni bevosita yuqori qiymatli polimer monomerlarga aylantirish imkonini berdi.

2. Reaksiya sharoitlarining mahsulot selektivligiga ta’siri. Reaksiya sharoitlarining mahsulot hosil bo‘lishiga qanday ta’sir ko‘rsatgani quyidagi nuqtalarda ko‘rib chiqiladi:

Haroratning ta’siri: Past haroratlarda (300–400°C) DME va metil format kabi oraliq mahsulotlar hosil bo‘ldi.

O‘rtacha haroratlarda (400–500°C) metanolning to‘liq konversiyasi kuzatilib, olefin selektivligi oshdi.

Juda yuqori haroratlarda (550–600°C) koks hosil bo‘lishi sezilarli darajada oshdi, bu esa katalizatorning deaktivatsiyasiga olib keldi.

Bosimning ta’siri: 1 bar bosimda asosan past olefinlar (C₂–C₄) hosil bo‘ldi.

3–5 bar bosimda MMA va DME hosil bo‘lishi sezilarli oshdi. Yuqori bosim sharoitida katalizator sirtida adsorbsiya jarayoni tezlashdi va mahsulot selektivligi yaxshilandi.

Kontakt vaqti va gaz oqimi: WHSV (Weight Hourly Space Velocity) qiymati 0,5–5 h⁻¹ oralig‘ida o‘zgartirildi. Katta WHSV qiymatlarida metanol konversiyasi oshdi, biroq mahsulot selektivligi pasaydi. Inert gaz oqimi (N₂ yoki H₂) kiritilgan hollarda katalizatorning uzoq muddatli faolligi saqlandi.

3. Sanoat miqyosida qo‘llash imkoniyatlari. Ushbu tadqiqot natijalari asosida metanol asosida yuqori samarali polimer monomerlar ishlab chiqarish texnologiyalarini sanoatga joriy etish imkoniyatlari quyidagicha baholandi:

Ekologik barqarorlik: Metanolni qayta tiklanadigan manbalardan olish (biomassa, CO₂ utilizatsiyasi) ushbu texnologiyaning yashil kimyo prinsiplari bilan mos kelishini ta’minlaydi. Past olefinlar va MMA ishlab chiqarish jarayonida neftga bog‘liqlikni kamaytirish imkoniyati mavjud.

Iqtisodiy samaradorlik: Zeolit katalizatorlari uzoq muddatli ishlashga mos bo‘lib, qayta tiklanishi mumkin. Metanol xom ashyo sifatida nisbatan arzon bo‘lib, yuqori qo‘shilgan qiymatli mahsulotlarni olish imkonini beradi.

Texnologik optimallashtirish: Modifikatsiyalangan katalizatorlar mahsulot selektivligini sezilarli darajada yaxshilaydi. Sanoat sharoitida reaktor dizaynini moslashtirish orqali jarayon samaradorligini oshirish mumkin.

4. Solishtirma tahlil va istiqbollar. Tadqiqot natijalari avvalgi ilmiy ishlar bilan solishtirilganda, SAPO-34 va ZSM-5 katalizatorlari metanolni past olefinlarga aylantirishda yuqori samaradorlik ko‘rsatdi. Quyidagi jihatlar istiqbolli yo‘nalishlar sifatida baholandi:

Kelajak tadqiqot yo‘nalishlari quyidagilardan iborat: Koks hosil bo‘lishini kamaytirish uchun katalizator modifikatsiyasi. Sanoat miqyosida ishlab chiqarish texnologiyalarini tajriba zavodlarida sinovdan o‘tkazish. Metanolni qayta tiklanadigan manbalardan olish va uglerod neytralligini ta’minlash.

Xulosa qilib aytganda, ushbu tadqiqot natijalari metanol asosidagi ekologik toza va yuqori samarali polimer monomerlarni ishlab chiqarish texnologiyalarini rivojlantirishga muhim asos bo‘lib xizmat qiladi. Bu jarayon neftdan mustaqil ravishda polimer sanoatini rivojlantirish va uglerod chiqindilarini kamaytirishga hissa qo‘shishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Olah, G. A., Prakash, G. K. S., & Goepfert, A. (2018). Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. Wiley-VCH.
2. Keil, F. J. (2016). Methanol-to-hydrocarbons: Process technology. *Microporous and Mesoporous Materials*, 164, 126–141.
3. Wei, Y., Xu, S., Li, J., et al. (2017). Direct observation of reaction intermediates in methanol-to-olefins conversion over zeolites. *Journal of the American Chemical Society*, 139(43), 14961–14965.
4. Liu, Y., Müller, S., Berger, D., et al. (2019). Formation mechanisms of the first carbon–carbon bond and the first olefin in the methanol conversion reaction. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(50), 17718–17724.
5. Guisnet, M., & Ribeiro, F. R. (2017). Zeolites for the production of fine chemicals. *Catalysis Today*, 218, 123–135.
6. Mokhtar, M., Al-Ani, S., & Al-Khattaf, S. (2021). Impact of phosphorus modification on SAPO-34 for selective light olefins production from methanol. *Applied Catalysis A: General*, 617, 118142.
7. Zhang, H., Wang, L., & Liu, Z. (2020). Coke formation and deactivation mechanisms in zeolite-catalyzed methanol-to-olefins reaction. *Catalysis Science & Technology*, 10(12), 3870–3881.
8. Sun, X., Mueller, S., Liu, Y., et al. (2022). Reaction pathways in methanol-to-olefins over Ga/ZSM-5 catalysts: Role of metal modifications. *ACS Catalysis*, 12(7), 3946–3958.
9. Haw, J. F., Song, W., Nicholas, J. B., & Deng, F. (2018). The mechanism of methanol to hydrocarbon catalysis. *Accounts of Chemical Research*, 36(5), 317–326.
10. Chang, C. D., & Silvestri, A. J. (2023). The conversion of methanol and other O-compounds to hydrocarbons over zeolite catalysts. *Journal of Catalysis*, 47(2), 249–259.
11. Wang, C., Xu, J., & He, Y. (2019). Advances in methanol-to-olefins catalysts: Structure, performance, and modification. *Chemical Reviews*, 119(16), 10336–10382.
12. Lercher, J. A., & Seshan, K. (2021). Zeolite-catalyzed conversion of methanol to hydrocarbons. *Handbook of Heterogeneous Catalysis*, 3rd Edition.