

**CO₂ NI KIMYOVIY QAYTA ISHLASH VA UGLEROD NEYTRALLIK
TEXNOLOGIYALARI****Orolova Gulsevar Mengniqul qizi**E-mail: gulsevarorolova77@gmail.com

Termiz davlat universiteti

ANNOTATSIYA: Ushbu ilmiy maqolada karbonat angidrid (CO₂) ni kimyoviy qayta ishlash texnologiyalari va uglerod neytrallikka erishish yo‘llari tahlil qilinadi. CO₂ ni foydali kimyoviy mahsulotlarga, masalan metanol, metan, karbonatlar va boshqa organik birikmalarga aylantirish jarayonlari ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, katalitik tizimlar, elektrokimyoviy reduksiya usullari va zamonaviy sanoat texnologiyalarining samaradorligi o‘rganiladi. Atmosferadagi CO₂ miqdorini kamaytirish orqali global iqlim o‘zgarishining oldini olish va ekologik barqarorlikni ta‘minlash masalalari yoritiladi.

KALIT SO‘ZLAR : CO₂, uglerod neytrallik, kataliz, elektrokimyoviy reduksiya, metanol sintezi, yashil kimyo, iqlim o‘zgarishi, karbonat angidridni utilizatsiya qilish

ABSTRACT : This scientific article analyzes technologies for chemical utilization of carbon dioxide (CO₂) and pathways toward carbon neutrality. The processes of converting CO₂ into valuable chemical products such as methanol, methane, carbonates, and other organic compounds are discussed. Catalytic systems, electrochemical reduction methods, and modern industrial technologies are also examined in terms of efficiency. The study highlights the importance of reducing atmospheric CO₂ levels to mitigate global climate change and ensure environmental sustainability.

KEYWORDS: CO₂, carbon neutrality, catalysis, electrochemical reduction, methanol synthesis, green chemistry, climate change, carbon dioxide utilization

АННОТАЦИЯ: В данной научной статье анализируются технологии химической переработки углекислого газа (CO₂) и пути достижения углеродной нейтральности. Рассматриваются процессы превращения CO₂ в ценные химические продукты, такие как метанол, метан, карбонаты и другие органические соединения. Также изучаются каталитические системы, методы электрохимического восстановления и современные промышленные технологии с точки зрения их эффективности. Особое внимание уделяется снижению уровня

CO₂ в атмосфере для предотвращения глобального изменения климата и обеспечения экологической устойчивости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: CO₂, углеродная нейтральность, катализ, электрохимическое восстановление, синтез метанола, зелёная химия, изменение климата, утилизация углекислого газа

ASOSIY QISM

Karbonat angidridning kimyoviy xossalari va muammoning kelib chiqishi

Karbonat angidrid (CO₂) — chiziqli, qutbsiz va termodinamik jihatdan juda barqaror molekula hisoblanadi. Uning C=O bog‘lari kuchli bo‘lgani uchun CO₂ tabiiy sharoitda deyarli inert modda sifatida namoyon bo‘ladi. Shu sababli uni kimyoviy reaksiyalarga kiritish uchun yuqori energiya yoki maxsus katalizatorlar talab etiladi.

Sanoat va energetika tarmoqlarida ko‘mir, neft va tabiiy gazning yonishi natijasida CO₂ katta miqdorda atmosferaga chiqariladi. Bu jarayon issiqxona gazlari konsentratsiyasini oshirib, global isish va iqlim o‘zgarishiga sabab bo‘lmoqda. Shuning uchun CO₂ ni “chiqindi gaz” sifatida emas, balki kimyoviy xomashyo sifatida qayta ishlash konsepsiyasi shakllanmoqda.

Fotokatalitik CO₂ qayta ishlash

Fotokataliz jarayonida CO₂ quyosh nuri yordamida faollashtiriladi. Yarimo‘tkazgich materiallar (masalan, TiO₂, ZnO, g-C₃N₄) foton yutib, elektron–kovak juftligini hosil qiladi va CO₂ ni kamaytiradi.

Bu jarayon quyidagicha ifodalanadi:
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{CH}_4 + \text{O}_2 \text{ (yoki boshqa organik mahsulotlar)}$$

Fotokataliz ekologik toza texnologiya bo‘lib, energiya manbai sifatida quyoshdan foydalanadi.

Biokimyoviy va fermentativ usullar

Tabiatda CO₂ ni qayta ishlashning eng samarali tizimi — fotosintez jarayonidir. Shu asosda laboratoriya va sanoatda fermentlar va mikroorganizmlar yordamida CO₂ ni organik moddalarga aylantirish ustida ishlanmoqda.

Masalan:

- mikroalglar orqali biomassa ishlab chiqarish
- bakteriyalar yordamida organik kislotalar sintezi

Bu yo‘nalish “bio-CCU” deb ataladi.

Uglerod neytrallik texnologiyalarining rivojlanishi

Uglerod neytrallik — atmosferaga chiqarilayotgan CO₂ miqdorini uni yutish yoki qayta ishlash orqali muvozanatlashdir. Bunga erishish uchun quyidagi texnologiyalar qo‘llaniladi:

CO₂ ni tutib qolish texnologiyalari (CCS)

CO₂ sanoat chiqindilaridan ajratib olinadi:

- amin eritmalari yordamida yutilish
- membranali ajratish
- adsorbsiya usullari

CO₂ ni geologik saqlash

Tutib olingan CO₂ yer osti qatlamlariga (tuz konlari, neft konlari) yuboriladi. Bu usul uzoq muddatli saqlashni ta'minlaydi, ammo xavfsizlik va iqtisodiy muammolar mavjud.

Yashil vodorod bilan integratsiya

CO₂ ni qayta ishlashda eng muhim yo'nalishlardan biri — yashil vodorod (H₂) ishlab chiqarishdir. Suv elektrolizi orqali olingan vodorod CO₂ bilan reaksiyaga kirishib, yoqilg'ilar hosil qiladi.

Texnologik muammolar va cheklovlar

CO₂ utilizatsiya texnologiyalarida quyidagi muammolar mavjud:

- CO₂ ning past reaktivligi
- katalizatorlarning tez ishdan chiqishi
- yuqori energiya sarfi
- sanoat miqyosida past rentabellik
- mahsulot selektivligining pastligi

Shuningdek, ko'plab jarayonlar hali laboratoriya bosqichidan sanoatga to'liq o'tmagan.

Ilmiy va sanoat istiqbollari

Kelajakda quyidagi yo'nalishlar eng istiqbolli hisoblanadi:

- nano-katalizatorlar va MOF materiallar
- quyosh energiyasi bilan ishlaydigan fotoreaktorlar
- sun'iy fotosintez tizimlari
- AI asosida katalizator dizayni
- integratsiyalashgan CCU + CCS tizimlari

Bu texnologiyalar rivojlanishi natijasida CO₂ nafaqat chiqindi, balki qimmatli resursga aylanadi.

MUAMMOLAR VA ULARNING TAHLILI

1. Global CO₂ emissiyasining ortishi muammosi

So'nggi o'n yilliklarda sanoat, transport va energetika sohalarining jadal rivojlanishi natijasida atmosferaga chiqarilayotgan CO₂ miqdori keskin oshdi. Bu jarayon global issiqxona effektini kuchaytirib, iqlim o'zgarishiga olib kelmoqda.

Muzliklarning erishi, dengiz sathining ko'tarilishi va ekstremal ob-havo hodisalari aynan shu jarayon bilan bog'liq.

Tahlil:

Asosiy muammo shundaki, CO₂ chiqindisi uzluksiz ortib borayotgan bo'lsa-da, uni yutib olish yoki qayta ishlash texnologiyalari yetarli darajada rivojlanmagan. Natijada tabiiy uglerod aylanishi buzilmoqda.

CO₂ ning kimyoviy inertligi

CO₂ molekulasi kuchli C=O bog'lari tufayli juda barqaror hisoblanadi. Bu uni kimyoviy reaksiyalarga kiritishni qiyinlashtiradi.

Tahlil:

CO₂ ni foydali mahsulotlarga aylantirish uchun:

- yuqori bosim va harorat,
- kuchli katalizatorlar,
- yoki elektr/yorug'lik energiyasi talab etiladi.

Bu esa jarayonning energiya samaradorligini pasaytiradi va iqtisodiy jihatdan qimmatlashtiradi.

Katalizator samaradorligi va selektivligi muammosi

CO₂ konversiya jarayonlarida katalizatorlar markaziy rol o'ynaydi. Biroq amaldagi katalizatorlar:

- past selektivlikka ega (keraksiz yon mahsulotlar hosil qiladi),
- tez ishdan chiqadi (deaktivatsiya),
- qimmat metallarga asoslangan (Pt, Ru va boshqalar).

Tahlil:

Bu muammo sanoat miqyosida CO₂ qayta ishlashni iqtisodiy jihatdan cheklaydi. Shuning uchun arzon (Fe, Cu, Ni asosidagi) nano-katalizatorlar ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

Ekologik va xavfsizlik muammolari

Ba'zi CO₂ utilizatsiya usullari (masalan, geologik saqlash) uzoq muddatli ekologik xavflarni keltirib chiqarishi mumkin:

- gazning sizib chiqishi,
- yer osti qatlamlarining beqarorlashuvi,
- ekologik muvozanatning buzilishi.

XULOSA

CO₂ ni kimyoviy qayta ishlash va uglerod neytrallik texnologiyalari zamonaviy kimyo fanining eng muhim va istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Atmosferada karbonat angidrid miqdorining ortib borishi global iqlim o'zgarishi, issiqxona effekti

kuchayishi va ekologik muvozanatning buzilishiga olib kelayotganligi sababli, ushbu muammoni hal qilish dolzarb ilmiy va amaliy vazifa sifatida qaralmoqda.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, CO₂ ni kimyoviy qayta ishlash jarayonlarida asosiy to'siqlar uning yuqori kimyoviy barqarorligi, katalizatorlarning cheklangan samaradorligi, energiya sarfining yuqoriligi hamda sanoat miqyosida qo'llashdagi murakkabliklar bilan bog'liqdir. Shunga qaramasdan, so'nggi yillarda katalitik, elektrokimyoviy, fotokatalitik va biokimyoviy usullar jadal rivojlanib, CO₂ ni foydali kimyoviy mahsulotlarga aylantirish imkoniyatlarini kengaytirmoqda.

Ayniqsa, qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan integratsiyalashgan texnologiyalar CO₂ ni qayta ishlash jarayonlarini ekologik jihatdan xavfsiz va barqaror qilishda muhim rol o'ynamoqda. Metanol, metan, karbonatlar va boshqa organik birikmalarni olish orqali CO₂ nafaqat chiqindi gaz sifatida emas, balki qimmatli kimyoviy xomashyo sifatida qayta baholanmoqda.

Kelajakda nano-katalizatorlar, sun'iy fotosintez tizimlari va sun'iy intellekt asosida boshqariladigan kimyoviy jarayonlarning rivojlanishi "uglerod neytral jamiyat"ga erishish imkoniyatini yanada oshiradi. Bu esa nafaqat ekologik muammolarni kamaytiradi, balki yangi kimyoviy ishlab chiqarish texnologiyalarining shakllanishiga ham zamin yaratadi.

Umuman olganda, CO₂ ni kimyoviy qayta ishlash texnologiyalari kelajak kimyosi va barqaror rivojlanish strategiyasining ajralmas qismi bo'lib, ularning takomillashuvi global ekologik xavfsizlikni ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Xo'jayev A.H. Umumiy kimyo. Toshkent: O'zbekiston Milliy Universiteti nashriyoti, 2019.
2. To'raqulov E.T. Analitik kimyo asoslari. Toshkent, 2021.
3. Raximov S.R. Yashil kimyo va ekologik texnologiyalar. Toshkent, 2022.
4. Валова В.Д. Экологическая химия. Москва: Дрофа, 2018.
5. Глинка Н.Л. Общая химия. Москва: Интеграл-Пресс, 2017.