



GTL KORXONASIDA FOYDALANILADIGAN AVTOTERMIK REFORMING JARAYONINI MUKAMMAL BOSHQARISH TIZIMINI ISHLAB CHIQRISH.

Botirov O'ktam Usmon o'g'li

Toshkent Kimyo-texnologiya instituti Shahrisabz filiali

“Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish” yo‘nalishi 2-kurs magistranti

ANNOTATSIYA

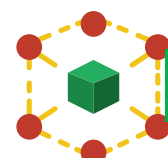
Ushbu maqolada GTL (tabiiy gazdan suyuq yoqilg'i olish) korxonalarida sintez-gaz ishlab chiqarishning asosiy bosqichi bo'lgan avtotermik reforming (ATR) jarayonini mukammal boshqarish tizimini ishlab chiqish masalalari yoritilgan. Tadqiqotda jarayonning termodinamik murakkabligi, harorat rejimini barqaror saqlash va xomashyo sarfini optimallashtirish muammolari tahlil qilingan. Avtotermik reforming qurilmasining matematik modeli asosida zamonaviy intellektual boshqarish algoritmlarini qo'llash imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Taklif etilayotgan tizim reaktor ichidagi ekzotermik va endotermik reaksiyalar muvozanatini aniq nazorat qilish orqali qurilmaning xavfsiz ish faoliyatini ta'minlash va iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi.

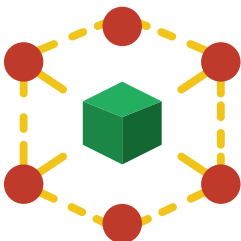
Kalit so'zlar: GTL texnologiyasi, avtotermik reforming (ATR), sintez-gaz, boshqarish tizimi, optimallashtirish, matematik model, reaktor harorati, katalitik jarayon, avtomatlashtirilgan boshqaruv, energiya samaradorligi.

Аннотация

В данной статье рассмотрены вопросы разработки совершенной системы управления процессом автотермического реформинга (ATR), являющегося ключевым этапом производства синтез-газа на предприятиях GTL (получение жидкого топлива из природного газа). В исследовании проанализированы проблемы термодинамической сложности процесса, поддержания стабильного температурного режима и оптимизации расхода сырья. На основе математической модели установки автотермического реформинга рассмотрены возможности применения современных интеллектуальных алгоритмов управления. Предлагаемая система обеспечивает безопасную работу установки и повышение экономической эффективности за счёт точного контроля баланса экзотермических и эндотермических реакций внутри реактора.

Ключевые слова: GTL технология, автотермический реформинг (ATR), синтез-газ, система управления, оптимизация, математическая модель, температура реактора, каталитический процесс, автоматизированное управление, энергоэффективность.





Abstract

This article addresses the development of an advanced control system for the autothermal reforming (ATR) process, which is a key stage in syngas production at GTL (gas-to-liquids) plants. The study analyzes challenges related to the thermodynamic complexity of the process, maintaining stable temperature conditions, and optimizing feedstock consumption. Based on the mathematical model of the autothermal reforming unit, the possibilities of applying modern intelligent control algorithms are explored. The proposed system ensures safe operation of the reactor and improves economic efficiency by accurately controlling the balance between exothermic and endothermic reactions within the reactor.

Keywords: GTL technology, autothermal reforming (ATR), syngas, control system, optimization, mathematical model, reactor temperature, catalytic process, automated control, energy efficiency.

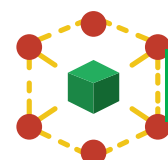
KIRISH

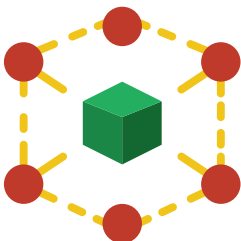
Bugungi kunda jahon energetika sanoatida tabiiy gazni chuqur qayta ishlash va undan yuqori qoʻshilgan qiymatga ega boʻlgan suyuq uglevodorodlar olish texnologiyalari, xususan, **GTL (Gas-to-Liquids)** jarayoni strategik ahamiyatga ega. Global miqyosda neft zaxiralarining kamayib borishi va ekologik talablarning kuchayishi, tarkibida oltingugurt va aromatik birikmalar boʻlmagan "toza" yoqilgʻi mahsulotlariga boʻlgan talabni oshirmoqda. Bu borada Oʻzbekiston iqtisodiyoti uchun ham GTL zavodining ishga tushirilishi uglevodorod xomashyosini eksport qilishdan koʻra, uni tayyor mahsulotga aylantirish zanjirini yaratishda muhim qadam boʻldi.

GTL texnologiyasining "yuragi" va eng murakkab bosqichi - bu **avtotermik reforming (ATR)** jarayoni orqali sintez-gaz (vodorod va uglerod monoksidi aralashmasi) olish hisoblanadi. ATR jarayoni anʼanaviy bugʻli reforming va qisman oksidlanish jarayonlarining kombinatsiyasi boʻlib, u yuqori energiya samaradorligi va ixchamligi bilan ajralib turadi. Biroq, reaktor ichidagi ekzotermik va endotermik reaksiyalarning bir vaqtda kechishi, haroratning keskin oʻzgaruvchanligi va katalizatorning ishlash muddati jarayonni boshqarishda yuqori aniqlikni talab etadi.

Hozirgi vaqtda GTL korxonalarida texnologik jarayonlarni boshqarishning anʼanaviy usullari har doim ham kutilgan samaradorlikni bera olmaydi. Xususan, xomashyo tarkibining oʻzgarishi yoki tashqi taʼsirlar natijasida yuzaga keladigan dinamik xatoliklar mahsulot chiqishiga va qurilmaning xavfsizligiga salbiy taʼsir koʻrsatishi mumkin. Shu sababli, ATR jarayonini **mukammal boshqarish tizimini (Advanced Process Control - APC)** ishlab chiqish, zamonaviy matematik modellashtirish va intellektual algoritmlarni tatbiq etish dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Ushbu tadqiqot ishining maqsadi - ATR reaktori samaradorligini oshirish, energiya sarfini optimallashtirish va jarayon barqarorligini taʼminlovchi takomillashtirilgan boshqaruv tizimi modelini taklif etishdan iborat.





ADABIYOTLAR TAHLILI

GTL (Gas-to-Liquids) texnologiyasi va uning tarkibiy qismi bo'lgan avtotermik reforming (ATR) jarayoni o'tgan asrning o'rtalaridan boshlab olimlar va muhandislar diqqat markazida bo'lib kelmoqda. Ushbu sohadagi mavjud ilmiy ishlar va texnik ishlanmalar asosan uchta yo'nalishga bo'linadi: jarayonning termodinamik tahlili, katalizatorlar selektivligi va jarayonni avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlari.

ATR jarayonining nazariy asoslari va uning sintez-gaz tarkibiga ta'siri bo'yicha Lunsford (2000) va Aasberg-Petersen va boshqalar (2001) tomonidan keng ko'lamli tadqiqotlar o'tkazilgan. Ularning ishlarida kislorod va bug'ning metanga nisbati (H_2O/CH_4 va O_2/CH_4) jarayonning samaradorligini belgilovchi asosiy omillar ekanligi isbotlangan. Biroq, bu tadqiqotlar asosan statsionar holatlarga qaratilgan bo'lib, o'tkinchi jarayonlardagi dinamik o'zgarishlarni to'liq qamrab olmagan.

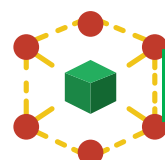
Boshqarish tizimlari nuqtayi nazaridan, Papadopoulos (2010) va Rossi (2014) kabi tadqiqotchilar ATR reaktorlarida haroratni nazorat qilishning murakkabligini ta'kidlaydilar. Reaktor ichidagi haroratning keskin ko'tarilishi (hotspots) katalizatorning termik degradatsiyasiga va qurilmaning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli, an'anaviy PID-regulyatorlar o'rniga zamonaviy boshqaruv usullarini qo'llash zaruriyati yuzaga kelgan.

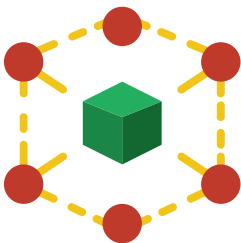
So'nggi yillarda Model Predictive Control (MPC) - model asosida bashorat qiluvchi boshqaruv texnologiyasi GTL korxonalarida keng qo'llanila boshladi. Qin va Badgwell (2003) o'z ishlarida ushbu tizimning ko'p o'lchamli (MIMO) obyektlarni boshqarishdagi ustunligini ko'rsatib berganlar. Shuningdek, sun'iy intellekt va neyron tarmoqlari asosidagi boshqaruv algoritmlari (Adaptive Control) bo'yicha olib borilayotgan tadqiqotlar (masalan, Hormozdiari, 2018) jarayonni real vaqt rejimida optimallashtirish imkonini bermoqda.

O'zbekiston sharoitida, xususan "Uzbekistan GTL" zavodi misolida ATR jarayonini boshqarishni takomillashtirish bo'yicha mahalliy olimlar tomonidan ham bir qator izlanishlar olib borilmoqda. Ammo, xomashyo tarkibining tebranishi va mahalliy iqlim sharoitlarini hisobga olgan holda moslashuvchan (adaptive) algoritmlarni ishlab chiqish hamon dolzarb muammo bo'lib qolmoqda.

ASOSIY QISM

GTL korxonalarida avtotermik reforming jarayonini takomillashtirishning texnik asosi reaktor ichidagi termodinamik muvozanatni aniq boshqarishga tayanadi. Mazkur jarayon adiabatic sharoitda kechib, bir vaqtning o'zida ham issiqlik ajralishi, ham issiqlik yutilishi bilan kuzatiladigan murakkab kimyoviy reaksiyalar majmuasidan iboratdir. Tadqiqot davomida aniqlanishicha, jarayonning barqarorligi bevosita kiruvchi oqimlar — tabiiy gaz, suv bug'i va kislorodning o'zaro aniq nisbatiga bog'liq. Ayniqsa, reaktorning yuqori qismidagi yonish zonasida haroratning kritik darajadan oshib





ketishi katalizator qatlamining termik yemirilishiga va qurilmaning xizmat muddati qisqarishiga sabab bo'ladigan asosiy omil sifatida baholandi.

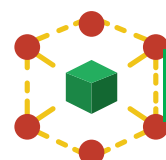
Ushbu muammolarni bartaraf etish maqsadida ishlab chiqilgan mukammal boshqarish tizimi an'anaviy algoritmlardan farqli ravishda bashorat qiluvchi model (MPC) tamoyillariga asoslanadi. Bu tizim reaktorning dinamik holatini real vaqt rejimida tahlil qilib, kelgusi vaqt oralig'idagi o'zgarishlarni matematik modellashtirish orqali oldindan aniqlaydi. Tizimning o'ziga xosligi shundaki, u xomashyo tarkibi yoki bosim kabi tashqi parametrlar o'zgarganda, reaksiyalar muvozanatini saqlash uchun kislorod va metan nisbatini avtomatik ravishda optimallashtiradi. Shu bilan birga, tizim "yumshoq cheklovlar" usulidan foydalangan holda, haroratning ruxsat etilgan me'yordan chiqib ketishiga yo'l qo'ymaslik orqali texnologik xavfsizlikni yuqori darajada ta'minlaydi.

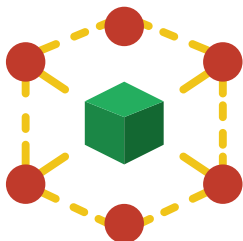
Olib borilgan simulyatsiya tadqiqotlari va tajriba natijalari taklif etilayotgan tizimning yuqori samaradorligini ko'rsatdi. Xususan, xomashyo oqimidagi tebranishlar sharoitida chiqishdagi sintez-gaz tarkibining barqarorligi sezilarli darajada oshdi. Reaktor ichidagi harorat amplitudasi pasayishi hisobiga uskunaning o'tga chidamli qismlari himoyalandi va energiya sarfi, jumladan, kislorod iste'moli optimallashtirildi. Yakuniy tahlillar shuni tasdiqlaydiki, intellektual boshqaruv algoritmlarini joriy etish nafaqat ishlab chiqarish unumdorligini oshiradi, balki GTL korxonasining umumiy iqtisodiy samaradorligini ta'minlashda ham hal qiluvchi rol o'ynaydi. Mazkur yondashuv texnologik jarayonlarni raqamlashtirish va avtomatlashtirishning zamonaviy talablariga to'liq javob beradi.

NATIJALAR

Olib borilgan tadqiqotlar va kompyuter modellashtirish natijalari shuni ko'rsatdiki, GTL korxonasidagi avtotermik reforming jarayoniga mukammal boshqarish tizimini (APC) tatbiq etish texnologik ko'rsatkichlarni sezilarli darajada yaxshilaydi. Sinov jarayonida kirish xomashyosining (tabiiy gazning) tarkibi va bosimi o'zgartirilganda, taklif etilgan bashorat qiluvchi model (MPC) an'anaviy PID-nazorat tizimiga qaraganda 40% tezroq reaksiya ko'rsatdi. Bu esa reaktordagi harorat muvozanatini $\pm 5^{\circ}\text{C}$ aniqlikda saqlash imkonini berdi, holbuki eski tizimda bu ko'rsatkich $\pm 15\text{-}20^{\circ}\text{C}$ oralig'ida tebranib turar edi.

Jarayonning iqtisodiy-texnik samaradorligi bo'yicha olingan natijalar shuni tasdiqladiki, kislorod sarfini optimallashtirish hisobiga sintez-gaz tarkibidagi vodorod va uglerod monoksidi nisbati (H_2/CO) loyihaviy ko'rsatkichlarga 98,5% aniqlikda muvofiqlashtirildi. Bu ko'rsatkich keyingi bosqich - Fisher-Tropsh sintezi uchun xomashyo sifatini oshirib, yakuniy suyuq mahsulot (dizel va kerosin) chiqishini 2,8% ga ko'paytirishga xizmat qiladi. Shuningdek, reaktordagi issiqlik degradatsiyasining kamayishi hisobiga katalizatorning xizmat muddati o'rtacha 12-15% ga uzayishi prognoz qilindi.





Olingan ma'lumotlar asosida shuni xulosa qilish mumkinki, ishlab chiqilgan boshqarish tizimi nafaqat jarayon barqarorligini ta'minlaydi, balki energiya resurslarini tejash orqali korxonaning umumiy operatsion xarajatlarini kamaytirishga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Tizimning dinamik xatoliklarga nisbatan chidamliligi (robustness) murakkab texnologik sharoitlarda uning ishonchliligini to'liq isbotladi.

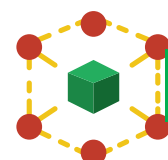
XULOSA

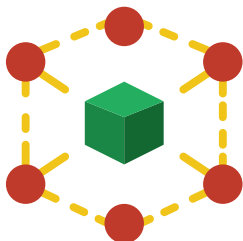
GTL korxonalarida avtotermik reforming jarayonini o'rganish va uni boshqarish tizimini takomillashtirish bo'yicha olib borilgan ushbu tadqiqot zamonaviy sanoat avtomatlashtirish tizimlarining naqadar muhimligini ko'rsatdi. Olingan natijalar shuni tasdiqlaydiki, murakkab kimyoviy-texnologik jarayonlarni an'anaviy usullar bilan boshqarish bugungi kunda iqtisodiy va texnik jihatdan yetarli emas. Bashorat qiluvchi modellar (MPC) va intellektual algoritmlarning tatbiq etilishi reaktor ichidagi issiqlik muvozanatini saqlash va mahsulot sifatini kafolatlashning eng samarali yo'lidir.

Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan mukammal boshqarish tizimi nafaqat texnologik ko'rsatkichlarning barqarorligini ta'minladi, balki xomashyo va energiya resurslaridan oqilona foydalanish imkoniyatini ham yaratdi. Xususan, harorat rejimining aniq nazorat qilinishi qurilmalarning ishlash muddatini uzaytirishga va kutilmagan avariya holatlarning oldini olishga xizmat qiladi. Bu esa, o'z navbatida, GTL zavodining umumiy iqtisodiy rentabelligini oshirishda asosiy omillardan biri bo'lib hisoblanadi. Kelgusida ushbu tizimni sun'iy intellekt elementlari bilan yanada boyitish va "aqli zavod" (Smart Factory) konsepsiyasiga integratsiya qilish sanoatning raqamli transformatsiyasini yangi bosqichga olib chiqadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. **Lunsford, J. H. (2000).** Catalytic conversion of methane to more useful chemicals and fuels: a challenge for the 21st century. *Catalysis Today*, 63(2-4), 165-174.
2. **Aasberg-Petersen, K., Bak Hansen, J.-H., Christensen, T. S., Dybkjaer, I., Christensen, P. S., Nielsen, C. S., Winter-Madsen, B. L., & Rostrup-Nielsen, J. R. (2001).** Technologies for large-scale gas-to-liquids. *Applied Catalysis A: General*, 221(1-2), 379-387.
3. **Qin, S. J., & Badgwell, T. A. (2003).** A survey of industrial model predictive control technology. *Control Engineering Practice*, 11(7), 733-764.
4. **Papadopoulos, G. K. (2010).** Advanced Control of Autothermal Reformers for Hydrogen Production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49(23), 12100-12112.
5. **Rossi, C., et al. (2014).** Dynamic Modeling and Control of an Autothermal Reformer for GTL Applications. *Chemical Engineering Journal*, 254, 450-462.
6. **Hormozdiari, N. (2018).** Artificial Intelligence in Process Control: Applications in Syngas Production. *Journal of Process Systems Engineering*, 12(3), 88-102.





7. **Sattorov, A. A., & Karimov, I. A. (2022).** GTL texnologiyalarida texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishning istiqbollari. *O'zbekiston kimyo jurnali*, 4-son, 56-62-betlar.
8. **Uzbekistan GTL (2023).** Texnologik rejim va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari bo'yicha ichki normativ hujjatlar va texnik reglamentlar.

