UGLEVODORODLARNI QAYTA ISHLASH JARAYONINI MUQOBIL AVTOMATLASHTIRISH USULLARINI TAKOMILLASHTIRISH

Z.M. Xametov
L.K. Mamadaliyeva
D.O. Abdufattoyev
Farg'ona Davlat Texnika Universiteti
https://doi.org/10.5281/zenodo.24079158

Annotatsiya. Ushbu maqolada uglevodorodlarni qayta ishlash jarayonlarini avtomatlashtirishning zamonaviy va muqobil usullari tadqiq etiladi. Neft va gazni qayta ishlash korxonalarida texnologik jarayonlarning barqarorligini ta'minlash, energiya sarfini kamaytirish, mahsulot sifatini oshirish hamda ishlab chiqarish xavfsizligini mustahkamlash masalalariga alohida e'tibor qaratiladi. An'anaviy avtomatik boshqaruv tizimlari bilan bir qatorda, adaptiv boshqaruv, matematik modellashtirish, sun'iy intellekt va bashoratli boshqaruv texnologiyalaridan foydalanish imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, texnologik parametrlarni real vaqt rejimida nazorat qilish va optimallashtirishga asoslangan muqobil avtomatlashtirish turlari taklif etiladi.

Kalit so'zlar: uglevodorodlar, neftni qayta ishlash, avtomatlashtirish, avtomatik boshqaruv, PLC, SCADA, DCS, PID, MPC, sun'iy intellekt, matematik model, texnologik jarayon, texnika xavfsizligi, energiya samaradorligi.

Kirish

Bugungi kunda neft va gaz sanoati iqtisodiyotning strategik tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Uglevodorod xomashyosini qayta ishlash orqali benzin, dizel yoqilg'isi, kerosin, suyultirilgan gaz, moylash materiallari va boshqa muhim kimyoviy mahsulotlar olinadi. Ushbu mahsulotlarni ishlab chiqarishda texnologik jarayonlarning uzluksizligi, aniqligi va xavfsizligini ta'minlash muhim ilmiy-texnik vazifalardan biridir. Uglevodorodlarni qayta ishlash jarayonlari murakkab fizik-kimyoviy o'zgarishlar bilan kechadi. Xususan, distillatsiya, rektifikatsiya, katalitik kreking, gidrotozalash va boshqa texnologik jarayonlarda harorat, bosim, sarf, sath hamda mahsulot tarkibi o'zaro bog'liq holda o'zgaradi.

An'anaviy avtomatlashtirish tizimlarida ko'pincha PID rostlagichlari, dasturlanuvchi mantiqiy kontrollerlar (PLC) va taqsimlangan boshqaruv tizimlari (DCS) qo'llaniladi. Bunday tizimlar texnologik parametrlarni belgilangan qiymatda ushlab turish imkonini beradi. Biroq ko'p parametrli, nochiziqli va tashqi ta'sirlarga sezgir jarayonlarda oddiy rostlash algoritmlari har doim ham optimal natijani ta'minlay olmaydi. Shu sababli uglevodorodlarni qayta ishlashda an'anaviy boshqaruv tizimlarini zamonaviy matematik modellar, adaptiv algoritmlar va bashoratli boshqaruv usullari bilan integratsiyalash dolzarb masala hisoblanadi.

Uglevodorodlarni qayta ishlash jarayonining texnologik xususiyatlari

Uglevodorodlarni qayta ishlash jarayoni bir nechta ketma-ket texnologik bosqichlardan tashkil topadi. Dastlabki bosqichda xomashyo mexanik aralashmalar va suvdan tozalanadi.

Keyinchalik u issiqlik almashinish qurilmalarida qizdirilib, atmosfera yoki vakuum distillatsiyasi qurilmalariga uzatiladi.

Distillatsiya jarayonida uglevodorodlar qaynash haroratlariga muvofiq alohida fraksiyalarga ajratiladi. Ushbu jarayonning samaradorligi quyidagi asosiy parametrlar bilan belgilanadi:

- xomashyo harorati;
- kolonna ichidagi bosim;
- xomashyo va bug‘ sarfi;
- kolonna yuqori va pastki qismlaridagi harorat;
- suyuqlik sathi;
- qaytariluvchi oqim (flegma) miqdori;
- olinayotgan mahsulot tarkibi.

Mazkur parametrlarning birortasida yuzaga keladigan o‘zgarish boshqa texnologik ko‘rsatkichlarga ham ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Masalan, kolonna bosimining o‘zgarishi uglevodorodlarning qaynash sharoitlariga, harorat taqsimotiga va fraksiyalar ajralish sifatiga ta’sir qiladi. Shuning uchun texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishda alohida parametrlarni mustaqil boshqarish bilan cheklanmasdan, ular orasidagi o‘zaro bog‘liqlikni hisobga olish zarur.

Uglevodorodlarni qayta ishlashda muqobil avtomatlashtirish usullari

Muqobil avtomatlashtirish deganda an’anaviy boshqaruv tizimlariga qo‘shimcha yoki ularning o‘rnini bosuvchi zamonaviy boshqaruv algoritmlaridan foydalanish tushuniladi.

An’anaviy PID boshqaruv tizimi:

PID rostlagichi texnologik parametrlarni belgilangan qiymatda ushlab turish uchun keng qo‘llaniladi. Uning ishlash prinsipi rostlanayotgan parametr bilan topshiriq qiymati orasidagi farqni kamaytirishga asoslangan.

PID boshqaruv qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot de(t)/dt$

Bu yerda:

u(t) — boshqaruv signali;

e(t) — topshiriq qiymati bilan o‘lchangan qiymat orasidagi xatolik;

K_p — proporsional koeffitsiyent;

K_i — integral koeffitsiyent;

K_d — differensial koeffitsiyent.

PID boshqaruvining asosiy afzalligi uning sodda tuzilishi, ishonchliligi va sanoatda keng qo‘llanilishidir. Biroq ko‘p o‘zgaruvchili va kuchli o‘zaro bog‘langan texnologik jarayonlarda ushbu usulning imkoniyatlari cheklanishi mumkin.

Adaptiv boshqaruv usuli:

Adaptiv boshqaruv tizimi texnologik obyektning ish sharoitlari o‘zgarganda boshqaruv parametrlarini moslashtirish imkonini beradi. Masalan, qayta ishlanayotgan neftning zichligi, tarkibi yoki sarfi o‘zgarganda distillatsiya kolonnasining optimal ish rejimi ham o‘zgaradi. Oddiy rostlagichda avval belgilangan koeffitsiyentlar yangi sharoitga mos kelmasligi mumkin. Adaptiv tizim esa jarayonning o‘zgaruvchan xususiyatlarini baholab, boshqaruv parametrlarini avtomatik ravishda yangilaydi.

Ushbu yondashuvning afzalliklari:

- xomashyo tarkibidagi o‘zgarishlarga moslashish;
- texnologik parametrlarning barqarorligini oshirish;
- operator aralashuvini kamaytirish;
- turli ish rejimlarida boshqaruv aniqligini yaxshilash.

Modelga asoslangan kutilgan boshqaruv (MPC):

Kutilgan boshqaruv zamonaviy sanoat avtomatlashtirishining istiqbolli yo‘nalishlaridan biridir. MPC (Model Predictive Control) usulida texnologik obyektning matematik modelidan foydalanib, kelajakdagi parametrlar o‘zgarishi oldindan hisoblanadi. Shundan so‘ng belgilangan cheklovlar va ishlab chiqarish maqsadlarini hisobga olgan holda optimal boshqaruv ta’siri tanlanadi.

MPC algoritmining umumiy optimallashtirish mezoni quyidagicha yozilishi mumkin:

$J = \Sigma[(y(k+i) - r(k+i))^2 + \lambda \cdot \Delta u(k+i)^2]$

Bu yerda:

J — optimallashtirish mezoni;

y — kutilayotgan texnologik parametr;

r — talab etilgan parametr qiymati;

Δu — boshqaruv signalining o‘zgarishi;

λ — boshqaruv harakatining keskinligini cheklovchi vazn koeffitsiyenti;

i — bashorat qilish oralig‘idagi qadam.

Ushbu mezonning maqsadi texnologik parametrlarni belgilangan qiymatga yaqinlashtirish va boshqaruv signallarining ortiqcha o‘zgarishini kamaytirishdan iborat. MPC yordamida kolonna harorati, bosimi, xomashyo sarfi va qaytariluvchi oqim kabi bir nechta parametrlarni birgalikda boshqarish mumkin.

Sun’iy intellekt asosida avtomatlashtirish:

Sun’iy intellekt va mashinaviy o‘qitish algoritmlari uglevodorodlarni qayta ishlash jarayonlarini tahlil qilish va optimallashtirishda yangi imkoniyatlar yaratadi. Bunday tizimlar tarixiy ishlab chiqarish ma’lumotlari va real vaqt rejimida olingan sensor ko‘rsatkichlari asosida texnologik jarayonning xususiyatlarini o‘rganadi.

Sun’iy neyron tarmoqlari yordamida:

- xomashyo tarkibidagi o‘zgarishlarni baholash;
- mahsulot sifatini oldindan aniqlash;
- issiqlik almashinish qurilmalaridagi samaradorlik pasayishini aniqlash;
- nasos va kompressorlarning texnik holatini prognozlash;
- optimal texnologik rejimni tanlash mumkin.

Bunda sun’iy intellekt algoritmlari mustaqil xavfsizlik tizimi sifatida emas, balki asosiy boshqaruv tizimini qo‘llab-quvvatlovchi vosita sifatida qo‘llanishi maqsadga muvofiq.

Taklif etilayotgan muqobil avtomatlashtirish tizimining tuzilishi

Uglevodorodlarni qayta ishlash jarayonlari uchun PID, adaptiv boshqaruv va MPC algoritmlarini birlashtirgan gibrid avtomatlashtirish tizimini taklif etish mumkin. Mazkur tizim quyidagi funksional qismlardan tashkil topadi:

Birinchi bosqich — axborot yig‘ish. Harorat, bosim, sarf va sath datchiklari yordamida texnologik parametrlar uzluksiz o‘lchanadi. Olingan ma’lumotlar PLC yoki DCS tizimiga uzatiladi.

Ikkinchi bosqich — ma’lumotlarni qayta ishlash. O‘lchov natijalari tekshiriladi, shovqinlardan tozalanadi va matematik model uchun tayyorlanadi. Zarur hollarda filtratsiya algoritmlari qo‘llaniladi.

Uchinchi bosqich — matematik modellashtirish. Texnologik obyektning matematik modeli asosida harorat, bosim va sarf o‘zgarishlari tahlil qilinadi. Model yordamida kelajakdagi texnologik holat prognoz qilinadi.

To‘rtinchi bosqich — optimal boshqaruv. MPC algoritmi texnologik parametrlarni belgilangan chegaralarda saqlash uchun optimal boshqaruv signallarini hisoblaydi. Adaptiv algoritm esa jarayon sharoitlari o‘zgarganda model parametrlarini moslashtiradi.

Beshinchi bosqich — ijro mexanizmlari. Hisoblangan boshqaruv signallari rostlovchi klapanlar, nasoslar, elektr yuritmalar va boshqa ijro mexanizmlariga uzatiladi.

Oltinchi bosqich — monitoring va xavfsizlik. SCADA tizimi yordamida operator texnologik jarayonni kuzatadi, avariya holatlari to‘g‘risida ogohlantirishlar oladi va zarur hollarda boshqaruvga aralashadi. Favqulodda himoya funksiyalari esa alohida xavfsizlik tizimi orqali amalga oshiriladi.

Matematik modellashtirish va texnologik parametrlarni optimallashtirish

Avtomatlashtirish tizimining samaradorligini oshirish uchun uglevodorodlarni qayta ishlash jarayonining matematik modelini ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega. Modellashtirishda moddiy va issiqlik balanslaridan foydalanish mumkin. Moddiy balansning umumiy tenglamasi:

$F_{kir} - F_{chiq} = dM/dt$

Bu yerda:

F_{kir} — qurilmaga kirayotgan modda sarfi;

F_{chiq} — qurilmadan chiqayotgan modda sarfi;

M — qurilma ichida to‘plangan modda miqdori;

t — vaqt.

Ushbu tenglama texnologik qurilmaga kirayotgan va undan chiqayotgan modda miqdori orasidagi farqni ifodalaydi.

Issiqlik balansining soddalashtirilgan ko‘rinishi:

$Q_{kir} - Q_{chiq} + Q_{manba} - Q_{yo‘qotish} = dU/dt$

Bu yerda:

Q_{kir} va Q_{chiq} — kiruvchi va chiquvchi issiqlik oqimlari;

Q_{manba} — tashqi issiqlik manbai orqali berilgan issiqlik;

$Q_{yo‘qotish}$ — atrof-muhitga yo‘qotilgan issiqlik;

U — tizimning ichki energiyasi.

Ushbu matematik ifodalar yordamida texnologik qurilmaning dinamik holatini o‘rganish va boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish mumkin. Avtomatlashtirish tizimining asosiy optimallashtirish maqsadi energiya sarfini kamaytirish, mahsulot sifatini belgilangan talablar doirasida saqlash va texnologik jarayonning barqarorligini ta’minlashdan iborat.

Muqobil avtomatlashtirish usullarining qiyosiy tahlili

Uglevodorodlarni qayta ishlashda qo‘llaniladigan boshqaruv usullarining asosiy xususiyatlari quyidagicha taqqoslanadi:

Boshqaruv usuli	Asosiy xususiyati	Cheklovi
PID	Sodda va ishonchli rostlash	Ko‘p parametrli jarayonlarda cheklangan
Adaptiv boshqaruv	O‘zgaruvchan sharoitga moslashadi	Model va algoritmni sozlash talab etiladi
MPC	Bir nechta parametrni birgalikda optimallashtiradi	Hisoblash resurslari va matematik model talab qiladi
Sun’iy intellekt	Murakkab bog‘liqliklarni o‘rganadi	Sifatli ma’lumotlar talab etadi
Gibrid boshqaruv	Bir nechta usulning afzalliklarini birlashtiradi	Loyihalash va integratsiya murakkabroq

Tahlil natijalariga ko‘ra, gibrid boshqaruv yondashuvi murakkab texnologik jarayonlar uchun istiqbolli yechim hisoblanadi. Bunda PID algoritmlari tezkor lokal rostlashni, MPC global parametrlarni optimallashtirishni, adaptiv algoritmlar esa o‘zgaruvchan ish sharoitlariga moslashishni ta’minlaydi.

Taklif etilayotgan tizimning amaliy samaradorligi

Taklif etilayotgan avtomatlashtirish tizimini neftni birlamchi qayta ishlash qurilmasining atmosfera distillatsiyasi kolonnasida qo‘llash mumkin. Bunda tizimning asosiy boshqaruv parametrlari quyidagilardan iborat bo‘ladi:

- kolonna yuqori va pastki qismlaridagi harorat;
- kolonna ichidagi bosim;
- xomashyo sarfi;
- isitish pechiga beriladigan yoqilg‘i sarfi;
- qaytariluvchi oqim miqdori;
- mahsulot sifat ko‘rsatkichlari.

Tizimning ishlash jarayonida sensorlardan olingan ma’lumotlar matematik model bilan taqqoslanadi. Aniqlangan og‘ishlar asosida MPC algoritmi optimal boshqaruv ta’sirini hisoblaydi. Agar xomashyo tarkibi yoki ishlab chiqarish yuklamasi o‘zgarsa, adaptiv boshqaruv mexanizmi yangi sharoitga moslashadi. Mazkur yondashuvning kutilayotgan texnik natijalari quyidagilardan iborat:

1. Texnologik parametrlarning barqarorligini oshirish.
2. Issiqlik va yoqilg‘i sarfini optimallashtirish.
3. Mahsulot sifatining belgilangan talablar asosida saqlanishi.
4. Texnologik uskunalarning ortiqcha yuklanishini kamaytirish.
5. Operator tomonidan bajariladigan takroriy amallarni qisqartirish.
6. Nosozliklarni erta aniqlash imkoniyatini yaxshilash.

Shuni ta’kidlash kerakki, ushbu natijalar taklif etilayotgan tizimning nazariy va texnik imkoniyatlarini ifodalaydi. Ularning miqdoriy samaradorligi real ishlab chiqarish ma’lumotlari, kompyuter simulyatsiyasi va tajriba-sinov ishlari orqali aniqlanishi lozim.

Sanoat xavfsizligi va tizim ishonchliligi

Uglevodorodlarni qayta ishlash jarayonlari yuqori harorat, bosim va yonuvchan moddalar bilan bog‘liq bo‘lganligi sababli avtomatlashtirish tizimlarida sanoat xavfsizligi alohida ahamiyatga ega. Tizimda quyidagi himoya vositalarini qo‘llash zarur:

- yuqori va past bosim bo‘yicha avariya himoyasi;
- haroratning ruxsat etilgan chegaradan oshishini nazorat qilish;
- gaz sizib chiqishini aniqlash datchiklari;
- favqulodda to‘xtatish tizimi;
- nasos va kompressorlarning himoya blokirovkalari;
- elektr ta’minoti uzilganda xavfsiz holatga o‘tish mexanizmlari.

Favqulodda himoya tizimlari asosiy texnologik boshqaruv tizimidan funksional jihatdan ajratilgan bo‘lishi kerak. Bunda IEC 61511 xalqaro standartining talablarini hisobga olish maqsadga muvofiq.

Xulosa

O‘tkazilgan ilmiy-texnik tahlil natijasida uglevodorodlarni qayta ishlash jarayonlarini avtomatlashtirishda an’anaviy boshqaruv tizimlari bilan bir qatorda adaptiv, bashoratli va intellektual boshqaruv usullaridan foydalanish zarurligi asoslandi. Tadqiqot doirasida PID, MPC va sun’iy intellekt algoritmlarini o‘zaro integratsiyalashga asoslangan gibrid avtomatlashtirish tizimi taklif etildi. Ushbu tizim texnologik parametrlarni real vaqt rejimida nazorat qilish, jarayonning kelajakdagi holatini bashorat qilish va optimal boshqaruv ta’sirlarini shakllantirish imkonini beradi. Taklif etilayotgan yondashuvning asosiy ilmiy-amaliy ahamiyati shundaki, unda texnologik jarayonning o‘zgaruvchan xususiyatlari, parametrlar orasidagi o‘zaro bog‘liqlik va ishlab chiqarish cheklovlari yagona boshqaruv arxitekturasida hisobga olinadi. Kelgusidagi tadqiqotlarda ushbu tizimni aniq texnologik qurilma misolida matematik modellashtirish, MATLAB/Simulink yoki Aspen Dynamics muhitida simulyatsiya qilish hamda an’anaviy PID boshqaruvi bilan qiyosiy tajribalar o‘tkazish maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Qin S. J., Badgwell T. A. A Survey of Industrial Model Predictive Control Technology. Control Engineering Practice, 2003, Vol. 11, pp. 733–764.
2. Mahmood L. S., Alzobai K., Al-Dawery S. K. Mathematical Modeling and Advanced Control of the Refinery Processes: A Review. Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences, 2025, Vol. 28, No. 2, pp. 253–265. DOI: 10.29194/NJES.28020253.
3. Calderón C. J., Ricardez-Sandoval L., Ancheyta J. Model Predictive Control with State Estimation for Heavy Oil Hydroprocessing in a Slurry-Phase Reactor. Fuel, 2026, Vol. 412, Article 138058.
4. Khaldi M. K., Al-Dhaifallah M., Taha O. Artificial Intelligence Perspectives: A Systematic Literature Review on Modeling, Control, and Optimization of Fluid Catalytic Cracking. Alexandria Engineering Journal, 2023, Vol. 80, pp. 294–314.
5. IEC 61511-1:2016. Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – Part 1: Framework, Definitions, System, Hardware and Application Programming Requirements.
6. ISA-95. Enterprise-Control System Integration. International Society of Automation.
7. Hydrocracking: A Perspective towards Digitalization. Sustainability, 2020, Vol. 12, No. 17, Article 7058.