

AVTOTERMİK RIFORMING REAKTORIDA METAN OQIMI O'ZGARISHINING SINTEZ-GAZ H₂/CO NISBATI VA FISCHER-TROPSCH WAX MAHSULOTLARI SELEKTIVLIGIGA TA'SIRIBeshimov Umiddjon To'liqin o'g'li¹, Maxsumov Abduhamid Gafurovich¹, Jumayev Shaxobiddin Shamsidinovich¹, Azamatov O'tkirbek Rashidovich¹, Mashayev Eldor Ergashvoy o'g'li^{1,*}¹ Toshkent kimyo-texnologiya instituti

ORCID (Maxsumov A.G.): 0000-0002-8535-3950

ORCID (Jumayev Sh.Sh.): 0000-0002-1938-1478

ORCID (Azamatov O'R.): 0000-0001-6194-8610

ORCID (Mashayev E.E.): 0000-0003-4594-3670

* Corresponding author: e.mashaev@tkti.uz

ARTICLE INFO

Dates:

Received: 02.06.2026

Accepted: 10.06.2026

Published: 17.06.2026

DOI:

10.66960/jof.3093-8899.00030

Copyright:

CC BY 4.0

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada O'zbekiston GTL zavodining ATR (Autothermal Reforming) qurilmasida tabiiy gaz (metan) sarfining o'zgarishi natijasida sintez-gaz tarkibi, xususan H₂/CO nisbatining o'zgarishi va uning Fischer-Tropsch sintezi mahsulotlari selektivligiga ta'siri o'rganildi. Tadqiqot davomida metan sarfining turli darajalarda kamayishi sharoitida sintez-gaz tarkibidagi CO, H₂ va CO₂ komponentlarining o'zgarish qonuniyatlarini nazariy hisob-kitoblar hamda ishlab chiqarish jarayonidagi texnologik ma'lumotlar asosida tahlil qilindi. Jarayon parametrlarining o'zaro bog'liqligi Python dasturlash muhiti yordamida modellashtirildi. Fischer-Tropsch jarayonida hosil bo'lgan sintetik wax mahsulotlarining tarkibi Simulated Distillation (SimDist ASTM D7169) usuli yordamida gaz xromatografik tahlili orqali baholandi. Tahlil natijalari tabiiy gaz ta'minotidagi beqarorlik H₂/CO nisbatining ortishiga olib kelishi, natijada og'ir parafinlar (C₂₀-C₃₀) hosildorligining kamayishi hamda yengil uglevodorodlar va kislorodli birikmalar ulushining ortishini ko'rsatdi. Aksincha, metan oqimi barqaror va H₂/CO nisbati 1,97 atrofida saqlangan sharoitda yuqori molekuli wax fraksiyalari hosil bo'lishi kuzatildi. Tadqiqot natijalari GTL texnologiyasida sintez-gaz tarkibini doimiy nazorat qilish va metan-oksidlovchi nisbatini optimallashtirish Fischer-Tropsch mahsulotlari selektivligini boshqarish hamda yuqori sifatli sintetik mum ishlab chiqarishning muhim omili ekanligini ko'rsatdi. **Kalit so'zlar:** GTL texnologiyasi, ATR reaktori, sintez-gaz, H₂/CO nisbati, Fischer-Tropsch sintezi, sintetik wax, metan konversiyasi, SimDist ASTM D7169, gaz xromatografiyasi, mahsulot selektivligi

АННОТАЦИЯ

В данной статье исследовано влияние изменения расхода природного газа (метана) в установке автотермического риформинга (ATR) завода Uzbekistan GTL на состав синтез-газа, в частности на изменение соотношения H₂/CO, а также на селективность продуктов синтеза Фишера-Тропша. Закономерности изменения концентраций CO, H₂ и CO₂ при различных уровнях снижения расхода метана были проанализированы на основе теоретических расчетов и реальных технологических данных промышленного процесса. Взаимосвязь технологических параметров была смоделирована с использованием программной среды Python. Состав синтетического воска, полученного в процессе синтеза Фишера-Тропша, был исследован методом газохроматографического анализа с применением метода имитированной дистилляции (Simulated Distillation, SimDist ASTM D7169). Результаты показали, что нестабильность подачи природного газа приводит к увеличению соотношения H₂/CO, что сопровождается снижением выхода тяжелых парафиновых фракций (C₂₀-C₃₀) и увеличением доли легких углеводородов и кислородсодержащих соединений. Напротив, при стабильном расходе метана и поддержании соотношения H₂/CO на уровне около 1,97 наблюдается образование высокомолекулярных восковых фракций. Полученные результаты показывают, что постоянный контроль состава синтез-газа и оптимизация соотношения метан-окислитель являются важными факторами управления селективностью продуктов синтеза Фишера-Тропша и получения высококачественного синтетического воска в технологии GTL.

Ключевые слова: GTL-технология, реактор автотермического риформинга (ATR), синтез-газ, соотношение H₂/CO, синтез Фишера-Тропша, синтетический воск, конверсия метана, SimDist ASTM D7169, газовая хроматография, селективность продуктов

ABSTRACT

This study investigates the effect of natural gas (methane) flow variation in the Autothermal Reforming (ATR) unit of the Uzbekistan GTL plant on syngas composition, particularly the H₂/CO ratio, and its influence on the selectivity of Fischer-Tropsch synthesis products. The changes in CO, H₂, and CO₂ concentrations under different levels of methane flow reduction were analyzed using theoretical calculations and real industrial process data. The relationships between process parameters were modeled using the Python programming environment. The composition of synthetic wax products obtained from the Fischer-Tropsch process was evaluated using gas chromatographic analysis based on the Simulated Distillation (SimDist ASTM D7169) method. The results showed that instability in natural gas supply led to an increase in the H₂/CO ratio, resulting in a decrease in the yield of heavy paraffin fractions (C₂₀-C₃₀) and an increase in the proportion of light hydrocarbons and oxygen-containing compounds. In contrast, under stable methane flow conditions with an H₂/CO ratio maintained around 1.97, the formation of high-molecular-weight wax fractions was observed. The findings demonstrate that continuous control of syngas composition and optimization of the methane-to-oxidant ratio are critical factors for controlling Fischer-Tropsch product selectivity and producing high-quality synthetic wax in GTL technology.

Keywords: GTL technology, Autothermal Reforming (ATR) reactor, syngas, H₂/CO ratio, Fischer-Tropsch synthesis, synthetic wax, methane conversion, SimDist ASTM D7169, gas chromatography, product selectivity

Iqtibos uchun / How to cite:

Beshimov U.T., Maxsumov A.G., Jumayev Sh.Sh., Azamatov O'R., Mashayev E.E. Avtotermik riforming reaktorida metan oqimi o'zgarishining sintez-gaz H₂/CO nisbati va Fischer-Tropsch wax mahsulotlari selektivligiga ta'siri // Journal of future. 2026. Vol. 2. Iss. 3. pp. 8-12. <https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00030>

Kirish

Dunyo miqyosida ekologik toza va yuqori sifatli motor yoqilg'ilariga bo'lgan talabning ortib borishi tabiiy gazni chuqur qayta ishlashga asoslangan Gas-to-Liquids (GTL) texnologiyalarining jadal rivojlanishiga sabab bo'lmoqda. GTL jarayonining asosiy afzalliklaridan biri tabiiy gaz tarkibidagi metanni sintetik suyuq yoqilg'ilar, parafinlar, mum (wax) mahsulotlari va boshqa yuqori qo'shimcha qiymatga ega uglevodorodlarga aylantirish imkoniyatidir. Ushbu texnologiyada sintez-gaz ishlab chiqarish va undan Fischer-Tropsch sintezi orqali uglevodorodlar hosil qilish asosiy texnologik bosqichlar hisoblanadi [1].

GTL texnologiyasida sintez-gaz sifati, ayniqsa vodorod va uglerod(II)-oksidning molyar nisbati (H₂/CO) Fischer-Tropsch reaktorining ishlash samaradorligini belgilovchi eng muhim parametrlaridan biri hisoblanadi. Kobalt asosidagi katalizatorlarda uzun zanjirli parafinlar va yuqori molekuli wax mahsulotlarini olish uchun H₂/CO nisbati odatda 1,8-2,1 oralig'ida bo'lishi tavsiya etiladi. Ushbu nisbatning kamayishi uglerod zanjirining o'sish mexanizmini sekinlashtirishi, ortishi esa gidrogenlan-

ish va zanjir uzilishi reaksiyalarining kuchayishiga olib keladi, natijada metan va yengil uglevodorodlar hosil bo'lish selektivligi oshadi [2-4].

Sintez-gaz tarkibini boshqarishning eng samarali usullaridan biri avtotermik riforming (ATR) texnologiyasidir. ATR jarayonida metanning qisman oksidlanishi va bug'li konversiya reaksiyalari bir vaqtda kechadi. Reaktorga uzatilayotgan tabiiy gaz, kislorod va suv bug'ining o'zaro nisbati o'zgarishi sintez-gaz tarkibiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa, tabiiy gaz ta'minotidagi beqarorlik yoki metan oqimining pasayishi ATR reaktorida kislorodning nisbiy ortishiga, CO miqdorining kamayishiga hamda H₂/CO nisbatining o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Bu esa keyingi Fischer-Tropsch bosqichida mahsulot tarkibi va selektivligining o'zgarishiga sabab bo'ladi [5].

Materiallar va metodlar

Ushbu tadqiqotda O'zbekiston GTL zavodining avtomatik termik riforming (ATR) qurilmasida tabiiy gaz sarfining o'zgarishi natijasida sintez-gaz tarkibi hamda Fischer-Tropsch sintezi natijasida

hosil bo'ladigan sintetik mum (wax) mahsulotining komponent tarkibiga ta'siri o'rganildi. Tadqiqot jarayonida ishlab chiqarishning real texnologik ko'rsatkichlari, jarayon nazorat tizimidan olingan trend ma'lumotlari, kimyoviy hisoblash usullari hamda laboratoriya xromatografik tahlillari qo'llanildi.

Tadqiqotning birinchi bosqichida ATR reaktoriga berilayotgan metan oqimi asosiy o'zgaruvchi parametrlar sifatida tanlandi. Metan sarfi nominal holatga nisbatan 100

Jarayon parametrlarining o'zgarishi zavodning texnologik nazorat tizimi ma'lumotlari asosida tahlil qilindi. Tabiiy gaz sarfi, vodorod, uglerod(II)-oksid, uglerod(IV)-oksid oqimlari hamda H₂/CO nisbatining vaqt bo'yicha o'zgarish trendlari solishtirildi. Olingan statistik ma'lumotlar Python dasturlash muhiti yordamida qayta ishlanib, metan sarfining sintez-gaz tarkibi va mahsulot selektivligiga ta'sirini ifodalovchi grafik bog'liqliklar qurildi.

Fischer-Tropsch jarayonida hosil bo'lgan sintetik mum mahsulotlarining tarkibiy tahlili O'zbekiston GTL zavodi markaziy laboratoriyasida amalga oshirildi. Mahsulot namunalari tabiiy gaz ta'minotidagi beqaror holat (12.02.2026-yil) hamda gaz ta'minoti barqarorlashgan holatdan so'ng (25.03.2026-yil) olinib, yuqori molekulyar uglevodorodlarning taqsimoti Simulated Distillation (SimDist) usuli bo'yicha ASTM D7169 standartiga muvofiq gaz xromatografiyasi yordamida aniqlanildi. Tahlil natijalari asosida C₁₃-C₈₀ oralig'idagi parafinlar, yengil uglevodorodlar hamda kislorodli birikmalarning miqdoriy tarkibi baholandi.

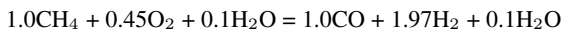
Olingan eksperimental va hisoblash natijalari o'zaro taqqoslandi hamda metan sarfining kamayishi natijasida H₂/CO nisbatining ortishi, Fischer-Tropsch jarayonida zanjir o'sish ehtimolining pasayishi va og'ir mum fraksiyalari o'rniga yengil uglevodorodlar hamda kislorodli birikmalar hosil bo'lish tendensiyasi ilmiy jihatdan tahlil qilindi.

Natijalar va muhokama

H₂/CO nisbatining metan konversiyasi ko'rsatkichlariga va Fisher-Tropsch sintezi mahsulotlariga ta'siri

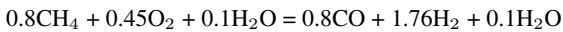
O'zbekiston GTL zavodida sintez gaz eng ideal holati 1:1.975 bo'lganida normal holatda Fisher-Tropsch reaktor mexanizmi borishi aniqlangan shu asosga ko'ra metan, kislorod hamda bug' nisbatlarni aniqlab metanning hajmiy sarfini kamaytirish orqali qanday nisbatdagi sintez gaz hosil bo'lishini hisoblaymiz. Ideal GTL rejimi – 1:1.97.

Metan miqdori nominal 100%. Bu yerda qisman oksidlanish va bug'li konversiya muvozanatda.



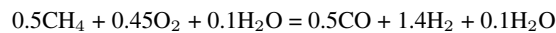
Hajmiy nisbat: H₂/CO qariyb 1.97

Metan 20% ga kamayganda metan miqdori kamaydi (0.8 ga tushdi), lekin kislorod va bug' o'sha-o'sha. Endi har bir metan molekulasiga ko'proq suv bug'i to'g'ri keladi.



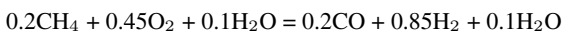
Hajmiy nisbat: H₂/CO qariyb 2.2

Metan 50% ga kamayganda metan keskin kamaydi. Tizimda oksidlovchilar (ayniqsa kislorod) juda ko'p. Bu reaktor haroratini oshiradi va vodorod chiqishini ko'paytiradi.



Hajmiy nisbat: H₂/CO qariyb 2.8

Metan minimal darajada metan miqdori juda kam. Tizimda deyarli barcha CO vodorodga almashib ketadi (Suv gazi almashinishi hisobiga).

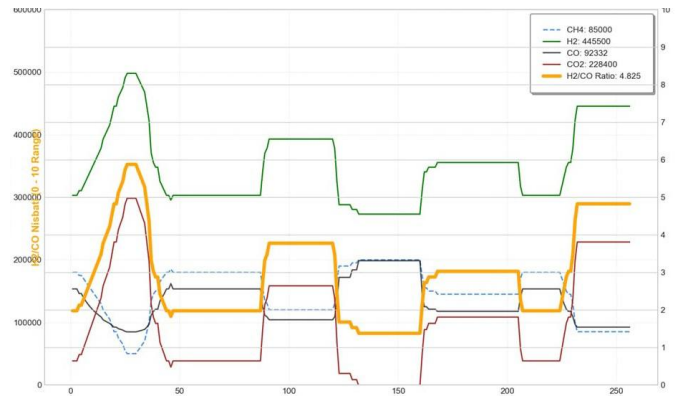


Hajmiy nisbat: H₂/CO qariyb 4.2

Mahsulot: Bu rejimda faqat sof vodorod olish maqsad qilinadi.

Metan hajmini kamaytirib borish sintez-gazni yengillashtiradi ya'ni vodorodni ko'paytiradi. Metan oqimining kamayishi wax o'rniga ko'proq gaz va yengil suyuqliklar beradi, bu esa iqtisodiy jihatdan waxni maqsad qilgan zavod uchun zararli hisoblanadi.

Zavod ushbu holatga duch kelgan holatda sintez gaz tarkib analiz ko'ruvchi analizatorlar ko'rsatgichi diagrammasi hamda metan oqimini



1-rasm. ATR reaktori: jarayon tahlili

ko'rsatib turuvchi oqim transmittori diagrammalari o'zaro solishtirilib o'rtacha nisbat aniqlanib (ushbu oqim o'zgarishi holatlari takrorlanganligi nuqtayi nazaridan), o'zgarish metanga nisbat olindi va ushbu diagramma Python asosida tuzildi.

O'zgarishlar ushbu jadvalda zavod salohiyatidan kelib chiqib hisoblab chiqildi va ilovaga kiritib diagramma qilindi. Biz faqat bitta oqimini – metan sarfini qimirlatdik, qolgan barcha parametrlar esa reaktor ichidagi kimyoviy muvozanat qonunlariga ko'ra o'z-o'zidan quyidagicha o'zgardi:

1. Metan sarfini 180,000 170,000 nm³/soatga kamaytirganimizda, reaktor ichida quyidagi zanjirsimon reaksiya sodir bo'ldi:

Oksidlanish muhiti: kislorod miqdori o'zgarmay qolgan uchun, reaktorda "ortiqcha kislorod" muhiti yuzaga keldi.

CO₂ ning javobi: ortiqcha kislorod metanni qisman oksidlash o'rniga, uni oxirigacha yoqib yubordi. natijada legend panelida CO₂ oqimi keskin ko'tarildi.

CO ning javobi: Metan kamaygani va borining ham ko'p qismi CO₂ ga aylanib ketgani sababli, CO oqimi pastga quladi.

Rationing javobi: Maxrajdagi CO vodorodga nisbatan tezroq kamaygani hisobiga, yashil chiziq 1.975 dan yuqoriga qarab sakradi.

2. Metan sarfini 180,000 190,000 nm³/soatga oshirganimizda jarayonni butunlay boshqa tomonga burib yubordi:

Oksidlanish muhiti: Endi reaktorda kislorod yetishmasligi (tanqisligi) yuzaga keldi.

CO₂ ning javobi: kislorod kamligi sababli to'liq yonish reaksiyasi to'xtadi. natijada bizda CO₂ miqdori tushib ketdi.

CO ning javobi: xomashyo ko'pligi va kislorod faqat qisman oksidlashga yetgani sababli, CO oqimi yuqoriga qarab o'sdi.

Ratio (nisbat) ning javobi: tizimda CO ulushi ko'paygani uchun yashil sifati liniyasi 1.975 dan pastga qarab tushdi.

3. Reaksiya asosida trend liniyalari tahlili. Grafikdagi chiziqlar bizning harakatimizga javobi

Ratio: biz buni eng sezgir qilib sozladik. Metan liniyasidagi har bir kichik qimirlash yashil liniyada katta amplituda berdi. Bu bizga mahsulot sifati ya'ni 1.975 nuqtasi qanchalik tez o'zgarishini ko'rsatib berdi.

CO₂: Bu chiziq metanga mutlaqo teskari harakat qildi. Metanni kamaytirganimizda u tepaga chiqdi, bu esa reaktorda yonish jarayoni kuchayganini isbotladi.

H₂: Vodorod oqimi metanga ergashdi, lekin u CO kabi keskin tebranmadi. Chunki biz tizimga berayotgan suv bug'i vodorod miqdorini ma'lum darajada ushlab turdi.

Reaktorning ichki kimyoviy tabiati bizga CO, CO₂ va H₂/CO nisbatining o'zgarishi ko'rinishida javob qaytardi (1-rasm).

Sintez gaz nisbati 1:1 bo'lganda:

1. To'yinmagan uglevodorodlar hosil bo'lishi. Nazariy jihatdan, vodorod miqdori kam bo'lganda zanjirning to'yinish darajasi pasayadi va olefinlar shakllanishi ustunlik qiladi:

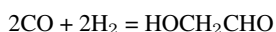


Bu reaksiya Fischer-Tropsch nazariyasining bir qismi bo'lib, vodorod yetishmovchiligi sharoitida alkil radikallarining β-vodorod eliminatsiyasi natijasida qo'shbog'li birikmalar hosil bo'lishini tushuntiradi.

1-jadval. Metan oqimi o'zgarishining sintez gaz va waxga ta'siri

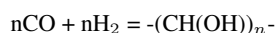
Metan oqimi m ³	Oksidlovchilar O ₂ , H ₂ O	Sintez-gaz Ratio H ₂ /CO	Hosil bo'ladigan jarayon
100% (Nominal)	Me'yor	1.97	Wax
80%	Ortiqcha	2.20	Spirt va kislotalar
50%	Ko'p	2.80	Yengil yoqilg'i (yengil nafta/LPG)
20%	Juda ko'p	4.20	Sintetik metan

2. Glikolaldegid sintezi. Sintez-gazdan to'g'ridan-to'g'ri ikki uglerodli kislorodli birikma hosil bo'lishi:



Bu reaksiya CO ning gidrogenlanish mexanizmidagi oraliq bosqichlardan biri hisoblanadi. Nazariy jihatdan bu molekula keyinchalik etilenglikolgacha qaytarilishi mumkin.

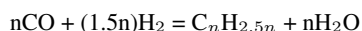
3. Uglerod suboksidi va polimerlanish. Kam vodorodli muhitda CO ning disproportsiyalanishi va polimer tuzilmalar hosil bo'lishi:



Bu reaksiya polihidroksimetilen zanjirlarining shakllanishini tavsiflaydi. Bu yerda H₂ va CO molekullari 1:1 nisbatda birikib, polimer karkasini yaratadi.

CO:H₂ = 1:1.5 nisbati Fischer-Tropsch sintezida vodorod tanqisligi va optimal stexiometriya oralig'idagi o'tish holati hisoblanadi. Nazariy jihatdan bu nisbat uglevodorodlar zanjirining o'sishi va mahsulotlar selektivligini boshqarishda muhim nuqtadir.

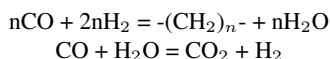
1. Og'ir uglevodorodlar hosil bo'lishi. Bu nisbat ko'pincha yuqori molekullari parafinlar C₂₀₊ sintezi uchun nazariy model bo'lib xizmat qiladi. Vodorodning stexiometrik miqdordan (2n+1) biroz kamligi zanjirning muddatidan oldin uzilishini, metan hosil bo'lishini sekinlashtiradi.



H₂/CO nisbati 1.5 bo'lganda, katalizator sirtida CH_x monomerlarining konsentratsiyasi ortadi. Bu Schulz-Flory taqsimotida zanjir o'sish ehtimolligi (α-koeffitsiyenti) yuqori bo'lishiga olib keladi.

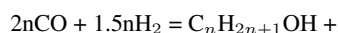
2. Is gazining suv gazi siljishi bilan birga kechuvi. Temir (Fe) asosidagi katalizatorlar ishtirokida 1:1.5 nisbati nazariy jihatdan "o'z-o'zini muvozanatlashtiruvchi" tizim hosil qiladi.

Kimyoviy reaksiya (parallel jarayonlar):



Temir katalizatorlari reaksiya davomida hosil bo'lgan suv bug'ini ishlatib, yetishmayotgan vodorodni CO dan ajratib oladi. Natijada, kirishdagi 1.5 nisbati reaksiya zonasida nazariy jihatdan 2.0 ga yaqinlashadi.

3. To'yinmagan aldegidlar va spirtlar sintezi. Nazariy jihatdan, vodorodning cheklangan miqdori karbonil guruhining to'liq qaytarilmasligiga va kislorodli birikmalar, oksigenatlar hosil bo'lishiga sharoit yaratadi.



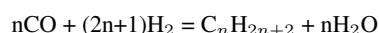
H₂:CO = 2:1 nisbati Fischer-Tropsch sintezi va metanol ishlab chiqarishning ideal stexiometrik nuqtasi hisoblanadi. Bu nisbatda vodorod

2-jadval. Metan oqimining o'zgarishi bilan riforming mahsulotlariga ta'siri

T/r	Nomi	Qiymat	Nisbat
1.	Metan	180000 nm ³ /soat	1
2.	Vodorod	303000 nm ³ /soat	1.1 1.5
3.	Is gazi	153418 nm ³ /soat	0.95 0.97
4.	Karbonat angidrid	38400 nm ³ /soat	1.6 3.6
5.	ratio	1.975	1.2 1.9

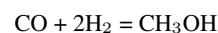
miqdori uglerod zanjirini samarali qurish va kislorodni suv ko'rinishida ajratib chiqarish uchun to'liq yetarli bo'ladi.

1. Og'ir alkanlar sintezi. Bu nisbatda reaksiyaning stexiometriyasi nazariy jihatdan mukammal muvozanatlashgan bo'lib, o'rtacha zanjir uzunligidagi uglevodorodlar hosil bo'lishini ta'minlaydi:



Bu yerda har bir CO molekulasi uchun 2 ta H₂ molekulasi to'g'ri keladi. Ulardan biri CO dagi kislorodni bog'lab, suv hosil qilishga, ikkinchisi esa uglerod zanjirini gidrogenlab, to'yingan alkan hosil qilishga sarflanadi.

2. Metanol sintezi. Metanol olishda 2:1 nisbati asosiy texnologik talabdir:

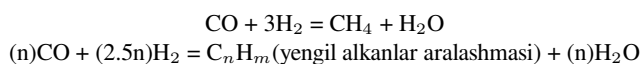


Ushbu reaksiya past harorat va yuqori bosimda kechadi. 2:1 nisbati reaksiyaning termodinamik jihatdan maksimal unum bilan borishini ta'minlaydi.

3. Gidrogenlash. Vodorodning 2.0 nisbatigacha ortishi zanjirning o'sish ehtimolligini nazorat ostida ushlab turadi va o'ta og'ir mumi fraksiyalar hosil bo'lishini kamaytiradi.

H₂:CO = 2.5:1 nisbati nazariy jihatdan vodorodga o'ta boy muhit hisoblanadi. Bu sharoitda zanjirning o'sishi sekinlashadi va gidrogenlanish reaksiyalari dominantlik qiladi.

1. Yengil uglevodorodlar - metan va gazlar sintezi. Vodorodning ortiqcha miqdori uglerod zanjirining uzunlashishiga yo'l qo'ymaydi va hosil bo'lgan radikallarni tezda to'yintirib, metan yoki boshqa engil alkanlarni hosil qiladi:



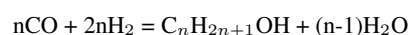
Vodorodning partsial bosimi yuqori bo'lganda, katalizator sirtidagi faol markazlar vodorod atomlari bilan band bo'ladi. Bu esa CH_x monomerlarining bir-biri bilan to'qnashib zanjir hosil qilish ehtimolini kamaytiradi ya'ni terminatsiya tezlashadi.

2. Gidrokrekning va gidroizomerlanish "parallel jarayonlar". Nazariy modelda, agar tizimda og'irroq molekullar mavjud bo'lsa, 2.5 nisbatdagi vodorod ularni parchalash va tarmoqlangan zanjirlar hosil qilishga sarflanadi:



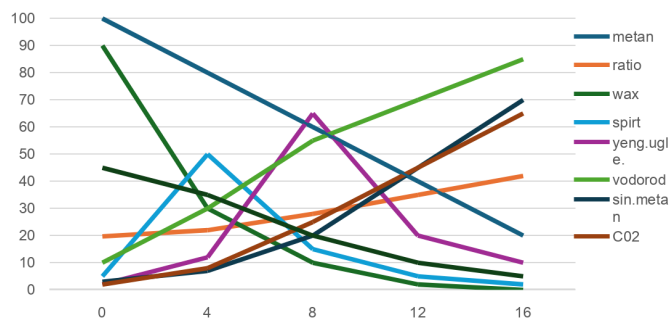
Ortiqcha vodorod katalizatorning koks bilan qoplanishidan himoya qiladi, lekin shu bilan birga mahsulotlarning o'rtacha molekulyar og'irligini pasaytirib yuboradi.

3. Yuqori spirtlar sintezi. Ba'zi nazariy modellarda, vodorod ko'p bo'lganda va ma'lum katalizatorlar (modifikatsiyalangan Co) ishtirokida, sintez-gazdan yuqori molekullari spirtlar olish stexiometriyasi ko'rib chiqiladi:

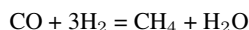


H₂:CO = 3:1 nisbati nazariy jihatdan metanlashtirish stexiometriyasi deb ataladi. Bu sharoitda uglerod zanjirining o'sishi deyarli imkonsiz bo'lib, reaksiya faqat bitta uglerodli eng soddaga uglevodorod hosil bo'lishiga yo'naltirilgan bo'ladi.

1. Metan sintezi. Bu nisbatda reaksiyaning barcha ishtirokchilari metan hosil qilish uchun stexiometrik jihatdan ideal muvozanatda bo'ladi:

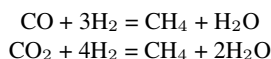


2-rasm. Metan oqimi miqdori o'zgarishining mahsulotlar selektivligi va sintez-gaz tarkibiga ta'siri



Reaksiya mexanizmi bo'yicha CO molekulasida katalizator sirtida dissotsiatsiyaga uchragach, hosil bo'lgan bitta uglerod atomi atrofida vodorod konsentratsiyasi shunchalik yuqori bo'ladiki, u boshqa uglerod atomi bilan bog'lanishga ulgurmasdan 4 ta vodorod atomi bilan to'yinadi. Bu jarayon Sabatier reaksiyasi bilan analogikdir.

2. Is gazini to'liq sarflash. Sanoatda masalan, ammiak ishlab chiqarishda vodorod gazini CO va CO₂ qoldiqlaridan tozalash uchun aynan 3:1 va undan yuqori nisbat qo'llaniladi:



Ortiqcha vodorod katalizator faolligini maksimal darajada saqlaydi va CO ning hatto iz miqdorlarini ham yo'qolishiga imkon beradi.

3. Termodinamik jihatdan o'ta ekzotermiklik. Nazariy jihatdan bu nisbatda energiya chiqishi boshqa barcha nisbatlarga qaraganda yuqori:

$$\Delta H = -206 \text{ kJ/mol}$$

Metan kamayishi bilan yengil komponent hosil bo'lishi.

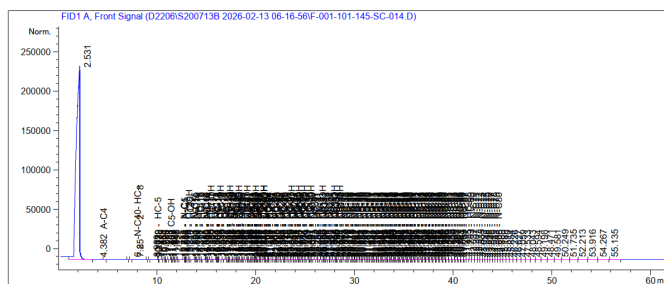
3-jadval. Metan oqimining o'zgarishi bilan wax tarkibi o'zgarishlari

Metan oqimi	H ₂ /CO ratio	Asosiy kimyoviy jarayon	Mahsulot
1.0	1.97	Polimerlanish	Wax (C ₂₀ -C ₅₀)
0.8	2.20	Spiratlanish va gidrogenlanish	Spirtlar + yengil komponentlar
0.5	2.80	Zanjir uzilishi	Yengil komponentlar
0.2	4.25	Metanlanish	Metan

Metan oqimini 50% gacha kamaytirish bunda 0.5 nisbatga tushirish tizimni wax ishlab chiqarishdan chiqarib, uni butan va boshqa yengil gazlar ishlab chiqaruvchi reaktorga aylantirib qo'yadi.

Gaz ta'minoti barqarorligining wax mahsuloti tarkibiga ta'sirini tahlil qilish

12.02.2026 yil sanasida O'zbekiston GTL zavodida tabiiy gaz sarfining ta'minot quvurida to'satdan tushib ketishi yuz berdi wax tarkibida uglevodorodlar tarkibi zavod markaziy laboratoriyasida tarkib analiz olish uchun namuna olindi, hamda markaziy laboratoriyada mavjud tarkib analiz tekshiruvchi xromatografik "Simdist ASTM d 7169" qurilmasida mazkur analiz tahlil qilindi. Ushbu sintetik mahsulot tarkibi bo'yicha juda keng diapazondagi uglevodorodlar va kislorodli birikmalar aralashmasidan iborat. Tahlil natijalariga ko'ra, mahsulotning asosiy qismini yuqori molekullari og'ir uglevodorodlar, ya'ni parafinlar tashkil etadi. Xususan, C₂₀ dan yuqori bo'lgan zanjirlar, jumladan N-C₂₂ va turli izoparafinlar I-C₂₃ kabi eng yuqori konsentratsiyaga ega komponentlar sifatida ko'rinadi. Bu esa ushbu moddaning xona haroratida qattiq



Tahlil bo'yicha komponentlar miqdori C_{20} dan boshlab barqaror yuqori darajaga chiqadi, lekin haqiqiy katta hajm C_{40} va C_{65} oralig'idagi o'ta og'ir parafinlar hisobiga shakllanadi. Bu mahsulotning tarkibida yengil fraksiyalar C_{13} - C_{19} va spirtlar shunchaki oz miqdordagi qo'shimcha ekanligini, asosiy zanjir esa o'ta uzun zanjirli og'ir uglevodorodlardan iborat ekanligini isbotlaydi. Oxirgi nuqtadagi N- C_{80} - 0.84% esa tahlil qilinishi mumkin bo'lgan eng chekka nuqta bo'lib, undan keyin ham qoldiq massalar mavjudligidan dalolat beradi.

Eng kichik zanjir esa juda kam bo'lib C_{13} dan boshlanishini qayd etdi. Gidrokreking ham normal bo'lib nafta hosil bo'lishi kam bo'lib, dizel va kerosin chiqish uchun loyihalangan texnologiya o'z samarasini ko'rsatgan.

Xulosa

12.02.2026 yil sanasida O'zbekiston GTL zavodida tabiiy gaz sarfining ta'minot quvurida to'satdan tushib ketishi yuz berdi wax tarkibida uglevodorodlar tarkibi zavod markaziy laboratoriyasida tarkib analiz olish uchun namuna olindi, hamda markaziy laboratoriyada mavjud tarkib analiz tekshiruvchi xromotografik "Simdist ASTM d 7169" qurilmasida mazkur analiz tahlil qilindi. Ushbu sintetik mahsulot tarkibi bo'yicha juda keng diapazondagi uglevodorodlar va kislorodli birikmalar aralashmasidan iborat. Tahlil natijalariga ko'ra, mahsulotning asosiy qismini yuqori molekulyar og'ir uglevodorodlar, ya'ni parafinlar tashkil etadi. Xususan, C_{20} dan yuqori bo'lgan zanjirlar, jumladan N- C_{22} va turli izoparafinlar I- C_{23} kabi eng yuqori konsentratsiyaga ega komponentlar sifatida ko'rinadi. Bu esa ushbu moddaning xona haroratida qattiq yoki pasta simon holatda bo'lishini va sanoatda asosan parafinli mahsulot sifatida tasniflanishini tasdiqlaydi.

Yengil uglevodorodlar, ya'ni C_4 dan C_{10} gacha bo'lgan fraksiyalar - butan, pentan va boshqalar umumiy tarkibda kamroq mavjud bo'lsada, ularning ulushi og'ir qismlarga qaraganda ancha ko'p. Bu yengil komponentlar mahsulotning umumiy massasini tashkil etuvchi asosiy elementlar emas, balki jarayon natijasida hosil bo'lgan oraliq fraksiyalardir. Shuningdek, tarkibda spirtlar guruhi ham sezilarli o'rin tutadi. Ayniqsa, C_{11} -OH kabi o'rta zanjirli spirtlar tahlilda yuqori ko'rsatkichlar 2.68

Kislotali birikmalar yoki aromatik ko'rsatkichlar orasida esa C_{20} va C_{13} guruhlari nisbatan faolroq ko'rinadi. 3-rasmdagi ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, mahsulot tarkibida o'ta yengil gazlar va o'ta og'ir qoldiqlar masalan, C_{80} dan yuqorisi juda minimal miqdorda, ya'ni foizning mingdan bir ulushlarigacha kamayib boradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1] Seok Chang Kang, Ki-Won Jun, and Yun-Jo Lee. Effects of the CO/CO₂ Ratio in Synthesis Gas on the Catalytic Behavior in Fischer-Tropsch Synthesis Using K/Fe-Cu-Al Catalysts. *Energy & Fuels* 2013, 27 (11), 6377-6387. <https://doi.org/10.1021/ef401177k>
- [2] Indrajit K. Ghosh, Zafar Iqbal, Tracey van Heerden, Eric van Steen, Ankur Bordoloi. Insights into the unusual role of chlorine in product selectivity for direct hydrogenation of CO/CO₂ to short-chain olefins. *Chemical Engineering Journal* 2021, 413, 127424. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127424>
- [3] Ananda Vallezi Paladino Lino, Chayene Gonçalves Anchieta, Elisabete Moreira Assaf, José Mansur Assaf. Fuel gas from syngas. 2023, 235-269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91878-7.00006-X>
- [4] Ferdinand Pöhlmann, Andreas Jess. Interplay of reaction and pore diffusion during cobalt-catalyzed Fischer-Tropsch synthesis with CO₂-rich syngas. *Catalysis Today* 2016, 275, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2015.09.032>
- [5] Bamidele V. Ayodele, Maksudur R. Khan, Su Shiung Lam, Chin Kui Cheng. Production of CO-rich hydrogen from methane dry reforming over lanthania-supported cobalt catalyst: Kinetic and mechanistic studies. *International Journal of Hydrogen Energy* 2016, 41 (8), 4603-4615.
- [6] Taraknath Das and Goutam Deo. Promotion of Alumina Supported Cobalt Catalysts by Iron. *The Journal of Physical Chemistry C* 2012, 116 (39), 20812-20819. <https://doi.org/10.1021/jp3007206>
- [7] Maximilian Medicus, Judith Mettke, Florian Wolke, Johannes Abel, Michael Gallwitz, Erik Reichelt. Assessment of process integration of an up-scaled Fischer-Tropsch-catalyst. *Applied Catalysis A: General* 2025, 692, 120081. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2024.120081>
- [8] Yali Yao, Xinying Liu, Diane Hildebrandt, David Glasser. Fischer-Tropsch synthesis using H₂/CO/CO₂ syngas mixtures: A comparison of paraffin to olefin ratios for iron and cobalt based catalysts. *Applied Catalysis A: General* 2012, 433-434, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.04.041>
- [9] Andreas Helland Lillebø, Anders Holmen, Bjørn Christian Enger, Edd Anders Blekkan. Fischer-Tropsch Conversion of Biomass-Derived Synthesis Gas to Liquid Fuels. 2016, 131-147. <https://doi.org/10.1002/9781118957844.ch10>
- [10] Tiejun Lin, Kun Gong, Caiqi Wang, Yunlei An, Xinxing Wang, Xingzhen Qi, Shenggang Li, Yongwu Lu, Liangshu Zhong, Yuhuan Sun. Fischer-Tropsch Synthesis to Olefins: Catalytic Performance and Structure Evolution of Co₂C-Based Catalysts under a CO₂ Environment. *ACS Catalysis* 2019, 9 (10), 9554-9567. <https://doi.org/10.1021/acscatal.9b02513>