

**EKOLOGIK XAVFSIZ VA YUQORI EKSPLOATATSION XOSSALARGA EGA  
YOQILG'ILAR OLISHDA GAZDAN SUYUQ YOQILG'I (GTL)  
TEKNOLOGIYASINING ZAMONAVIY RIVOJLANISH TENDENSIYALARI**

Ro`ziyev A. T.

Hayitov R. R.

Mavlonov Sh. B.

Buxoro Davlat Texnika Universiteti

**Anatatsiya:**

Energetik xavfsizlikni ta'minlash va ekologik toza motor yoqilg'ilarini ishlab chiqish bugungi kunda dolzarb ilmiy-amaliy muammolardan biridir. Ushbu tadqiqotda tabiiy gaz, yo'ldosh gaz va biogaz asosida motor yoqilg'ilarini olishning zamonaviy yo'nalishlari tahlil qilingan. Gazdan suyuqlikka (GTL) texnologiyasi asosida Fischer–Tropsch sintezi hamda suyuq uglevodorod aralashmalarini qayta ishlash jarayonlari ko'rib chiqilgan. Biomassa va organik chiqindilardan olinadigan biogaz sintetik yoqilg'ilar ishlab chiqarishda muhim xomashyo manbai sifatida baholangan. Tadqiqot natijalari GTL texnologiyasining ekologik xavfsiz va yuqori ekspluatatsion xossalarga ega motor yoqilg'ilarini olishda istiqbolli yo'nalish ekanligini ko'rsatdi.

**Kalit so'zlar:** Gazdan suyuqlikka texnologiyasi (GTL), sintetik motor yoqilg'ilari, sintez-gaz, bug'li reforming, Fischer–Tropsh sintezi, biomassa gazifikatsiyasi, parafin yoqilg'ilar, setan soni, yoqilg'i kompaundlash.

**Introduction**

**Abstract:**

Ensuring energy security and developing environmentally friendly motor fuels are among the most urgent scientific and practical challenges today. This study analyzes modern approaches to producing motor fuels based on natural gas, associated petroleum gas, and biogas. Particular attention is paid to the Gas-to-Liquids (GTL) technology, including Fischer–Tropsch synthesis and the upgrading of liquid hydrocarbon mixtures. Biogas obtained from biomass and organic waste is considered an important feedstock for the production of synthetic fuels. The results demonstrate that GTL technology is a promising direction for obtaining motor fuels with improved environmental and operational characteristics.

**Keywords:** Gas-to-Liquids technology (GTL), synthetic motor fuels, synthesis gas, steam reforming, Fischer–Tropsch synthesis, biomass gasification, paraffinic fuels, cetane number, fuel compounding.

**Аннотация**

Обеспечение энергетической безопасности и разработка экологически чистых моторных топлив являются одной из наиболее актуальных научно-практических задач современности. В данной работе проанализированы современные направления получения

моторных топлив на основе природного, попутного нефтяного газа и биогаза. Особое внимание уделено технологии «газ-в-жидкость» (GTL), включая синтез Фишера–Тропша и процессы переработки жидких углеводородных смесей. Биогаз, получаемый из биомассы и органических отходов, рассматривается как важное сырьё для производства синтетических топлив. Результаты исследования показывают, что технология GTL является перспективным направлением получения моторных топлив с улучшенными экологическими и эксплуатационными характеристиками.

**Ключевые слова:** технология «газ-в-жидкость» (GTL), синтетические моторные топлива, синтез-газ, паровой реформинг, синтез Фишера–Тропша, газификация биомассы, парафиновые топлива, цетановое число, компаундирование топлив.

### **Kirish:**

Energetik xavfsizlikni ta'minlash, energiya manbalarini diversifikatsiya qilish hamda motor yoqilg'ilarini olish texnologiyalarini takomillashtirish (shu jumladan muqobil yoqilg'ilarni ishlab chiqish) bugungi kunda ilm-fan va amaliyotning ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ko'plab olimlar muqobil (reformatsiyalangan) motor yoqilg'ilarining samarali turlarini yaratish muammolarini o'rganish bo'yicha keng tadqiqotlar olib borilmoqda. Ilmiy maktablar an'anaviy va muqobil yoqilg'ilardan oqilona foydalanish masalalariga ham alohida e'tibor qaratmoqda.

Jahon miqyosida neft resurslarining kamayib borishi sababli muqobil xomashyo asosida motor yoqilg'ilarini sintez qilish texnologiyalarini rivojlantirish tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Bugungi kunda zamonaviy texnologiyalardan biri — gazdan suyuqlikka (GTL) jarayoni bo'lib, bunda qisqa zanjirli uglevodorodlar uzun zanjirli uglevodorodlarga aylantiriladi. Ushbu texnologiyada tabiiy gazdan tashqari yo'ldosh gaz va biogaz ham xomashyo sifatida qo'llanishi mumkin.

Ko'plab tadqiqotchilar fikricha, gazdan suyuqlikka asoslangan sintetik motor yoqilg'ilarini ishlab chiqarish istiqbollari slanes va ko'mir qatlamlaridagi gazlar (masalan, shaxta metani), metan gidratlari hamda biomassa va maishiy chiqindilardan olinadigan biogaz resurslari bilan bog'liq. Hozirgi vaqtda GTL texnologiyasi asosida yirik sanoat korxonalari Qatar, Malayziya, O'zbekiston, Nigeriya, AQSH va Yaponiyada faoliyat yuritmoqda.

Sintetik suyuq yoqilg'ilarni ishlab chiqarish texnologiyasi murakkabligi va yuqori kapital xarajatlarni talab qilishi kabi ayrim kamchiliklarga ega. Bundan tashqari, jarayonda suv sarfi katta bo'lishi hamda ayrim hollarda kislorod ishlab chiqarish uchun alohida texnologik liniyalar zarur bo'ladi. C<sub>5</sub>–C<sub>19</sub> uglevodorodlar aralashmasidan iborat "sintetik neft" yuqori tozalik darajasiga ega bo'lib, tarkibida xom neftga xos bo'lgan oltingugurt va azot birikmalari deyarli mavjud emas. Shu sababli u kimyo va neft-kimyo sanoatida qimmatli xomashyo sifatida qo'llanishi mumkin. Sintetik neft fraksiyalari turli mahsulotlar olish uchun muhim hisoblanadi. Masalan, reforming jarayonida olinadigan dizel yoqilg'isi yuqori setan soniga (70–80 birlik) ega bo'lib, oltingugurt va aromatik birikmalarni deyarli saqlamaydi. Bu esa zamonaviy ekologik talablar kuchayib borayotgan sharoitda muhim ustunvorlikga ega. Kerosin fraksiyasi reaktiv yoqilg'ilar va sirt faol moddalar ishlab chiqarishda qo'llanadi. Og'ir fraksiyalar esa moylar va surkov materiallari olish uchun asosiy xomashyo vazifasini bajaradi.



**1-rasm: GTL texnologik bosqichlari**

Gazdan suyuqlikka (GTL) texnologiyasi xom gazni tozalash bosqichidan boshlanadi. Ushbu bosqichda gaz tarkibidagi oltingugurt birikmalari, karbonat angidrid, suv bug‘lari va mexanik aralashmalar ajratib olinadi. Keyingi bosqichda reforming yoki qisman oksidlanish jarayonlari orqali sintez-gaz ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ) hosil qilinadi. Hosil bo‘lgan sintez-gaz Fischer–Tropsh katalitik sintezi yordamida suyuq uglevodorodlarga aylantiriladi. Yakuniy bosqichda esa gidrokreking, izomerizatsiya va reforming jarayonlari orqali yuqori sifatli motor yoqilg‘ilari – dizel, kerosin va sintetik benzin fraksiyalari olinadi.

**1-jadval**

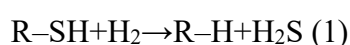
№	Komponent	Tabiiy gaz (yengil)	Tabiiy gaz (og‘ir)	Yo‘ldosh gaz (yengil)	Yo‘ldosh gaz (og‘ir)
1	$\text{N}_2$ , hajm %	3,97	3,66	0,83	0,79
2	$\text{CO}_2$ , hajm %	–	–	1,61	1,50
3	$\text{CH}_4$ , hajm %	95,70	87,86	89,64	84,84
4	$\text{C}_2\text{H}_6$ , hajm %	0,33	5,26	7,27	6,64
5	$\text{C}_3^+$ , hajm %	–	3,22	0,65	6,23
6	Umumiy oltingugurt miqdori, ppm	20	20	4	4
7	$\text{H}_2\text{S}$ , hajm ppm	4	4	3	3
8	$\text{COS}$ , hajm ppm	2	2	–	–
9	$\text{RHS}$ , hajm ppm	14	14	1	1

1-jadvalda gazdan suyuqlikka (GTL) texnologiyasida qo‘llaniladigan tabiiy va yo‘ldosh gaz tarkibining asosiy ko‘rsatkichlari keltirilgan. Ushbu tarkibiy xususiyatlar sintetik motor yoqilg‘ilarini ishlab chiqarish samaradorligiga bevosita ta‘sir ko‘rsatadi. Tabiiy gaz tarkibida metan ulushining yuqoriligi (87–96 %) uni sintez-gaz olish jarayonida samarali xomashyo sifatida tavsiflangan. Yo‘ldosh gazda esa metan miqdori biroz pastroq bo‘lib, og‘ir uglevodorodlar ulushi yuqoriroqdir. Bu holat GTL jarayonining issiqlik balansiga hamda uglevodorod sintezi tezligiga ma‘lum darajada ta‘sir etadi. Gaz tarkibida karbonat angidrid va oltingugurt birikmalarining mavjudligi gazni dastlabki tayyorlash va chuqur tozalash zarurligini ko‘rsatadi, chunki ushbu komponentlar katalizator faoliyatini pasaytirishi mumkin. Shuningdek, og‘ir uglevodorod fraksiyalarining mavjudligi qo‘shimcha resurs bo‘lishi bilan birga, texnologik uskunalarda koks hosil bo‘lish xavfini ham oshiradi. Gaz tarkibini optimallashtirish GTL texnologiyasida yuqori sifatli va ekologik xavfsiz sintetik yoqilg‘ilar olishning muhim omillaridan biri hisoblanadi.

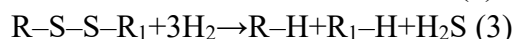
## 2. Gazdan suyuqlikka (GTL) texnologiyasining asosiy texnologik bosqichlari

Gazdan suyuqlikka (GTL) texnologiyasida xom gazni sintez-gaz olish bosqichidan oldin chuqur tozalash muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa, vodorod sulfidi ( $H_2S$ ), merkaptanlar ( $R-SH$ ) va karbonil sulfidi ( $COS$ ) kabi oltingugurtli birikmalar katalizatorlarni zaharlashi hamda texnologik qurilmalarda korroziyani kuchaytirishi mumkin. Shu sababli xom gazni desulfurizatsiya qilish jarayoni odatda gidrogenlash va kimyoviy adsorbsiya bosqichlarini o'z ichiga oladi.

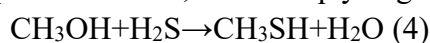
Jarayonning birinchi bosqichida xom gaz  $300-450\text{ }^\circ C$  gacha qizdirilgan vodorod bilan aralashtirilib,  $Co-Mo$  yoki  $Ni-Mo$  katalizatorlari mavjud bo'lgan gidrogenoliz reaktoriga yuboriladi. Bu sharoitda oltingugurtli organik birikmalar vodorod bilan reaksiyaga kirishib vodorod sulfidi hosil qiladi. Masalan, merkaptanlarning gidrogenlanishi quyidagi reaksiya orqali sodir bo'ladi:



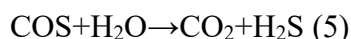
Shuningdek, disulfidlar va boshqa murakkab oltingugurtli birikmalar ham vodorod ta'sirida parchalanadi:



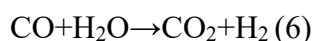
Agar jarayonda vodorod yetarli miqdorda bo'lmasa, oltingugurtli birikmalarning termik parchalanishi natijasida olefinlar va qo'shimcha  $H_2S$  hosil bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, gaz tarkibidagi kislorod tutuvchi birikmalar ham vodorod sulfidi bilan reaksiyaga kirishib yangi oltingugurtli birikmalar hosil qiladi. Masalan, metanol quyidagi reaksiya bo'yicha o'zgaradi:



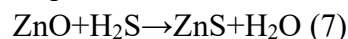
Karbonil sulfidi ham gidroliz reaksiyasiga uchrab, karbonat anhidrid va vodorod sulfidi hosil qiladi:



Bundan tashqari, suv bug'i va karbon oksidi o'rtasida suv-gaz almashinish reaksiyasi ham sodir bo'lishi mumkin:



Gidrogenlash bosqichidan so'ng gaz tarkibida asosan vodorod sulfidi va karbonil sulfidning miqdorlari qoladi. Keyingi bosqichda gaz rux oksidi asosidagi absorberdan o'tkaziladi. Bu yerda vodorod sulfidi kimyoviy sorbsiya orqali ushlanadi va rux sulfidi hosil bo'ladi:



Rux oksidi yuqori samarali adsorbent hisoblanadi va katta miqdorda oltingugurtli yutish qobiliyatiga ega. Shu sababli xom gazni chuqur tozalash orqali keyingi bosqichlarda yuqori faol katalizatorlardan samarali foydalanish hamda ekologik toza sintetik motor yoqilg'ilarini olish imkoniyati yaratiladi.

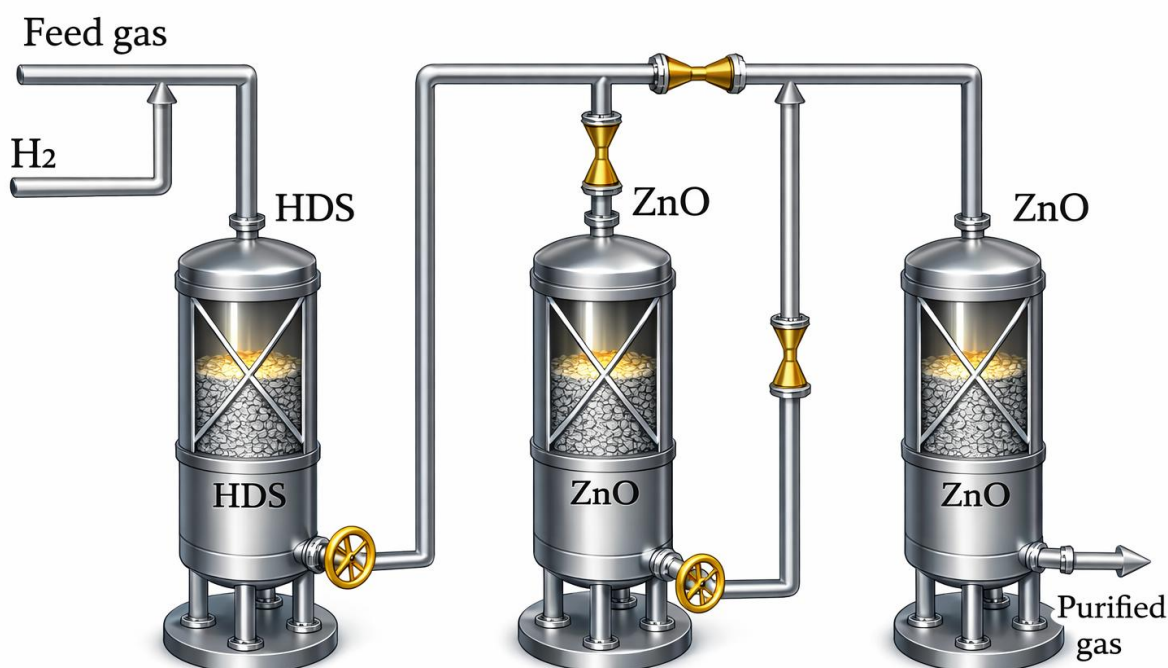
## 3. Sintez-gaz (sintez gazi) ishlab chiqarish texnologiyalari

Sintez-gaz — bu uglerod oksidi va vodorodning turli molyar nisbatlarda aralashmasidan iborat gaz sistemasidir. Sintez-gazni olish biogaz, tabiiy gaz va neft konlarining yo'ldosh gazlarini, shuningdek suyuq uglevodorodlarni qayta ishlashning dastlabki bosqichi hisoblanadi. Odatda bu jarayon metan va undan yuqori uglevodorodlarni kimyoviy o'zgartirish orqali amalga oshiriladi,

chunki ular yo'ldosh gazning asosiy tarkibiy qismlarini tashkil etadi. Sintez-gaz ishlab chiqarishning asosiy texnologik usullari 3-rasmda keltirilgan.

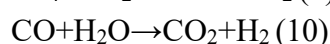
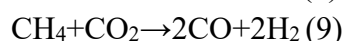
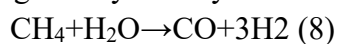
### 3.1. Bug'li reforming (bug' ishtirokida reforming jarayoni)

Bug'li reforming — bu uglevodorodlarning (asosan metanning) suv bug'i yoki karbonat angidrid ishtirokida o'zgarishi natijasida uglerod oksidlari, vodorod, metan va reaksiyaga kirishmagan bug' aralashmasidan iborat gaz hosil bo'lish jarayonidir.



2-rasm. Xom gazni oltingugurtdan tozalash jarayonining tipik texnologik sxemasi.

Bug'li reforming jarayonida quyidagi asosiy reaksiyalar sodir bo'ladi:



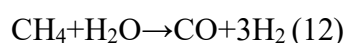
Metanning suv bug'i va karbonat angidrid bilan reforming jarayonlari mos ravishda yuqoridagi birinchi va ikkinchi reaksiyalar orqali amalga oshadi. Uchinchi reaksiya suv-gaz almashinish reaksiyasi bo'lib, reforming jarayoni bilan bir vaqtda kechadi. Yo'ldosh gaz tarkibiga kiruvchi etan, propan, butan va pentan kabi yuqori uglevodorodlarning reformingi esa umumiy ko'rinishdagi to'rtinchi reaksiya asosida sodir bo'ladi.

Bug'li reforming endotermik jarayon bo'lib, gazning kengayishi bilan birga kechadi. Shu sababli jarayon odatda past bosim va yuqori harorat sharoitida olib boriladi. VIII guruhga mansub o'tish metallari metan reformingi uchun samarali katalizatorlar hisoblanadi. Ayniqsa, rodiy va ruteniy yuqori faollikka ega bo'lsa-da, ularning qimmatligi sababli sanoatda keng qo'llanilmaydi. Amaliyotda esa oksid tashuvchiga (masalan,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  yoki  $\text{MgO}$ ) o'rnatilgan nikel katalizatorlari keng qo'llaniladi. Bunday katalizatorlar yuqori disperslikka ega

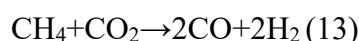
bo'lib, oltingugurt birikmalari bilan zaharlanishga nisbatan ancha chidamli hisoblanadi. Bug'li reforming jarayonining muhim kamchiliklaridan biri karbonat anhidrid hosil bo'lishidir. Suv-gaz almashinish reaksiyasi natijasida CO<sub>2</sub> miqdori ortishi mumkin. Ushbu holatni kamaytirish to'g'ri katalizator tanlash yoki texnologik jarayon parametrlarini optimallashtirish orqali amalga oshiriladi.

#### 4. Fischer–Tropsch sintezi

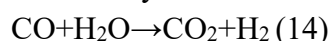
Sintez-gaz ishlab chiqarish texnologiyalari turli usullarda amalga oshiriladi va ularning asosiy ko'rinishlari 3-rasmda keltirilgan. Bug'li reforming, avtotermal reforming hamda katalitik qisman oksidlanish jarayonlari orqali metan va boshqa uglevodorodlar uglerod oksidi va vodorod aralashmasiga aylantiriladi. Bug'li reforming jarayonida metan suv bug'i bilan reaksiyaga kirishib sintez-gaz hosil qiladi:



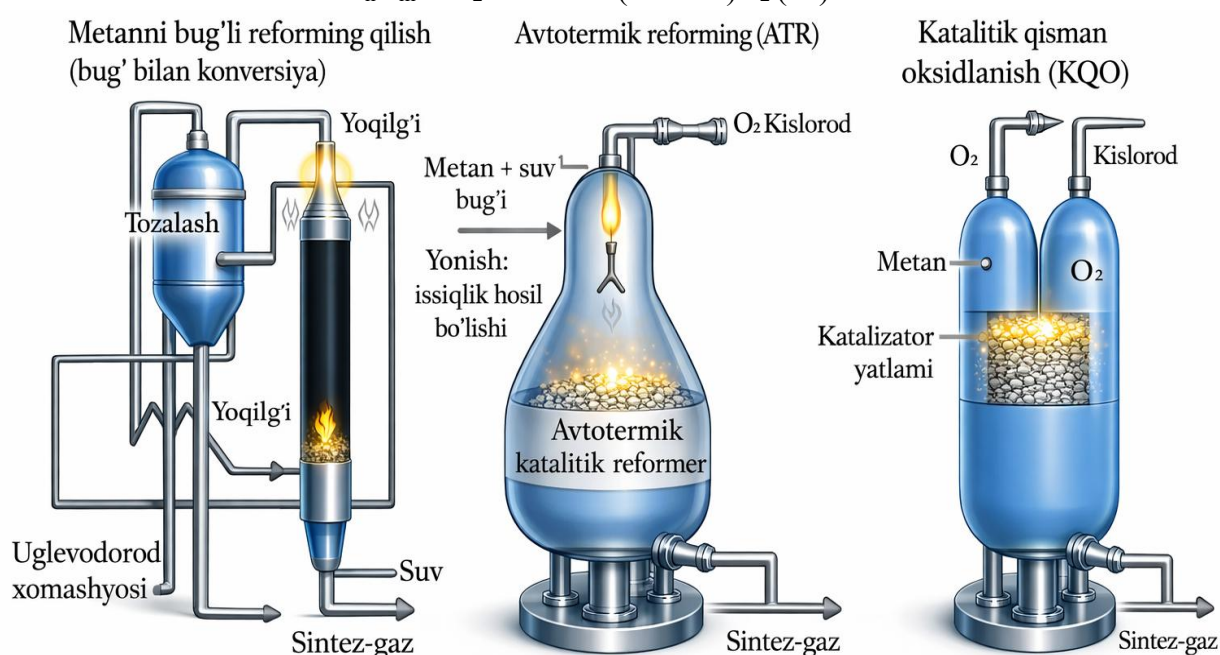
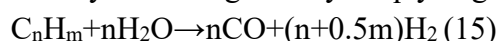
Shuningdek, metanning karbonat anhidrid bilan reaksiyasi natijasida ham sintez-gaz hosil bo'ladi:



Jarayon davomida suv-gaz almashinish reaksiyasi ham sodir bo'ladi:



Yuqori uglevodorodlarning umumiy reforming reaksiyasi quyidagicha ifodalanadi:



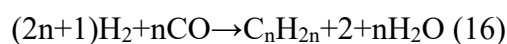
3-rasm. Sintez-gaz ishlab chiqarish texnologiyalari.

2-jadvalda

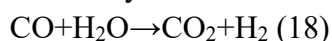
Mahsulot	Oqimli reaktorda kislrodli gazifikatsiya	Suyuqlantirilgan qatlamli reaktorda kislrodli gazifikatsiya	Bug'li gazifikatsiya
CO (hajm %)	40–60	20–30	20–25
CO <sub>2</sub> (hajm %)	10–15	25–40	20–25
H <sub>2</sub> (hajm %)	15–20	20–30	30–45
CH <sub>4</sub> (hajm %)	0–1	5–10	6–12
N <sub>2</sub> (hajm %)	0–1	0–1	0–1
Past issiqlik qiymati, MJ/m <sup>3</sup>	10–12	10–12	10–14
Smola (tar), g/m <sup>3</sup>	<0,1	1–20	1–10

2-jadvalda biomassa gazifikatsiyasi mahsulotlarining tarkibi turli texnologik usullar bo'yicha solishtirilgan. Oqimli reaktorda kislrodli gazifikatsiya jarayonida sintez-gaz tarkibida uglerod oksidi ulushi yuqori (40–60 %) bo'lib, smola miqdori juda kam (<0,1 g/m<sup>3</sup>) ekanligi, bu esa gazni keyingi tozalash bosqichlarini tushuntiradi. Suyuqlantirilgan qatlamli reaktorda gazifikatsiya jarayonida esa vodorod va karbonat angidrid miqdori yuqoriroq bo'lib, metan va smola hosil bo'lishi ham sezilarli darajada ortadi. Bu holat gaz tarkibini barqarorlashtirish va qo'shimcha tozalash texnologiyalarini talab etadi. Bug'li gazifikatsiya jarayonida vodorod ulushining eng yuqori qiymatga (30–45 %) ega bo'lishi kuzatiladi. Shu sababli ushbu usul sintez-gaz ishlab chiqarishda va GTL texnologiyasida istiqbolli hisoblanadi. Umuman olganda, gazifikatsiya usulini tanlash sintez-gaz tarkibiga qo'yiladigan talablar hamda texnologik samaradorlik bilan belgilanadi.

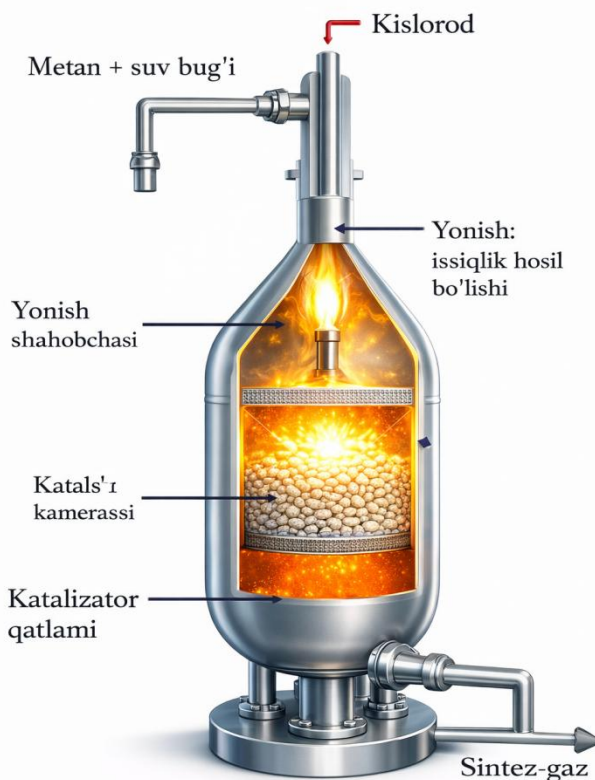
Avtotermik reforming jarayoni (4-rasm) qisman oksidlanish va bug'li reforming reaksiyalarining birgalikda kechishi bilan tavsiflangan. Bu jarayonda issiqlik balansini ushlab turish osonlashadi va sintez-gaz olish samaradorligi ortadi. Hosil bo'lgan sintez-gaz Fischer–Tropsh sinteziga yuboriladi. Bu jarayon uglerod oksidi va vodorodning katalitik kondensatsion polimerlanishi natijasida suyuq uglevodorodlar hosil bo'lishi bilan tavsiflanadi. Asosiy reaksiyalar quyidagicha:



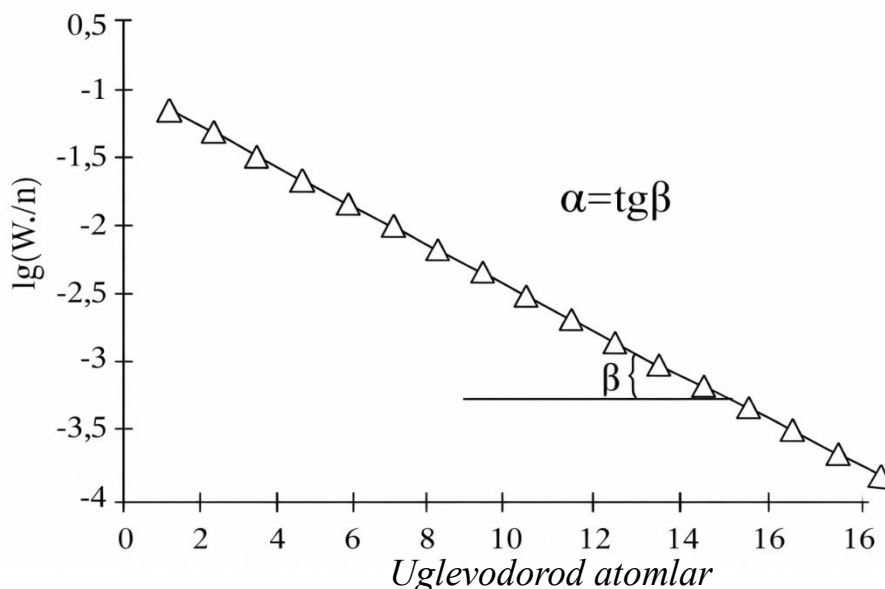
Bundan tashqari, suv-gaz almashinish reaksiyasi ham muhim rol o'ynaydi:



Fischer–Tropsh sintezi mahsulotlari molekulyar massalar taqsimoti Schulz–Flory qonuniga bo'ysunadi (5-rasm). Ushbu qonunga ko'ra uglevodorod zanjirining o'sish ehtimoli mahsulot fraksion tarkibini belgilaydi.

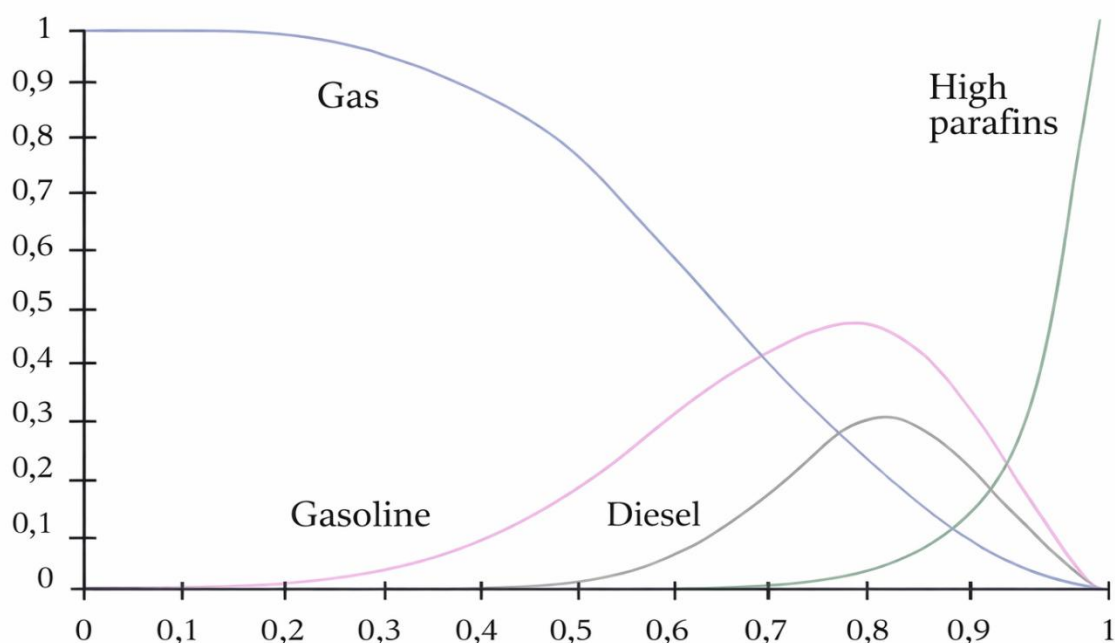


4-rasm. ATR reaktor



5-rasm. Schulz-Flory taqsimoti (uglevodorodlar molekulyar massalarining taqsimlanish qonuniyati).

Uglevodorod aralashmasining fraksiyon tarkibi zanjir o'sish ehtimoliga bog'liq bo'lib, gazsimon mahsulotlar, benzin, dizel fraksiyalari va yuqori parafinlar hosil bo'lishi mumkin (6-rasm). Haroratning oshishi gazolin fraksiyasi hosil bo'lishini kuchaytirsa, past harorat yuqori molekulyar massali parafinlar sinteziga olib keladi.



6-rasm. Uglevodorod aralashmalarining fraksiya tarkibi uglerod zanjirining o'sish ehtimoliga bog'liqligi

Fischer–Tropsch reaksiyalari ekzotermik xarakterga ega bo'lgani sababli reaktor konstruksiyasida issiqlikni samarali chiqarish muhim hisoblanadi. Shu maqsadda statsionar qatlamli, suyuqlantirilgan qatlamli va suspenziya tipidagi reaktorlar qo'llaniladi.

### 5. GTL yoqilg'ilarining ekspluatatsion va ekologik xususiyatlari

GTL texnologiyasi asosida olingan yoqilg'ilar ekologik jihatdan nisbatan toza hisoblanadi. Ularning yonishi an'anaviy yoqilg'ilarga nisbatan atrof-muhitga kamroq zarar yetkazadi. Buning sababi shundaki, yonish jarayonida azot oksidlari, oltingugurt birikmalari, uglevodorodlar va qattiq zarrachalar miqdorlari kamayadi, shuningdek, tutun hosil bo'lishi va dvigatel shovqini ham qisqaradi. Ushbu yoqilg'ilar aromatik birikmalarni deyarli saqlamagani sababli rezina detallarni yemirmaydi. Yana bir muhim afzalligi shundaki, GTL-dizel yoqilg'isiga oddiy dizel yoqilg'isidan farqli ravishda bioyoqilg'i qo'shish zarurati yo'q. Garchi biodizel ekologik jihatdan yanada xavfsiz hisoblangan bo'lsa-da, unda bakteriya va suv o'tlari rivojlanishi mumkin, bu esa yoqilg'i baklari va quvurlarida korroziya jarayonlarini kuchaytiradi. Shu sababli biodizel-dizel aralashmalariga bakteritsid qo'shimchalar kiritish zarur bo'ladi. GTL-dizeldan foydalanish ushbu muammoni bartaraf etadi. Bundan tashqari, GTL yoqilg'ilarining setan soni yuqori (75–80 birlik) bo'lib, bu dvigatelning past haroratlarda oson ishga tushishini ta'minlaydi hamda ishlash jarayonida shovqinni kamaytiradi.

GTL yoqilg'ilaridan dizel dvigatellarida foydalanish uchun dvigatel konstruksiyasini o'zgartirish, yangi infratuzilma yaratish yoki qo'shimcha transport vositalarini joriy etish talab etilmaydi. Ayniqsa, yuqori quvvatli dvigatellarda zararli miqdorlarini kamaytirish nuqtai nazaridan GTL yoqilg'ilari istiqbolli hisoblanadi. Ular shahar transporti, jamoat transporti, temiryo'l va daryo-dengiz transportida keng qo'llanishi mumkin. Shuningdek, qurilish texnikasi va energetika uskunalarda ham samarali foydalanish imkoniyati mavjud. GTL yoqilg'ilari

parafin asosidagi yoqilg'ilar guruhiga kiradi. Yevropa standartlashtirish qo'mitasi 2016-yilda parafin yoqilg'ilar uchun EN-15940 standartining yakuniy talqinini e'lon qilgan va qonunchilik hamda ishlab chiqarish amaliyotida ushbu yoqilg'ilar muqobil yoqilg'i sifatida e'tirof etila boshlagan. (3-jadval)

3-jadval

Qo'llanilish sohasi	NO <sub>x</sub> emissiyasining kamayishi, %	Qattiq zarrachalar emissiyasining kamayishi, %	Shovqin darajasining kamayishi, dB
Jamoat avtobuslari, shahar transporti, yuk avtomobillari	5–37	10–38	Cheklangan ijobiy ta'sir kuzatilgan
Kranlar, ekskavatorlar, elektr generatorlar, poyezdlar	6–25	10–90	3–5
Dengiz platformalari kemalari, ichki suv transporti, sayyohlik kemalari	6–13	15–60	taxminan 8

**Xulosa:** Tahlillar shuni ko'rsatdiki, gazdan suyuqlikka (GTL) texnologiyasi sintetik motor yoqilg'ilarini ishlab chiqarishning istiqbolli yo'nalishlaridan biridir. Sintez-gaz olish jarayonida tabiiy gaz, yo'ldosh gaz va biomassa kabi turli xomashyolardan foydalanish energiya manbalarini diversifikatsiya qilish imkonini beradi. Fischer–Tropsh sintezi orqali yuqori tozalikka ega, oltingugurt va aromatik birikmalari kam bo'lgan yoqilg'ilar olinadi, bu esa dvigatellarning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilaydi hamda zararli emissiyalarni kamaytiradi. GTL yoqilg'ilarining yuqori setan soni, ekologik xavfsizligi va mavjud dvigatellarda qo'shimcha o'zgartirishlarsiz qo'llanishi ularning transport va energetika sohaslarida keng joriy etilishiga imkon yaratadi. Umuman olganda, GTL texnologiyasini rivojlantirish va uni an'anaviy yoqilg'ilar bilan kompaundlash ekologik toza va samarali yoqilg'ilar olishning muhim ilmiy-amaliy yo'nalishi hisoblanadi.

#### Adabiyotlar ro'yxati:

1. Abdurasheed, A., et al., 2019. A review on catalysts development for dry reforming of methane to syngas: Recent advantages. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 108, 175–193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.054>.
2. AlNouss, Ahmed, McKay, Gordon, Al-Ansari, Tareq, 2019. A techno-economic-environmental study evaluating the potential of oxygen-steam biomass gasification for the generation of value-added products. *Energy Convers. Manage.* 196, 664–676. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2019.06.019>.
3. Bai, L., et al., 2015. Permanent gas analysis using gas chromatography with vacuum ultraviolet detection. *J. Chromatogr. A.* 1388, 244–250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2015.02.007>.
4. Behroozsar, A., Zamaniyan, A., 2017. Simulation and optimization of an integrated GTL process. *J. Clean. Prod.* 142, 2315–2327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.045>.
5. Boichenko, Sergii, 2017. Phenomenological concept of chemmotology. *Adv. Aerosp. Technol.* 70 (1), 113–119. <http://dx.doi.org/10.18372/2306-1472.70.11431>.
6. Boichenko, Sergii, Aksionov, Olexander, Topilnytskyi, Petro, Pushak, Andrii, Lejda, Kazimierz, 2019. Under the General Editorship of Prof. Sergii Boichenko. Selected Aspects of

---

Providing the Chemmotological Reliability of the Engineering: Monograph. – K.: Center for Educational Literature. p. 342. <http://dx.doi.org/10.18372/38195>.

7. Boichenko, S., Zubenko, S., Konovalov, S., Yakovlieva, A., 2020. Synthesis of camelina oil ethyl esters as components of jet fuels. *East.-Eur. J. Enterp. Technol.* 1 (6 (103)), 42–49. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2020.196947>.

8. Breed, A., et al., 2005. Natural gas conversion to liquid fuels in a zone reactor. *Catal. Today* 106, 301–304. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2005.08.001>. Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresour. Technol.* 99, 4044–4064. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>.

9. Cheng, K., et al., 2014. Support effects in high temperature Fischer – Tropesch synthesis on iron catalysts. *Appl. Catal. A: Gen.* 488, 66–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2014.09.033>.

10. Cheng, K., et al., 2017. Advances in catalysis for syngas conversion to hydrocarbons. *Adv. Catal.* 60, 125–208. <http://dx.doi.org/10.1016/bsacat.2017.09.003>.

11. Chun, D.H., et al., 2014. Highly selective iron-based Fischer – Tropesch catalysts activated by CO<sub>2</sub>-containing syngas. *J. Catal.* 317, 135–143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcat.2014.06.014>.

12. Clark, R., Wedlock, D., Cherrilo, R., 2005. Future fuels and lubricants base oils from shell gas-to-liquids (GTL) technology. In: *SAE Technical Paper*. pp. 2191–2207. <http://dx.doi.org/10.4271/2005-01-2191>.

13. Coppola, G., Papurello, D., 2018. Biogas cleaning: activated carbon regeneration for H<sub>2</sub>S removal. *Clean Technol.* 1, 40–57. <http://dx.doi.org/10.3390/cleantechnol1010004>.

14. Does, R., Hussain, A., Katebah, M., Adham, S., Global C. Sustainability, W., 2012. Using advanced water treatment technologies to treat produced water from the petroleum industry. In: *Proceedings of the SPE International Production and Operations Conference & Exhibition, Doha, Qatar, 14–16 May 2012*.

15. Du, Jakun, et al., 2014. Experimental study on combustion and particle size distribution of a common rail diesel engine fueled with GTL/diesel blends. *Appl. Therm. Eng.* 70, 430–440. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.05.037>.