



GAZLARNI HAVO YORDAMIDA SOVITIB FRAKSIYALARGA AJRATISH TEXNOLOGIYASINING ILMIY ASOSLARI VA SANOATDAGI QO‘LLANILISHI

Hamidov Davron Ro'zimurodovich, Shaymardanov To'lg'in Boymuradovich

*Qarshi davlat texnika universiteti Kimyo muhandisligi va biotexnologiya
kafedrası dotsenti*

Annotatsiya: Mazkur maqolada atmosfera havosini kriogen usulda sovitish orqali uning asosiy komponentlari – azot, kislorod va argonni fraksiyalarga ajratish texnologiyasining ilmiy asoslari tahlil qilingan. Gazlarni suyultirish va fraksiyalash jarayonlarining termodinamik qonuniyatlari, Joule–Tomson effekti hamda Linde va Claude sikllarining ishlash prinsiplari yoritilgan. Zamonaviy havo ajratish qurilmalarining texnologik tuzilishi, issiqlik almashinish apparatlarining vazifalari, rektifikatsiya kolonnalarining ishlash mexanizmi hamda energiya sarfini kamaytirishga qaratilgan texnologik yechimlar tahlil etilgan. Shuningdek, kriogen texnologiyalar yordamida olinadigan texnik va yuqori tozalikdagi kislorod, azot hamda argonning metallurgiya, kimyo, tibbiyot, elektronika va oziq-ovqat sanoatidagi qo‘llanilish yo‘nalishlari ko‘rib chiqilgan. Gazlarni havo yordamida sovitib fraksiyalarga ajratishning iqtisodiy samaradorligi, ekologik afzalliklari hamda zamonaviy avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining ahamiyati yoritilgan.

Kalit so'zlar: atmosfera havosi, kriogen texnologiya, gazlarni fraksiyalash, Joule–Tomson effekti, Linde sikli, Claude sikli, rektifikatsiya, issiqlik almashinish, kislorod, azot, argon.

Аннотация: В статье рассмотрены научные основы разделения атмосферного воздуха на азот, кислород и аргон методом криогенного охлаждения. Проанализированы термодинамические закономерности процессов сжижения и ректификации воздуха, эффект Джоуля–Томсона, а



также принципы циклов Линде и Клода. Рассмотрены конструкция современных воздухоразделительных установок, процессы теплообмена и ректификации, пути повышения энергетической эффективности и основные области промышленного применения продуктов разделения воздуха.

Ключевые слова: атмосферный воздух, криогенная технология, ректификация, кислород, азот, аргон, эффект Джоуля–Томсона, цикл Линде, цикл Клода.

Abstract: This article discusses the scientific principles of separating atmospheric air into nitrogen, oxygen, and argon by cryogenic cooling. The thermodynamic fundamentals of gas liquefaction and fractional separation, the Joule–Thomson effect, and the operating principles of the Linde and Claude cycles are analyzed. The design of modern air separation units, heat exchange systems, rectification columns, and methods for improving energy efficiency are described. The industrial applications of oxygen, nitrogen, and argon in metallurgy, chemical engineering, medicine, electronics, and the food industry are also discussed.

Keywords: atmospheric air, cryogenic technology, gas separation, Joule–Thomson effect, Linde cycle, Claude cycle, rectification, oxygen, nitrogen, argon.

Kirish

Atmosfera havosi sanoat uchun muhim xomashyo manbalaridan biri hisoblanadi. Uning tarkibida oʻrtacha 78,08 % azot, 20,95 % kislorod, 0,93 % argon hamda juda oz miqdorda karbonat angidrid, neon, geliy, kripton va boshqa inert gazlar mavjud. Ushbu komponentlarning fizik xossalari, ayniqsa qaynash haroratlarining farqlanishi, ularni kriogen usulda samarali ajratish imkonini beradi. Bugungi kunda gazlarni kriogen sovitish orqali fraksiyalarga ajratish metallurgiya, kimyo, neft-gaz, energetika, elektronika, farmatsevtika, oziq-ovqat va tibbiyot sanoatida keng qoʻllanilmoqda.

Kriogen havo ajratish texnologiyasi XX asr boshlarida ishlab chiqilgan boʻlib, hozirgi vaqtda yuqori tozalikdagi kislorod, azot va argon ishlab chiqarishning eng



ishonchli va iqtisodiy jihatdan samarali usullaridan biri hisoblanadi. Mazkur texnologiya gazlarni yuqori bosim ostida siqish, bosqichma-bosqich sovitish, Joule–Tomson effekti asosida kengaytirish hamda rektifikatsiya kolonnalarida fraksiyalash jarayonlariga asoslanadi. Zamonaviy havo ajratish qurilmalarida issiqlik almashinish apparatlari, turboekspanderlar va ikki bosqichli rektifikatsiya kolonnalaridan foydalanish energiya sarfini kamaytirish hamda mahsulot sifatini oshirish imkonini bermoqda.

So‘nggi yillarda energiya resurslaridan oqilona foydalanish, issiqxona gazlari emissiyasini kamaytirish va yuqori samarali texnologiyalarni joriy etish masalalari dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Shu nuqtai nazardan gazlarni havo yordamida sovitib fraksiyalarga ajratish texnologiyasini takomillashtirish nafaqat iqtisodiy, balki ekologik jihatdan ham muhim hisoblanadi. Jarayonlarni avtomatlashtirish, yuqori samarali issiqlik almashinish tizimlaridan foydalanish hamda raqamli boshqaruv texnologiyalarini joriy etish ishlab chiqarish unumdorligini oshirishga xizmat qilmoqda.

Mazkur tadqiqotning maqsadi atmosfera havosini kriogen usulda sovitish orqali fraksiyalarga ajratish texnologiyasining ilmiy asoslarini tahlil qilish, asosiy texnologik bosqichlarni tavsiflash hamda ushbu usulning sanoat tarmoqlaridagi qo‘llanilishi va rivojlanish istiqbollari baholashdan iborat.

TADQIQOT MATERIALLARI VA USULLARI

Mazkur tadqiqotda atmosfera havosini kriogen usulda sovitish va fraksiyalarga ajratish texnologiyasining nazariy hamda amaliy jihatlarini tahlil qilindi. Tadqiqotning nazariy asosini gazlarning termodinamik xossalari, fazaviy o‘zgarish qonuniyatlari, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari hamda kriogen texnologiyalarda qo‘llaniladigan asosiy fizik qonunlar tashkil etdi. Shuningdek, havo ajratish qurilmalarining (Air Separation Unit – ASU) ishlash prinsiplari, energiya sarfi va mahsuldorligini oshirishga qaratilgan zamonaviy texnologik yechimlar ilmiy adabiyotlar asosida o‘rganildi.



Atmosfera havosi gazlar aralashmasidan iborat bo'lib, uning asosiy komponentlari azot, kislorod va argondir. Ularning qaynash haroratlari bir-biridan farq qilganligi sababli past haroratlarda rektifikatsiya usuli yordamida ajratish mumkin. Tadqiqot davomida gazlarni sovitish, siqish, issiqlik almashinuvi, kengaytirish va rektifikatsiya jarayonlari kompleks ravishda tahlil qilindi.

Tadqiqot usullari sifatida ilmiy adabiyotlarni qiyosiy tahlil qilish, termodinamik qonuniyatlarni umumlashtirish, texnologik jarayonlarni tavsiflash hamda sanoatda qo'llanilayotgan kriogen havo ajratish qurilmalarining ishlash sxemalarini tahlil qilish usullaridan foydalanildi. Shuningdek, energiya samaradorligini oshirish bo'yicha zamonaviy yondashuvlar va ishlab chiqarish ko'rsatkichlari o'rganildi.

GAZLARNI KRIOGEN SOVITISHNING ILMIY ASOSLARI

Gazlarni kriogen usulda ajratish ularning past haroratlarda suyuqlanish xossalariga asoslangan. Har bir gazning kritik harorati va qaynash nuqtasi turlicha bo'lgani sababli aralashmani bosqichma-bosqich sovitish orqali komponentlarni ketma-ket ajratish mumkin.

Atmosfera havosining asosiy komponentlari va ularning normal bosimdagi qaynash haroratlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Atmosfera havosi tarkibidagi asosiy komponentlarning fizik xossalari

Komponent	Miqdori, %	Qaynash harorati, °C
Azot (N ₂)	78,08	–195,8
Kislorod (O ₂)	20,95	–183,0
Argon (Ar)	0,93	–185,8
Karbonat anhidrid (CO ₂)	0,04	–78,5 (sublimatsiya)



Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, kislorod va azotning qaynash haroratlari o‘rtasidagi farq ularni rektifikatsiya usuli yordamida ajratish imkonini beradi. Jarayonning samaradorligi gazning bosimi, harorati, oqim tezligi hamda issiqlik almashinish sharoitlariga bog‘liq.

Kriogen texnologiyada gazlar dastlab yuqori bosimgacha siqiladi, so‘ngra issiqlik almashinish apparatlarida sovitiladi. Keyinchalik gaz bosimining keskin kamayishi natijasida uning harorati pasayadi va gazning bir qismi suyuqlanadi. Hosil bo‘lgan suyuq havo rektifikatsiya kolonnasiga yuborilib, komponentlarga ajratiladi.

JOULE–TOMSON EFFEKTI

Gazlarni kriogen sovitish texnologiyasining asosiy fizik asoslaridan biri Joule–Tomson effektidir. Mazkur effektga ko‘ra, gaz issiqlik almashinuvisiz tor teshik yoki klapan orqali yuqori bosimdan past bosimga o‘tganda uning harorati o‘zgaradi. Ko‘pgina sanoat gazlari uchun normal sharoitda bu jarayon sovitish bilan kechadi.

Joule–Tomson koeffitsienti quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H$$

bu yerda:

- μ_{JT} — Joule–Tomson koeffitsienti (K/MPa);
- T — harorat (K);
- P — bosim (MPa);
- H — entalpiya (doimiy).

Agar $\mu_{JT} > 0$ bo‘lsa, gaz kengayishda soviydi; $\mu_{JT} < 0$ bo‘lsa, aksincha qiziydi. Azot, kislorod va argon uchun kriogen sharoitlarda μ_{JT} musbat qiymatga ega bo‘lib, bu ularni samarali sovitish imkonini beradi.

Joule–Tomson effekti sanoatda havo ajratish qurilmalarining sovitish siklida asosiy rol o‘ynaydi. Aynan ushbu hodisa natijasida havo suyuqlanib, keyingi rektifikatsiya jarayoniga tayyorlanadi.



LINDE SIKLI

Linde sikli sanoatda atmosfera havosini suyultirishning eng keng tarqalgan usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu texnologiya nemis olimi **Carl von Linde** tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, hozirgi kunda ko'plab havo ajratish zavodlarida qo'llaniladi.

Jarayon quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Atmosfera havosini filtrlash.
2. Namlik va karbonat angidridni adsorberlarda ajratib olish.
3. Havoni kompressorda 5–20 MPa gacha siqish.
4. Issiqlik almashinish apparatida sovitish.
5. Joule–Tomson klapani orqali kengaytirish.
6. Havoning qisman suyuqlanishi.
7. Rektifikatsiya kolonnasida azot, kislorod va argonni ajratish.

Linde siklining asosiy afzalligi texnologik soddaligi, yuqori ishonchliligi va yirik sanoat korxonalarida qo'llash imkoniyatidir. Kamchiligi esa energiya sarfining nisbatan yuqoriligidir.

CLAUDE SIKLI

Claude sikli Linde texnologiyasining takomillashtirilgan ko'rinishi bo'lib, unda qo'shimcha ravishda turboekspander qo'llaniladi. Gazning turbina orqali kengayishi natijasida qo'shimcha sovish yuz beradi va energiyaning bir qismi mexanik ishga aylantiriladi.

Claude siklining asosiy bosqichlari quyidagilardan iborat:

- havoni siqish;
- issiqlik almashinish apparatlarida dastlabki sovitish;
- gaz oqimining bir qismini turboekspanderga yuborish;
- qo'shimcha sovitish;
- suyuqlanish;
- ikki bosqichli rektifikatsiya.



Claude sikli Linde sikliga nisbatan 10–20 % gacha energiya tejamkorligini ta'minlaydi. Shu sababli zamonaviy kislorod va azot ishlab chiqarish korxonalarining aksariyatida aynan ushbu texnologiyadan foydalaniladi.

2-jadval

Linde va Claude texnologiyalarining qiyosiy tavsifi

Ko'rsatkich	Linde sikli	Claude sikli
Texnologik murakkablik	Past	O'rta
Energiya sarfi	Yuqori	Past
Sovitish samaradorligi	Yaxshi	Juda yuqori
Turboekspander	Yo'q	Mavjud
Sanoatda qo'llanishi	Keng	Juda keng
Mahsulot sifati	Yuqori	Juda yuqori

**GAZLARNI FRAKSIYALARGA AJRATISH
TEXNOLOGIYASI**

Atmosfera havosini fraksiyalarga ajratish jarayoni kriogen texnologiyaning eng muhim bosqichi hisoblanadi. Jarayonning asosiy maqsadi havo tarkibidagi azot, kislorod va argonni yuqori tozalik darajasida ajratib olishdan iborat. Gazlarni ajratish ularning qaynash haroratlari farqiga asoslangan bo'lib, rektifikatsiya kolonnalarida amalga oshiriladi.

Texnologik jarayon atmosfera havosini mexanik aralashmalardan, namlik va karbonat angidriddan tozalashdan boshlanadi. Namlik va karbonat angidrid kriogen haroratlarda muzlab qolishi sababli ular molekulyar elakli adsorberlar yordamida oldindan ajratib olinadi. Tozalangan havo ko'p bosqichli kompressorlarda siqilib, issiqlik almashinish apparatlariga uzatiladi.



Issiqlik almashinish apparatlarida siqilgan havo qarama-qarshi oqim prinsipi asosida sovuq mahsulot gazlari bilan issiqlik almashadi. Natijada havo harorati asta-sekin pasayadi. Keyinchalik Joule–Tomson klapani yoki turboekspander orqali bosim kamaytiriladi va gazning bir qismi suyuq holatga o‘tadi. Hosil bo‘lgan suyuq havo rektifikatsiya kolonnasiga yuboriladi.

Rektifikatsiya jarayonida azot qaynash harorati past bo‘lganligi sababli kolonnaning yuqori qismida to‘planadi, kislorod esa pastki qismda yig‘iladi. Argon esa kislorod va azot orasidagi qatlamdan alohida ajratib olinadi. Mahsulotlarning tozalik darajasi kolonna ichidagi bug‘ va suyuqlik oqimlari muvozanati, bosim, harorat hamda kontakt elementlari samaradorligiga bog‘liq.

Quyida atmosfera havosini kriogen usulda ajratishning umumlashtirilgan texnologik ketma-ketligi keltirilgan.

Atmosfera havosi → Filtr → Kompessor → Adsorber → Issiqlik almashinish apparati → Turboekspander (yoki Joule–Tomson klapani) → Suyuq havo → Yuqori va past bosimli rektifikatsiya kolonnalari → Azot + Argon + Kislorod

Mazkur texnologik sxema bugungi kunda dunyoning yirik gaz ishlab chiqaruvchi korxonalarida qo‘llanilmoqda.

ZAMONAVIY HAVO AJRATISH QURILMALARI (ASU)

Air Separation Unit (ASU) – atmosfera havosidan sanoat gazlarini ajratib olish uchun mo‘ljallangan murakkab kriogen majmua hisoblanadi. Zamonaviy ASU lar yuqori unumdorlik, energiya tejamkorligi va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari bilan ajralib turadi.

ASU tarkibiga odatda quyidagi asosiy qurilmalar kiradi:

- atmosfera havosini filtrlash bloki;
- ko‘p bosqichli kompressor;



- molekulyar elakli adsorber;
- plastinali issiqlik almashinish apparati;
- turboekspander;
- yuqori bosimli rektifikatsiya kolonnasi;
- past bosimli rektifikatsiya kolonnasi;
- argon ajratish kolonnasi;
- suyuq mahsulotlarni saqlash rezervuarlari;
- avtomatlashtirilgan nazorat va boshqaruv tizimi.

ASU lar ishlab chiqarish quvvatiga qarab kichik, o'rta va yirik turdagi qurilmalarga bo'linadi. Zamonaviy korxonalarda sutkasiga minglab tonna kislorod va azot ishlab chiqaruvchi yuqori unumli qurilmalar ishlatilmoqda.

3-jadval

Havo ajratish qurilmalarining asosiy texnik ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Qiymati
Ish bosimi	5–20 MPa
Ish harorati	–170...–196 °C
Kislorod tozaligi	99,5–99,9 %
Azot tozaligi	99,9–99,999 %
Argon tozaligi	99,99 %
Kislorod ishlab chiqarish quvvati	50–5000 t/sutka

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, kriogen texnologiyalar yuqori tozalikdagi gazlarni sanoat miqyosida ishlab chiqarish imkonini beradi.

GAZLARNI HAVO YORDAMIDA AJRATISHNING SANOATDAGI QO'LLANILISHI

Kriogen havo ajratish texnologiyasi bugungi kunda ko'plab sanoat tarmoqlarining ajralmas qismiga aylangan. Ayniqsa yuqori tozalikdagi kislorod, azot va argonga bo'lgan talab yil sayin ortib bormoqda.



Metallurgiya sanoatida kislorod domna pechlari va po‘lat eritish agregatlarida yonish jarayonlarini jadallashtirish hamda energiya sarfini kamaytirish maqsadida qo‘llaniladi. Natijada metall eritish unumdorligi oshadi va yoqilg‘i sarfi kamayadi.

Kimyo sanoatida azot inert muhit hosil qilish, ammiak sintezi, mineral o‘g‘itlar ishlab chiqarish va portlovchi moddalar tayyorlashda keng qo‘llaniladi. Kislorod esa oksidlanish reaksiyalarining samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.

Tibbiyot sohasida yuqori tozalikdagi kislorod sun‘iy nafas oldirish apparatlari, reanimatsiya bo‘limlari va gipoksiyani davolashda qo‘llaniladi. Suyuq azot esa biologik namunalarni uzoq muddat saqlash, krioterapiya va laboratoriya tadqiqotlarida ishlatiladi.

Elektronika sanoatida yuqori tozalikdagi azot va argon yarimo‘tkazgichlar, mikrochiplar va optik tolalarni ishlab chiqarishda himoya muhiti sifatida xizmat qiladi.

Oziq-ovqat sanoatida azot mahsulotlarni qadoqlashda oksidlanish jarayonlarini sekinlashtiradi, suyuq azot esa tez muzlatish texnologiyalarida mahsulot sifatini saqlashga yordam beradi.

Shuningdek, argon payvandlash texnologiyalarida himoya gazi sifatida keng qo‘llaniladi. Uning kimyoviy inertligi yuqori sifatli payvand choklarini hosil qilish imkonini beradi.

NATIJALAR

O‘tkazilgan ilmiy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, kriogen usul atmosfera havosidan gazlarni ajratishning eng samarali va ishonchli texnologiyalaridan biridir. Linde va Claude sikllarining qo‘llanilishi yuqori tozalikdagi kislorod, azot va argonni sanoat miqyosida uzluksiz ishlab chiqarish imkonini beradi.

Claude sikli energiya sarfi bo‘yicha Linde sikliga nisbatan afzal bo‘lib, turboekspander qo‘llanilishi hisobiga elektr energiyasi sarfi kamayadi. Zamonaviy issiqlik almashinish apparatlari va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari mahsulot



sifatini barqaror ushlab turishga hamda ishlab chiqarish tannarxini pasaytirishga xizmat qiladi.

PSA (Pressure Swing Adsorption) va membranali texnologiyalar ayrim hollarda iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lsa-da, yuqori tozalikdagi kislorod va argon olishda kriogen usullar ustunlik qiladi. Ayniqsa yirik metallurgiya, kimyo va elektronika korxonalarida kriogen havo ajratish texnologiyasi eng samarali yechim bo'lib qolmoqda.

Bundan tashqari, zamonaviy raqamli boshqaruv tizimlari, sun'iy intellekt elementlari va energiya monitoringi vositalarining joriy etilishi ASU qurilmalarining ekspluatatsion xarajatlarini kamaytirish hamda ishonchliligini oshirish imkonini bermoqda.

Kriogen texnologiyalarni yanada rivojlantirish energiya tejamkor issiqlik almashinish apparatlarini takomillashtirish, yuqori samarali turboekspanderlardan foydalanish va ishlab chiqarish jarayonlarini to'liq avtomatlashtirish bilan chambarchas bog'liq. Bu esa kelgusida gazlarni ajratish samaradorligini yanada oshirishga xizmat qiladi.

Xulosa: Atmosfera havosini kriogen usulda sovitish orqali fraksiyalarga ajratish zamonaviy kimyo sanoati, metallurgiya, energetika, elektronika, tibbiyot va oziq-ovqat sanoati uchun strategik ahamiyatga ega bo'lgan texnologik jarayon hisoblanadi. Mazkur texnologiya gazlarning fizik-kimyoviy xossalari, xususan qaynash haroratlari farqiga asoslanib, yuqori tozalikdagi azot, kislorod va argonni sanoat miqyosida uzluksiz ishlab chiqarish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, kriogen ajratish texnologiyasining samaradorligi gazni siqish bosimi, issiqlik almashinish apparatlarining ishlash sifati, turboekspanderning samaradorligi hamda rektifikatsiya kolonnalarining konstruktiv yechimlariga bevosita bog'liq. Zamonaviy havo ajratish qurilmalarida qo'llanilayotgan yuqori samarali plastinali issiqlik almashinish apparatlari va ikki



bosqichli rektifikatsiya kolonnalari mahsulotlarning tozalik darajasini oshirish bilan birga energiya sarfini ham kamaytirishga xizmat qilmoqda.

Linde va Claude sikllarining qiyosiy tahlili Claude texnologiyasining energiya tejamkorligi va sovitish samaradorligi bo'yicha ustun ekanligini ko'rsatdi. Turboekspanderlardan foydalanish natijasida elektr energiyasi sarfi kamayadi, jarayonning termodinamik samaradorligi esa ortadi. Shu sababli zamonaviy yirik havo ajratish korxonalarida Claude sikli asosidagi texnologiyalar keng qo'llanilmoqda.

Gazlarni fraksiyalarga ajratish natijasida olinadigan kislorod, azot va argonning sanoatdagi qo'llanilish sohasi yil sayin kengayib bormoqda. Kislorod metallurgiya va tibbiyotda, azot kimyo sanoati, oziq-ovqat mahsulotlarini qadoqlash hamda elektronika ishlab chiqarishda, argon esa payvandlash va yuqori texnologiyali ishlab chiqarish jarayonlarida muhim ahamiyat kasb etadi.

Kelgusida kriogen texnologiyalarni rivojlantirishning asosiy yo'nalishlari sifatida energiya sarfini kamaytiruvchi issiqlik almashinish tizimlarini takomillashtirish, raqamli boshqaruv va sun'iy intellekt elementlarini joriy etish, yuqori samarali turboekspanderlardan foydalanish hamda karbonat angidrid emissiyasini kamaytirishga qaratilgan ekologik xavfsiz texnologiyalarni ishlab chiqish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Umuman olganda, atmosfera havosini kriogen usulda sovitib fraksiyalarga ajratish texnologiyasi sanoat gazlarini ishlab chiqarishning eng ishonchli, yuqori unumdor va iqtisodiy samarali usullaridan biri bo'lib, uning ilmiy va amaliy ahamiyati kelgusida yanada ortib borishi kutiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. D.R.Hamidov , D.U.Donniyev. Gazlarni havo bilan sovitish qurilmasi
Patent FAP 2806



2. Smith J.M., Van Ness H.C., Abbott M.M. **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics**. 8th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018. – 817 p.
3. Perry R.H., Green D.W. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2019. – 2400 p.
4. Coulson J.M., Richardson J.F. **Chemical Engineering. Volume 6: Design**. 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. – 1256 p.
5. Barron R.F. **Cryogenic Systems**. 3rd ed. Oxford University Press, 2020. – 560 p.
6. Flynn T.M. **Cryogenic Engineering**. 2nd ed. CRC Press, 2021. – 912 p.
7. Timmerhaus K.D., Reed R.P. **Cryogenic Engineering: Fifty Years of Progress**. Springer, 2019. – 1040 p.
8. Kohl A., Nielsen R. **Gas Purification**. 6th ed. Gulf Professional Publishing, 2018. – 1392 p.
9. Seader J.D., Henley E.J., Roper D.K. **Separation Process Principles**. 4th ed. Wiley, 2017. – 850 p.
10. Sinnott R.K., Towler G. **Chemical Engineering Design**. Elsevier, 2020. – 1320 p.
11. Poling B.E., Prausnitz J.M., O'Connell J.P. **The Properties of Gases and Liquids**. 5th ed. McGraw-Hill, 2020. – 803 p.
12. Irnazarov Sh.I., Axmedov A.N., Xamroyev E.O., Raxmatov E.R. **Biokimyo**. – Qarshi: Intellect nashriyoti, 2026. – 340 b.
13. Zakirova M.R., Boboyev A.X. **Kimyoviy texnologiya asoslari**. – Toshkent: Fan, 2021. – 428 b.
14. Himmelblau D.M. **Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering**. 9th ed. Pearson Education
15. D.R.Hamidov , D.U.Donniyev. Gazlarni havo bilan sovitish qurilmasi
Patent FAP 2806