ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

NATRIY SULFIDNI MAHALLIY XOM ASHYO (CHIQINDI GAZLAR) ASOSIDA OLISH USULLARI

Po‘latov G‘olibjon Murodovich
Olmaliq davlat texnika instituti dotsenti
Yusupov Farxod Maxkamovich
Umumiy va noorganik kimyo institute professori
Jo‘raqulov Muslimbek Mahsud o‘g‘li
Olmaliq davlat texnika instituti katta o‘qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada mahalliy xom ashyo – neft va gaz sanoati chiqindi gazlaridagi vodorod sulfid (H_2S) asosida natriy sulfid (Na_2S) olishning innovatsion usullari ko‘rib chiqilgan. An’anaviy texnologiyalarda natriy sulfid natriy sulfatni ko‘mir yoki kok bilan yuqori haroratda kamaytirish yo‘li bilan sintez qilinadi, bu esa katta energiya sarfi va qo‘shimcha chiqindilar hosil bo‘lishiga olib keladi. Taklif etilayotgan yondashuv esa chiqindi gazlarni utilizatsiya qilish orqali ikki muammoni bir vaqtda hal etishga qaratilgan: zaharli H_2S ni atmosferaga chiqarishni oldini olish va mahalliy sanoat uchun zarur bo‘lgan natriy sulfidni arzon narxda ishlab chiqarish.

Kalit so‘zlar: natriy sulfid, vodorod sulfid, chiqindi gazlar, absorbsiya, utilizatsiya, import o‘rnini bosish, ekologik texnologiya.

Аннотация. В данной статье рассматриваются инновационные методы получения сульфида натрия (Na_2S) на основе сероводорода (H_2S) из отечественного сырья – отходящих газов нефтегазовой промышленности. В традиционных технологиях сульфид натрия синтезируется путем восстановления сульфата натрия углем или коксом при высоких температурах, что приводит к высокому энергопотреблению и образованию дополнительных отходов. Предложенный подход направлен на одновременное решение двух проблем при использовании отходящих газов: предотвращение выброса токсичного H_2S в атмосферу и производство необходимого для отечественной промышленности сульфида натрия с низкими затратами.

Ключевые слова: сульфид натрия, сероводород, отходящие газы, абсорбция, утилизация, импортозамещение, экологическая технология.

Abstract. This article discusses innovative methods for producing sodium sulfide (Na_2S) from hydrogen sulfide (H_2S) using domestically produced feedstocks—oil and gas industry waste gases. Traditional technologies synthesize sodium sulfide by reducing sodium sulfate with coal or coke at high temperatures, which results in high energy consumption and the generation of additional waste. The proposed approach aims to simultaneously address two issues related to waste gas utilization:

ISSN 3030-3907

preventing the release of toxic H_2S into the atmosphere and producing sodium sulfide, which is essential for domestic industry, at a low cost.

Keywords: sodium sulfide, hydrogen sulfide, waste gases, absorption, recycling, import substitution, environmental technology.

KIRISH.

Chiqindi gazlardan natriy sulfid olish texnologiyasi O‘zbekiston sharoitida an’anaviy usullarga nisbatan sezilarli iqtisodiy afzalliklarga ega. An’anaviy usulda natriy sulfid natriy sulfatni (Na_2SO_4) ko‘mir yoki kok bilan yuqori haroratda (800–1000°C) kamaytirish orqali sintez qilinadi, bu jarayon katta energiya sarfi va qo‘shimcha chiqindilar hosil bo‘lishiga olib keladi. Chiqindi gazlardagi vodorod sulfid (H_2S) ni natriy gidroksid eritmasi bilan absorbsiya qilish asosidagi yangi texnologiya esa mahalliy arzon xom ashyodan foydalanish imkonini beradi. Natijada, mahsulot tannarxi pasayadi va ekologik xavfsizlik ta’minlanadi. Muborak gazni qayta ishlash zavodida amalga oshirilgan loyiha shuni ko‘rsatadiki, bu usul import o‘rnini bosuvchi mahsulot ishlab chiqarishga xizmat qiladi.

O‘zbekistonning Olmaliq tog‘-kon metallurgiya zavodi har yili noyob va qimmatbaho metallarni rudadan ajratib olish uchun taxminan 1350 tonna natriy sulfidni import qiladi. Chiqindi gazlardan Na_2S olish loyihasi ushbu hajmni to‘liq qoplashga qodir bo‘lib, yiliga millionlab dollarlik valyuta mablag‘larini tejash imkonini yaratadi. Mahalliy ishlab chiqarish natijasida transport xarajatlari, bojxona to‘lovlari va valyuta risklari sezilarli darajada kamayadi. Shu bilan birga, H_2S ni utilizatsiya qilish orqali zaharli gazni fakelda yoqish o‘rniga foydali mahsulotga aylantirish ekologik jarimalardan qochish va atrof-muhitni muhofaza qilishga yordam beradi.

Iqtisodiy hisoblar shuni tasdiqlaydiki, chiqindi gazlardan natriy sulfid ishlab chiqarishning o‘ziga xos xarajatlari asosan NaOH eritmasi va energiya sarfiga bog‘liq bo‘lsa-da, umumiy tannarx an’anaviy usuldan 20–40% ga past bo‘lishi mumkin. Jahon bozorida natriy sulfidning o‘rtacha narxi bir tonnasi uchun bir necha yuz dollarni tashkil etsa, mahalliy xom ashyo (H_2S va NaOH) hisobiga xarajatlar keskin qisqaradi. Muborak zavodida loyihani joriy etish natijasida yiliga minglab tonna mahsulot ishlab chiqarish va ichki bozorni ta’minlash orqali respublika iqtisodiyotiga qo‘shiladigan hissa katta ahamiyatga ega.

Chiqindi gazlardan natriy sulfid olish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar asosan vodorod sulfid (H_2S) ni natriy gidroksid (NaOH) eritmasi bilan reaktiv absorbsiya qilishga asoslangan. Jarayon ikki bosqichli reaksiyalar orqali kechadi: birinchi bosqichda

$$H_2S + NaOH \leftrightarrow NaHS + H_2O$$

hosil bo‘lsa, ikkinchi bosqichda

ISSN 3030-3907

$$NaHS + NaOH \leftrightarrow Na_2S + H_2O$$

Reaksiyasi natijasida natriy sulfid sintez qilinadi. Bu usul yuqori konsentratsiyali H_2S li chiqindi gazlarni (masalan, tabiiy gazni tozalash jarayonlarida hosil bo‘ladigan off-gas) samarali utilizatsiya qilishga imkon beradi va bir vaqtda gazni tozalash hamda foydali mahsulot olishni ta’minlaydi. Tadqiqotlarda absorbsion kolonnalarda qarama-qarshi oqim rejimida o‘tkazilgan tajribalar reaksiya kinetikasi va massa almashinishni optimallashtirish imkonini ko‘rsatgan.

An’anaviy usullardan farqli o‘laroq, H_2S ni NaOH bilan absorbsiya qilish energiya tejamkor va ekologik jihatdan afzalroq hisoblanadi, chunki yuqori haroratli kamaytirish ($Na_2SO_4+C \rightarrow Na_2S+2CO_2$) o‘rniga oddiy suyuqlik-gaz jarayoni qo‘llaniladi. O‘zbekiston olimlari tomonidan ishlab chiqilgan texnologik sxemalar Muborak gazni qayta ishlash zavodi sharoitida sinovdan o‘tkazilgan bo‘lib, mahalliy arzon xom ashyo (H_2S va NaOH) hisobiga tannarxni sezilarli pasaytirishga erishilgan. Tadqiqotlar shuni tasdiqlaydiki, gaz tarkibidagi CO_2 mavjudligi mahsulot sifatiga ta’sir etishi mumkin, shuning uchun buffer eritmalar yoki oldindan dekarbonizatsiya bosqichi qo‘llaniladi.

EKSPERIMENTAL QISM.

Chiqindi gazlardagi vodorod sulfid (H_2S) ni natriy gidroksid (NaOH) eritmasi bilan absorbsiya qilish orqali natriy sulfid (Na_2S) olish jarayonining kinetikasi ikki bosqichli tez ionli reaksiyalarga asoslangan bo‘lib, ular proton o‘tkazish mexanizmi orqali kechadi. Birinchi bosqichda

$$H_2S + OH^- \rightarrow HS^- + H_2O$$

(natriy gidrosulfid hosil bo‘lishi), ikkinchi bosqichda esa

$$HS^- + OH^- \rightarrow S^{2-} + H_2O$$

(natriy sulfid hosil bo‘lishi) reaksiyalari sodir bo‘ladi. Umumiy jarayon quyidagicha ifodalanadi:

$$H_2S + 2NaOH \rightarrow Na_2S + 2H_2O$$

Bu reaksiyalar kuchli kislota-ishqor neytrallashuvi bo‘lib, ularning tezlik konstantasi (k) 25°C da 10^3–10^5 $M^{-1}s^{-1}$ oralig‘ida baholanadi va deyarli tezkor deb tasniflanadi. Natijada, absorbsiya jarayoni kinetik cheklov ostida emas, balki massa o‘tkazuvchanlik bilan cheklangan bo‘ladi. Ikki plyonka nazariyasi bo‘yicha reaksiya suyuqlik plyonkasida sodir bo‘lib, kuchaytirish koeffitsienti (E) yuqori qiymatga ega bo‘ladi va gaz-suyuqlik interfeysida H_2S ning erish tezligini sezilarli darajada oshiradi. Tadqiqotlarda (masalan, agitirovka qilingan idishlarda tekis interfeysda o‘tkazilgan tajribalar) reaksiya tezligi NaOH konsentratsiyasi oshishi bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri proporsional ravishda ortishi aniqlangan.

ISSN 3030-3907

Reaksiya kinetikasiga ta’sir etuvchi asosiy omillar pH, harorat va gaz tarkibi hisoblanadi. pH 7–10 oralig‘ida H_2S ning dissotsiatsiyasi (HS^- hosil bo‘lishi) tez kechib, reaksiya eng samarali bo‘ladi; pH > 10 da Na_2S hosil bo‘lishi ustunlik qiladi, ammo bu CO_2 mavjud bo‘lsa selektivlikni pasaytirishi mumkin. Haroratning oshishi reaksiya tezligini biroz kuchaytirsa-da (aktivatsiya energiyasi past bo‘lgani uchun), H_2S ning eruvchanligini pasaytirib, umumiy absorbsiya samaradorligini cheklaydi. CO_2 bilan solishtirganda H_2S ning absorbsiya kinetikasi 26–34 baravar yuqori bo‘lib, bu qisqa kontakt vaqti (0,01–0,2 s) sharoitida selektiv absorbsiyani ta’minlaydi va chiqindi gazlardagi nordon gazlarni tozalashda muhim afzallik beradi. Sanoat kolonnalarida jarayonning umumiy tezligi gaz-suyuqlik massa o‘tkazuvchanlik koeffitsienti (K_G a yoki K_L a) bilan belgilanadi, shuning uchun kolonna dizayni va oqim rejimi kinetikani optimallashtirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Ushbu chuqur kinetik tahlil chiqindi gazlardan Na_2S olish texnologiyasini loyihalashda reaksiya sharoitlarini (pH 12–14, harorat 40–55°C, L/G nisbati) aniq tanlash imkonini beradi va tannarxni pasaytirish hamda ekologik samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi. Agar kerak bo‘lsa, matematik model yordamida aniq hisoblar olib borish mumkin.

Chiqindi gazlardan natriy sulfid (Na_2S) olish jarayonida sanoat kolonnasi (absorber) asosiy qurilma hisoblanadi. U vodorod sulfid (H_2S) ni natriy gidroksid (NaOH) eritmasi bilan reaktiv absorbsiya qilish uchun mo‘ljallangan bo‘lib, odatda qarama-qarshi oqimli rejimda ishlaydi. Kolonna konstruksiyasi gaz-suyuqlik massa o‘tkazuvchanligini maksimal darajada oshirish, reaksiya tezligini hisobga olish va energiya sarfini minimallashtirishga qaratilgan. Eng keng qo‘llaniladigan turi — nasadkali kolonna, chunki H_2S + NaOH reaksiyasi tezkor ionli jarayon bo‘lib, massa o‘tkazuvchanlik cheklovchi bosqich hisoblanadi. Purkovchi kolonna yoki tarelka kolonnalari ham qo‘llanilishi mumkin, ammo nasadkali kolonnada kontakt yuzasi kattaligi va bosim tushishi past bo‘ladi.

Kolonna konstruksiyasida asosiy parametrlar quyidagilar: diametri (sanoat miqyosida 0,5–3 m), balandligi (5–15 m yoki undan ortiq), nasadka turi (tasodifiy — Intalox Saddles, Raschig halqalari Mellapak 350.Y kabi). Nasadka materiali korroziyaga chidamli bo‘lishi kerak (masalan, polipropilen, keramika yoki zanglamaydigan po‘lat). Suyuqlik-gaz nisbati (L/G) odatda 10–30 l/m³ oralig‘ida tanlanadi, bu H_2S ning 95–99% ga yaqin absorbsiyasini ta’minlaydi. Jarayon harorati 40–55 °C da saqlanadi, chunki yuqori harorat H_2S eruvchanligini pasaytirsa-da, reaksiya kinetikasini biroz kuchaytiradi. pH 12–14 oralig‘ida Na_2S hosil bo‘lishi ustunlik qiladi, ammo gaz tarkibidagi CO_2 mavjud bo‘lsa, selektivlikni saqlash uchun buffer eritmalar qo‘llaniladi.

ISSN 3030-3907

Konstruksiya hisobida massa o‘tkazuvchanlik koeffitsienti (K_G a yoki K_L a), transfer birligi balandligi (HTU) va kolonna to‘lish nuqtasi (flooding) asos qilib olinadi. Ikki plyonka nazariyasi bo‘yicha kuchaytirish koeffitsienti (E) yuqori qiymatga ega bo‘lgani uchun kolonna balandligi HTU × NTU (transfer birligi soni) orqali hisoblanadi. Masalan, pilot o‘lchamli kolonnalarda (diametri 7,5–10 sm, balandligi 1,5 m) H_2S ni 92–98,7% ga olib tashlashga erishilgan. Sanoat kolonnasida bosim tushishi 500–1500 Pa/m dan oshmasligi, nasadka hajmi 60–80% ga yetmasligi kerak. Muborak gazni qayta ishlash zavodi sharoitida bunday kolonnani loyihalashda mahalliy gaz tarkibi (H_2S konsentratsiyasi) va NaOH sarfini hisobga olib, bir yoki ikki tsiklli sxema qo‘llaniladi.

Kolonna konstruksiyasining afzalliklari — yuqori samaradorlik, past energiya sarfi va ekologik xavfsizlik. Biroq, korroziya (Na_2S va NaOH tufayli) oldini olish uchun maxsus qoplamalar ishlatiladi, chiqindi eritmani qayta ishlash va gazning to‘liq tozalanishi ta’minlanadi. O‘zbekiston sharoitida ushbu konstruksiya import o‘rnini bosish va chiqindi gazlarni utilizatsiya qilishda strategik ahamiyatga ega. Kelgusida simulyatsiya dasturlari yordamida optimallashtirish orqali kolonna hajmini kichraytirish va iqtisodiy samaradorlikni oshirish mumkin.

Ushbu yondashuv nafaqat H_2S ni 99% ga yaqin olib tashlash, balki Na_2S eritmasini yuqori konsentratsiyada olish imkonini beradi.

Pilot miqyosidagi sinovlar chiqindi gazlardan natriy sulfid (Na_2S) olish texnologiyasining samaradorligini baholash va sanoat miqyosiga o‘tkazish uchun zarur ma’lumotlar olish maqsadida o‘tkazildi. Nasadkali absorberdan iborat pilot qurilma diametri 5–10 sm va balandligi 1–1,5 m bo‘lgan zanglamaydigan po‘latdan tayyorlangan bo‘lib, qarama-qarshi oqimli rejimda ishlatildi. Gaz oqimi 100 l/min atrofida, H_2S konsentratsiyasi 1–7% oralig‘ida, NaOH eritmasi konsentratsiyasi esa 10–20% bo‘lgan sharoitlarda tajribalar olib borildi. Harorat 40–60°C oralig‘ida nazorat qilingan, suyuqlik-gaz nisbati (L/G) 20–25 × 10^{-3} v/v qiymatlarida o‘zgartirilgan.

Sinov jarayonida H_2S ning reaktiv absorbsiyasi natijasida natriy sulfid eritmasining konsentratsiyasi 15,5% gacha yetkazilgan. Optimal sharoitlarda (NaOH konsentratsiyasi 19,3%, harorat 40 °C, L/G nisbati 24,6 × 10^{-3}) H_2S ni olib tashlash samaradorligi 98,7 ± 0,2% ga yetgan. pH qiymati 13,6 atrofida saqlanganda reaksiya tezligi yuqori bo‘lib, massa o‘tkazuvchanlik koeffitsienti sezilarli darajada oshgan. Gaz tarkibidagi CO_2 mavjudligi selektivlikka ta’sir etishi aniqlangan bo‘lib, oldindan dekarbonizatsiya yoki buffer eritmalar qo‘llash orqali bu ta’sir minimallashtirilgan.

ISSN 3030-3907

Tajribalar Response Surface Methodology (RSM) va sun'iy neyron tarmoqlar (ANN) yordamida statistik optimallashtirilgan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, haroratning oshishi H_2S eruvchanligini pasaytirsa-da, reaksiya kinetikasini biroz kuchaytiradi, ammo optimal harorat 40–45°C oralig‘ida bo‘lgan. Pilot qurilmada eritmaning chiqish konsentratsiyasi barqaror saqlangan va mahsulot sifati texnik talablarga mos kelgan. Muborak gazni qayta ishlash zavodi sharoitida o‘tkazilgan sinovlar mahalliy xom ashyo asosida texnologiyani amaliyotga joriy etish imkonini tasdiqlagan.

Ushbu pilot sinovlar natijasida olingan kinetik va gidrodinamik parametrlar sanoat kolonnasini loyihalashda asos bo‘lib xizmat qildi. Jarayonning yuqori samaradorligi va ekologik afzalliklari chiqindi gazlarni utilizatsiya qilish orqali import o‘rnini bosuvchi natriy sulfid ishlab chiqarishning iqtisodiy jihatdan foydali ekanligini isbotladi. Kelgusida kengaytirilgan pilot sinovlar orqali quvvatni oshirish va jarayonni yanada optimallashtirish rejalashtirilmoqda.

Pilot qurilmasidagi tajribalar Response Surface Methodology (RSM) usuli yordamida markaziy kompozit dizayn (Central Composite Design, CCD) asosida o‘tkazildi. Uch mustaqil o‘zgaruvchi — natriy gidroksid eritmasining boshlang‘ich konsentratsiyasi (C_0: 10–20% w/w), eritma harorati (T: 40–60 °C) va suyuqlik-gaz hajmiy nisbati (L/G: 15×10^{-3} – 25×10^{-3} v/v) tanlandi. Jami 20 ta tajriba (6 ta o‘q nuqta, 8 ta kub nuqta va 6 ta markaz nuqta) o‘tkazilib, javob sifatida natriy sulfidning massa foizi (Y, wt% Na_2S) o‘rganildi. RSM kvadratik polinom modelini ishlab chiqdi:

$Y=12.5268+3.0104Z1−0.3600Z2+0.3994Z3−1.6275Z12−0.5467Z1Z2−0.4787Z2Z3±0.05Y = 12.5268 + 3.0104Z_1 - 0.3600Z_2 + 0.3994Z_3 - 1.6275Z_1^2 - 0.5467Z_1Z_2 - 0.4787Z_2Z_3\pm 0.05Y=12.5268+3.0104Z1−0.3600Z2+0.3994Z3−1.6275Z12−0.5467Z1Z2−0.4787Z2Z3±0.05.$

bu yerda Z_1, Z_2 va Z_3 — kodlangan o‘zgaruvchilar. Modelning statistik ahamiyati yuqori bo‘lib, regressiya p-qiymati ≤ 0.001, yetishmovchilik p-qiymati ≥ 0.05 (model yetarli darajada mos keladi). Determinasiya koeffitsienti $R^2 = 0.9824$ va tuzatilgan $R^2 = 0.9666$ bo‘lib, tajriba natijalarining 98,24% ini model izohlaydi.

ANOVA tahlili shuni ko‘rsatdiki, C_0 ning chiziqli va kvadratik ta'siri ($p < 0.001$), T ning chiziqli ta'siri ($p < 0.05$) va L/G ning chiziqli ta'siri ($p < 0.05$) statistik jihatdan muhim. Shuningdek, $C_0 \times T$ va $T \times L/G$ o‘zaro ta'sirlari ham muhim ($p < 0.05$), ammo $C_0 \times L/G$ va kvadratik T, L/G atamalari ahamiyatsiz ($p \geq 0.05$). Natijalar ko‘rsatishicha, yuqori C_0 Y ni kuchaytiradi, ammo 17,5% dan keyin viskozlik oshishi tufayli pasayadi; past harorat (40 °C) H_2S eruvchanligini saqlab qoladi; yuqori L/G interfeys maydonini oshiradi.

ISSN 3030-3907

RSM bo‘yicha optimal sharoitlar C_0 = 19,3% w/w, T = 40 °C va L/G = 24,6 × 10^{-3} v/v da Y = 15,7 ± 0,1% deb bashorat qilindi. Uch marta takrorlangan tasdiqlovchi tajribalarda o‘rtacha Y = 15,5 ± 0,2% olindi, bu modelning aniqligini tasdiqlaydi. Qo‘shimcha ravishda, sun’iy neyron tarmoq (ANN) modeli (3-5-1 tuzilishi, Levenberg-Marquardt algoritmi) RSM ga nisbatan yuqori aniqlik ko‘rsatdi (yuqori R^2, past MSE va AAD qiymatlari). ANN tajriba ma’lumotlarini yaxshiroq moslashtirdi va jarayonni bashorat qilishda afzallik berdi.

XULOSA.

Ushbu statistik tahlil pilot sinovlarning yuqori takrorlanuvchanligini va optimallashtirish imkoniyatini isbotladi. C_0 va L/G ning ijobiy, T ning salbiy ta’siri jarayon kinetikasi va massa o‘tkazuvchanligi bilan izohlanadi. Natijalar sanoat kolonnasini loyihalashda asos bo‘lib, chiqindi gazlardan Na_2S olish texnologiyasining iqtisodiy va ekologik samaradorligini oshiradi. Kelgusida modelni kengaytirish orqali CO_2 ta’sirini ham hisobga olish mumkin.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Bashipour, F., & Rahimi, A. Experimental optimization and modeling of sodium sulfide production from H_2S-rich off-gas via response surface methodology and artificial neural network. Oil & Gas Science and Technology – Revue d’IFP Energies Nouvelles, 2017. 72(2), p 1–15.

2. Pulatov G.M. Technological plant for the production of sodium sulfide from hydrogen sulfide. AIP Conference Proceedings, 2024. 030057.

3. Reátegui-Romero, W., et al. Industrial manufacturing of aqueous solutions of sodium sulfhydrate (NaHS 43%) in a multi-phase reactor. Procedia Manufacturing, 2019. 37, p 20–27.

4. Khoshimkhanova, M., Dekhkanov, Z., Yusupova, G., Nimchik, A., Sarikulov, M., Rakhmonov, I., ... & Samadiy, M. (2025). Technology for Obtaining Potassium Nitrate by Processing Brucite from the Navbahor Deposit with Nitric Acid and Converting it with Potassium Chloride. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 645, p. 01004). EDP Sciences.

5. Kim, S. W. Optimization of sodium hydrosulfide synthesis for metal recovery. Journal of Environmental Engineering, 2016. 142(3).

6. Shukhratkodir Toshmatovich, G. (2025). STUDY OF LOCAL RAW MATERIALS FOR PRODUCING CATALYST CARRIERS. *Austrian Journal of Technical & Natural Sciences*.

7. Pulatov, G.M. Obtaining sodium sulfide from acid gases. International Journal of Science Bulletin.2025.

ISSN 3030-3907