TABIIY GAZNI KOMPOZIT ADSORBENT QATLAMIDA DINAMIK QURITISH: YORIB O‘TISH VAQTINI VA TEXNOLOGIK PARAMETRLARNI TANLASH

[1]Ashurov Sh.M., [2] Bozorov O.N., [3]Quyboqarov O.E.,

Annotatsiya. Maqolada tabiiy gazni KA-1–KA-6 kompozit adsorbentlarining sobit qatlamida quritish jarayoni, namlikning yorib o‘tish nuqtasi va quritish davomiyligi tahlil qilinadi. Dissertatsiya loyihasida gaz sarfi 1,0 m³/soat, harorat 30 °C, bosim 2,5 MPa va qatlam balandligi 0,30 m sharoitida KA-4 uchun 8,6 soat yorib o‘tish vaqti hamda 0,146 kg/kg dinamik sig‘im berilgan. Qatlam balandligi 0,10–0,40 m ga o‘zgartirilganda 3,2–11,4 soat oralig‘idagi qiymatlar va bosim yo‘qotilishi birgalikda baholanadi. Adsorbentning ishchi sig‘imini integrallash, Ergun tenglamasi va massa almashinish zonasi haqidagi soddalashtirilgan baholash usullari yoritiladi. Kirish namligi, gaz sarfining normal yoki ishchi sharoitdagi birligi va suv massaviy balansi aniqlashtirilmasa, natijalarni sanoatga bevosita ko‘chirish mumkin emasligi qayd etiladi.

Kalit so‘zlar: adsorbsion quritish; tabiiy gaz; KA-4; yorib o‘tish egri chizig‘i; dinamik sig‘im; qatlam balandligi; Ergun tenglamasi.

Kirish. Sanoat quritish qurilmalarida adsorbentning muvozanat sig‘imi bilan birga gaz oqimi ostida ma’lum namlik chegarasini qancha vaqt saqlay olishi hal qiluvchi ahamiyatga ega. Sobit qatlamda adsorbsiya fronti kirish qismidan chiqish tomon siljiydi; chiqishdagi C_t/C_0 nisbati belgilangan qiymatga yetganda gazni quritish sikli tugatiladi. 4A seolitida gazni quritishning breakthrough tadqiqotlari oqim tezligi va qatlam balandligining muhimligini ko‘rsatadi [1, 2].

Gidrodinamik qarshilik ham jarayonning muhim cheklovidir. Qatlam balandligining oshishi namlik frontining chiqish tomon yetib borish vaqtini uzaytiradi, biroq gazning bosim yo‘qotilishini oshiradi. Materialning haqiqiy sanoat samaradorligini aniqlash uchun quritish davomiyligi, dinamik sig‘im, gazdagi suvning qoldiq miqdori, shudring nuqtasi, energiya va bosim yo‘qotilishini birgalikda ko‘rish talab qilinadi.

TADQIQOT METODIKASI

Dissertatsiya loyihasida diametri 2–4 mm bo‘lgan granulali qatlamda 30 °C va 2,5 MPa sharoitidagi natijalar keltirilgan. Nominal gaz sarfi 1,0 m³/soat va qatlam balandligi 300 mm; C_t/C_0=0,05 yorib o‘tish, C_t/C_0=0,90 esa to‘yinish mezoni sifatida olingan. Dinamik sig‘im q_d = (Q/m)∫_0^tb(C_0−C_t)dt bilan, interval bo‘yicha hisoblash q_d ≈ (Q/m)Σ(C_0−C_i)Δt bilan baholanadi; Q hajmiy sarfi va konsentratsiya bir xil T–P bazaga keltirilishi shart.

Balandlikka bog‘liq tajribalarda 100, 200, 300 va 400 mm qatlamlar qiyoslangan. Bosim yo‘qotilishini hisoblashda Ergun tenglamasidan foydalanish mumkin: $\Delta P = 150(1-\varepsilon)^2\mu LV/(d_p^2\varepsilon^3) + 1{,}75(1-\varepsilon)\rho LV^2/(d_p\,\varepsilon^3)$. Bu yerda V — apparatning umumiy

kesimiga nisbatan yuzaki gaz tezligi, ε — qatlam bo‘shliqliligi. Modelning asosiy farazi zarrachalar diametri va bo‘shliqlilikning yetarlicha bir xil bo‘lishidir [3].

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

Kompozit namunalarining bir xil nominal ish rejimidagi qiyosiy ma’lumotlari 1-jadvalda berilgan. KA-4 ning t_b=8,6 soat va q_d=0,146 kg/kg natijasi KA-3 ning 6,7 soat va 0,119 kg/kg ko‘rsatkichidan yuqori. KA-5 da dinamik sig‘im 0,149 kg/kg bo‘lsa ham, t_b=8,1 soatga teng: bu qatlamni qayta regeneratsiyaga o‘tkazish mezonida KA-4 ustun bo‘lishi mumkinligini anglatadi.

1-jadval. Namunalarning dissertatsiya loyihasidagi dinamik quritish ko‘rsatkichlari

Namuna	t_b, soat	t_s, soat	q_d, kg/kg	Shudring, °C
KA-1	3,1	5,8	0,061	−18
KA-2	4,6	7,4	0,084	−25
KA-3	6,7	10,2	0,119	−35
KA-4	8,6	12,8	0,146	−43
KA-5	8,1	12,1	0,149	−45
KA-6	7,5	11,5	0,137	−40

KA-4 ning KA-3 ga nisbatan breakthrough vaqtidagi o‘sishi (8,6−6,7)/6,7×100≈28,4% ga teng; bu faqat loyihada berilgan taqqoslanadigan sharoitlar uchun to‘g‘ri. Qatlamdagi massa almashinish zonasi uzunligini L·(t_s−t_b)/t_s shaklida baholash mumkin; L=0,30 m, t_b=8,6 va t_s=12,8 soatda shartli qiymat ≈0,098 m bo‘ladi. Bu qo‘pol muhandislik bahosi, tajribaviy o‘lchangan haqiqiy massa almashinish zonasini almashtirmaydi.

2-jadval. KA-4 uchun qatlam balandligi va bosim yo‘qotilishi

Qatlam, mm	Massa, g	t_b, soat	ΔP, kPa
100	45	3,2	3,1
200	90	6,1	5,4
300	135	8,6	7,8
400	180	11,4	12,9

Qatlam 100 mm dan 400 mm ga uzaytirilganda t_b 3,56 marta ortadi, bosim yo‘qotilishi esa 3,1 dan 12,9 kPa gacha ko‘tariladi. 300 mm qatlam laboratoriya rejimida maqbul kompromiss deb berilgan; uning optimal ekani gaz sarfi va apparat kesimi bo‘yicha qo‘shimcha ma’lumotlar bilan tasdiqlanishi kerak.

Sanoatga ko‘chirishning asosiy cheklovi gaz sarfi «1,0 m³/soat» birligining normal yoki ishchi sharoitga tegishli ekanligi ko‘rsatilmaganidadir. Kiruvchi suv konsentratsiyasi, haqiqiy gaz tarkibi va adsorbentning quruq massasi birgalikda aniqlansa, ∫Q(C_0−C_t)dt massaviy balansi bilan q_d qiymatini mustaqil tekshirish mumkin. Aks holda «dinamik

sig‘im» qiymatini to‘liq isbotlangan deb berish ilmiy jihatdan yetarli emas. Bundan tashqari, shudring nuqtasi qaysi bosimda o‘lchanganligi majburiy qayd etilishi kerak.

Siklni modellashtirishda Thomas yoki Yoon–Nelson tenglamalari qo‘llanishi mumkin, biroq faqat t_b va t_s nuqtalaridan olingan ikkita shart bilan modelning mustaqil bashorat sifatini (R^2) ishonchli baholab bo‘lmaydi. To‘liq yorib o‘tish egri chizig‘i kamida 10–15 vaqt nuqtasida qayd etilishi, kiruvchi namlik nazorat qilinishi, bosim va gaz sarfi o‘zgarganda model parametrlari qayta aniqlanishi lozim. Qatlamda kanal hosil bo‘lishi, devor effekti va regeneratsiyadan keyingi qolgan namlik ham alohida baholanadi [1, 4].

Gazni quritish uchun materialni qiyoslashda sof NaA bilan bir xil stenddagi nazorat tajribasi ayniqsa muhim. Ishlab chiqarishdagi boshqa qurilmaning sikl davomiyligi to‘g‘ridan-to‘g‘ri KA-4 bilan taqqoslanmasligi kerak, chunki qatlam uzunligi, kirish namligi, harorat, bosim, regeneratsiya holati va chiqish mezoni farq qilishi mumkin. Qatlamli seolit–silikagel tizimida energiyani kamaytirish imkoniyati nazariy va sanoat modellashtirish ishlarida ham muhokama qilingan [4].

XULOSALAR

1. KA-4 namunasi uchun dissertatsiya loyihasida t_b=8,6 soat, q_d=0,146 kg/kg va −43 °C shudring nuqtasi keltirilgan.

2. Qatlam balandligining ortishi breakthrough vaqtini uzaytiradi, lekin ΔP ni ko‘paytiradi; 300 mm sharoiti dastlabki maqbul nomzoddir.

3. Sanoat tavsiyasidan oldin gaz sarfining T–P bazasi, namlik bo‘yicha moddiy balans va to‘liq breakthrough egri chizig‘i tasdiqlanishi zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. de Carvalho G.R., Cappellari B., Böhmer Júnior R. va boshq. Breakthrough analysis of continuous fixed-bed dehydration of gas streams using 4A zeolite molecular sieve // Acta Scientiarum. Technology. – 2023. – Vol. 45. – Article e58764. DOI: 10.4025/actascitechnol.v45i1.58764.

2. Lorpradit N., Khunatorn Y., Jaruwasupant N., Shimpalee S. Binary gas dehydration using molecular sieve 4A within the pressure-vacuum swing adsorption // Energy. – 2022. – Article 122137. DOI: 10.1016/j.energy.2021.122137.

3. Ambrożek B., Nastaj J. Parametric study of pressure–temperature swing adsorption for gas dehumidification on two-layered bed of porous desiccants // Drying Technology. – 2020. – Vol. 38, No. 1–2. – P. 117–129. DOI: 10.1080/07373937.2019.1623247.

4. Saadat S., Denayer J.F.M., Gholami M. Energy Improvement of Adsorptive Natural Gas Dehydration Unit by Layering the Bed // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2025. – Vol. 64, No. 41. – P. 19953–19959. DOI: 10.1021/acs.iecr.5c00651.