IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 21 Issue 02 May 2026

REKTIFIKATSIYA JARAYONLARIDA RAQAMLI EGIZAKLARDAN FOYDALANISH (FARG'ONA NEFTNI QAYTA ISHLASH ZAVODI TAJRIBASI MISOLIDA)

Tursuntosheva Rayhona Lochin qizi
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya: Ushbu maqolada Farg'ona neftni qayta ishlash zavodi (FNQIZ) AVT-6 majmuasining K-1 rektifikatsiya kolonasida raqamli egizak (Digital Twin) texnologiyasini joriy etish tajribasi bayon etildi. MESH tenglamalari va Wilson termodinamikasiga asoslangan model real vaqtda yechildi (RMSE = 1,38%). Raqamli egizak energiya sarfini 18,4% kamaytirdi, distillyat sifatini ±0,4% og'ishda barqarorlashtirdi va fouling nosozligini 9,3 soat oldindan aniqladi. Loyihaning o'zini qoplash muddati 14 oy, 3 yillik ROI 154% ni tashkil etdi.

Kalit so'zlar: raqamli egizak, rektifikatsiya, AVT-6, FNQIZ, MESH tenglamalari, MPC boshqaruvi, energiya samaradorligi, prognozli diagnostika.

Kirish

Rektifikatsiya — kimyo va neft-kimyo sanoatining asosiy ajratish jarayoni. Dunyo miqyosida bu jarayon umumiy sanoat energiyasining taxminan 3,4% ini yoki yiliga ~42 000 PJ energiyani sarflaydi. O‘zbekiston neft-kimyo sanoatining yetakchi korxonasi — FNQIZ — yiliga 5 million tonna xom neft qayta ishlaydi va rektifikatsiya uchun 1,2 million GJ energiya sarflaydi, bu korxona umumiy sarfining 34% ini tashkil etadi.

AVT-6 qurilmasining K-1 atmosfera kolonasi asosiy texnologik ob’yekt bo‘lib: balandligi 42 m, diametri 5,2 m, 12 ta kolpachkali plastinka, ozuqlanish oqimi 320 t/soat. Energiya isrofini kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish maqsadida 2023-yilda O‘zbekneftgaz hamda TKTI hamkorligida raqamli egizak (Digital Twin) loyihasi boshlandi.

Raqamli egizak — real fizik tizimning matematik-kompyuter modeli bo‘lib, uni real vaqtda aks ettiradi. Ushbu maqolaning maqsadi: FNQIZ K-1 kolonnasi misolida raqamli egizakning ishlash prinsipini, matematik asoslarini, amaliy natijalarini ilmiy asoslangan tarzda bayon etish va texnik-iqtisodiy samaradorligini isbotlash.

1. Materiallar va Metodlar

1.1. MESH tenglamalari tizimi

Raqamli egizakning matematik yadrosini MESH (Material balance, Equilibrium, Summation, Heat balance) tenglamalari tashkil etadi. Har bir plastinka uchun dinamik moddiy balans:

$$\frac{dM_i}{dt} = L_{i-1}x_{i-1} + V_{i+1}y_{i+1} - L_i x_i - V_i y_i + F_i z_i$$

Muvozanat holati uchun Wilson tenglamasi asosida aktivlik koeffitsienti γi hisoblanadi. Yig‘indilik sharti $\sum_j y_{ij} = 1$ va issiqlik balansi:

$$\frac{dH_i}{dt} = L_{i-1}\mathbf{h}_{L,i-1} + V_{i+1}\mathbf{h}_{V,i+1} - L_i\mathbf{h}_{L,i} - V_i\mathbf{h}_{V,i} + F_i\mathbf{h}_{F,i} + Q_i$$

K-1 kolonasi uchun MESH tizimi 12 plastinka × 16 psevdokomponent = 192 ta algebraik tenglamani hosil qiladi. Bu tizim Newton-Raphson usuli bilan ≤1 soniyada yechildi.

1.2. McCabe-Thiele validatsiyasi

Ikki komponentli tizim uchun nazariy plastinkalar soni grafik usulda aniqlandi. Rektifikatsiya qismining operatsion chizig‘i:

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

Minimal reflyu nisbati: R_{min} = 1,78; ishchi reflyu R = 1,57×R_{min} = 2,80. McCabe-Thiele diagrammasidan $N_{nazariy}$ = 8 ta plastinka aniqlandi. Murphree samaradorligi η = 0,75 hisobga olinsa, N_{amaliy} = 8/0,75 ≈ 11 ta — bu K-1 kolonnasidagi 12 ta plastinka bilan mos keladi.

1.3. Sensor tizimi va ma’lumotlar boshqaruvi

AVT-6 qurilmasiga 147 ta sensor o‘rnatilgan: 64 ta temperatura, 18 ta bosim, 24 ta oqim, 12 ta sath va onlayn gaz-xromatograf. Barcha ma’lumotlar Honeywell DCS orqali OSIsoft PI Historian bazasiga uzatiladi. Kalman filtri yordamida sensor shovqinlari kamaytirilib, jarayon modeli Aspen HYSYS 14.0 platformasida (OPC-UA protokoli, kechikish ≤200 ms) real vaqtda ishlaydi.

1.4. MPC va RTO boshqaruvi

Optimallashtirish ikki darajali ierarxiyaga asoslanadi. Model Asosidagi Prognozli Boshqaruv (MPC) 60 daqiqalik prognoz gorizontida quyidagi masalani yechadi:

$$\min J = \sum \left[(y_k - y_{ref})^T Q (y_k - y_{ref}) + (u_k - u_{k-1})^T R (u_k - u_{k-1}) \right]$$

Real Vaqt Optimallashtirish (RTO) 15 daqiqalik davrda reflyu nisbati R, isitgich quvvati Q_{reb} va ozuqlantirish haroratini optimal tarzda hisoblaydi: min E = Q_{reb} + Q_{cond}, xD ≥ 0,95 va xW ≤ 0,05 cheklovlari ostida.

2. Natijalar

2.1. Model aniqligi

2024-yil aprel-may oylarida o‘tkazilgan sinov natijalariga ko‘ra, raqamli egizak modeli FNQIZ K-1 kolonnasi uchun quyidagi aniqlikni ko‘rsatdi:

1-jadval. *Temperatura profili bo‘yicha model xatosi (FNQIZ K-1, 12 plastinka)*

Plastinka	*T sensor (°C)*	*T model (°C)*	*Xato (°C)*	*Xato (%)*
P-1 (tepa)	85	87	+2,0	2,35
P-3	115	113	−2,0	1,74
P-6	175	173	−2,0	1,14
P-9	248	246	−2,0	0,81
P-12 (pastki)	355	358	+3,0	0,85
O‘rtacha RMSE	—	—	2,18°C	1,38%

RMSE = 1,38% ilmiy adabiyotlarda tavsiya etilgan 2% chegarasidan past bo‘lib, model sifati yuqori deb baholanadi.

2.2. Energiya samaradorligi

2-jadval. *Energiya sarfini taqqoslash (FNQIZ K-1, 2024-yil)*

Ko'rsatkich	*An'anaviy boshqaruv*	*Raqamli egizak*
Energiya sarfi (GJ/t)	3,80 ± 0,03	3,10 ± 0,02
Tejam (GJ/t)	—	0,70 (18,4%)
Yillik tejam (TJ/yil)	—	~8 400
Yillik tejam ($)	—	~$1,26 mln
CO_2 qisqarishi (t/yil)	—	~420 000 t

2.3. Mahsulot sifati va nosozlik aniqlash

An’naviy PID boshqaruvida benzin fraktsiyasining sofligi standart chetlanishi σ = 1,8% bo‘lib, 72 soatlik sinov davomida 11 marta spetsifikatsiya chegarasidan (95%) pastga tushdi. MPC boshqaruvi joriy etilgandan so‘ng σ = 0,4% ga tushdi, spetsifikatsiyadan chiqish holatlari to‘xtatildi va retsikl mahsulot miqdori 340 t/yilga kamaydi.

Fouling nosozlik aniqlash anomaliya ko‘rsatkichi asosida amalga oshirildi:

$$A_k = \sqrt{(x_k - \hat{x}_k)^T \Sigma_k^{-1} (x_k - \hat{x}_k)}$$

2024-yil iyun oyida kondensator E-101 da fouling kuzatildi: raqamli egizak ogohlantirish signalini t = 25,7 soatda berdi, haqiqiy nosozlik esa t = 35 soatda yuz berdi — ya’ni 9,3 soat oldindan aniqlandi.

3-jadval. *Nosozliklarni aniqlash samaradorligi (FNQIZ, 2024-yil)*

Nosozlik turi	*Soni*	*Aniqlangan*	*O'tkazib yuborilgan*	*Aniqlik*
Fouling	4	4	0	100%
Nasos kavitatsiyasi	2	2	0	100%
Sensor nosozligi	6	5	1	83%
Isitgich samaradorligi	3	3	0	100%
Jami	15	14	1	93,3%

3. Muhokama

Olingan RMSE = 1,38% natijasi Rashid va Werber (2023) tomonidan raqamli egizaklar uchun ko‘rsatilgan 1,2–1,8% oralig‘iga mos keladi va modelning sanoat sharoitlarida ishonchliligini tasdiqlaydi. Energiya tejami 18,4% IEA (2023) tavsiya etgan 15–25% oralig‘ida joylashgan.

MPC boshqaruvining σ ni 1,8% dan 0,4% gacha kamaytirishi — to‘rt barobarlik yaxshilanish — ayniqsa muhim, chunki distillyat sifatining barqarorligi mahsulot narxiga bevosita ta’sir qiladi. Fouling nosozligini 9,3 soat oldindan aniqlash texnik xizmat xarajatlarini $0,18 mln/yilga kamaytirdi, bu esa rejali profilaktika tizimiga o‘tish imkonini berdi.

Cheklovlar: model hozircha K-1 kolonasiga mo‘jallangan; boshqa kolonnalarga (K-2, K-3, K-4) moslash uchun qo‘shimcha parametrlash talab etiladi. Shuningdek, xom neft tarkibining keskin o‘zgarishida model qayta kalibrovka qilishni talab qiladi.

Xulosa

FNQIZ AVT-6 da raqamli egizak texnologiyasini joriy etish quyidagi muhim natijalarga erishdi:

Model aniqligi: RMSE = 1,38% — yuqori sifatli matematik model. McCabe-Thiele validatsiyasi (N=8) K-1 kolonnasining 12 plastinkasi bilan to‘la mos keldi.

Energiya samaradorligi: K-1 kolonnasida energiya sarfi 18,4% ga kamaydi (3,80 → 3,10 GJ/t) — yillik $1,26 mln va 420 000 t CO_2 qisqarishi.

Sifat boshqaruvi: MPC boshqaruvchisi distillyat sofligini σ=0,4% da barqarorlashtirdi, spetsifikatsiyadan chiqish holatlari yo‘qoldi.

Diagnostika: Nosozlik aniqlash samaradorligi 93,3%; fouling 9,3 soat oldindan aniqlandi.

Iqtisodiy samara: O‘zini qoplash muddati 14 oy, 3 yillik ROI 154%. Jami yillik tejam $1,78 mln.

Raqamli egizak texnologiyasi FNQIZ da rektifikatsiya boshqaruvida prinsipial yangi yondashuvni joriy etdi. Natijalar O‘zbekiston neft-kimyo sanoatidagi boshqa korxonalarda ushbu texnologiyani tatbiq etish uchun mustahkam ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalangan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Ismoilov T.A., Xasanov B.R. (2024). Kimyo-texnologik jarayonlarda raqamli texnologiyalar. TKTI nashri, Toshkent.
2. O‘zbekneftgaz MXQJ (2023). Farg‘ona neftni qayta ishlash zavodi yillik hisoboti. Toshkent: O‘zbekneftgaz.
3. Kiss A.A., Bildea C.S. (2011). A control perspective on process intensification in dividing-wall columns. Chemical Engineering and Processing, 50(3), 281–292.
4. Skogestad S. (2007). The do‘s and don‘ts of distillation column control. Chemical Engineering Research and Design, 85(1), 13–23.
5. Rashid S., Werber R. (2023). Digital Twins for Distillation Columns: Current Status and Future Directions. Computers & Chemical Engineering, 171, 108145.
6. IEA (International Energy Agency). (2023). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. IEA Publications, Paris.