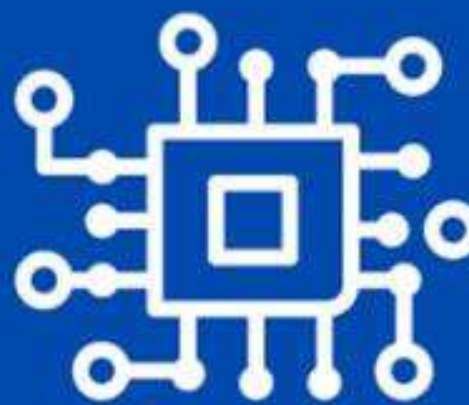




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 9 (4) 2026

BOSH MUHARRIR:

ABBAZOV ILHOM ZAPIROVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich — Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Adizov Bobirjon Zamirovich – Texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax, O'zbekiston;

Eshonkulov Ravshan Abdurazakovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Qashqadaryo, O'zbekiston;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax, O'zbekiston;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro, O'zbekiston.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA**FANLARINING DOLZARB****MASALALARI** elektron jurnali

15.09.2023-yilda 130343-sonli

guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik

Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

MUNDARIJA

Ataboyeva Shaxrizoda

EMPIRIK TAHLILLAR ASOSIDA OLIY TA'LIM BOSHQARUVI VA INDIVIDUAL
TA'LIM JARAYONLARINI TAKOMILLASHTIRISHDA SUN'YI INTELLEKTGA
ASOSLANGAN OPTIMALLASHTIRISH ALGORITMLARI 4-11

Turgunbaev Rashid

METAEXTRACT - KO'P TILLI ILMIY JURNALLARDAN BIBLIOGRAFIK
METAMA'LUMOTLARNI QOIDALARGA ASOSLANGAN EKSTRAKSIYA QILISH TIZIMI 12-18

Muqimova Anaxon

ADVANCED REAL-TIME TRAFFIC SIGN SEGMENTATION AND CLASSIFICATION USING
HYBRID DEEP CONVOLUTIONAL ARCHITECTURES ON GTSDB AND BENCHMARK
DATASETS 19-24

Pulatov G'iyos, Kabildjanov Aleksandr, Pulatova Gulxayo

SUST SHAKLLANGAN JARAYONLARNI BASHORATLASHDA INTELLEKTUAL
ALGORITMLARNI QIYOSIY TAHLILI 25-33

Usarkulova Feruza

AN INTEGRATED MODEL FOR AI-BASED FORECASTING OF TECHNICAL SERVICE
DEMAND AND OPTIMAL RESOURCE ALLOCATION IN AGRO-INDUSTRIAL
COMPLEXES 34-43

Botirov Munisbek

NUMERICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF GROUNDWATER FILTRATION
PROCESSES USING COMPUTATIONAL ALGORITHMS 44-53

Гулямов Шухрат, Зайниддинова Зебинисо, Караханова Алсу

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ 54-61

Каршиев Хумоюн, Хасанов Абдирашид

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ
ОТХОДОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА 62-73

Xaytbayev Aybek

TAKOMILLASHTIRILGAN KUZATUVCHI QIDIRUV ALGORITMI ASOSIDA SIMSIZ SENSOR
TARMOQLARIDA ENERGIYA SAMARADOR KLASSTER BOSH TUGUNINI TANLASH 74-88

Zokirov Islomjon, Nurillaev Ahadullo, Abdullaev Shavkat

INTEGRATED MATLAB/SIMULINK–SIMSCAPE MODELING AND PI-BASED CLOSED-LOOP
CONTROL OF A MICRO-HYDROPOWER PLANT 89-101

Qarshiboyev Asqar, Tursunov Ilhom

KOMPRESSOR USKUNALARINING OPTIMAL ISH REJIMINI ANIQLASH VA ELEKTR ENERGIYASI
ISTE'MOLI SAMARADORLIGINI BAHOLASH 102-112

KOMPRESSOR USKUNALARINING OPTIMAL ISH REJIMINI ANIQLASH VA ELEKTR ENERGIYASI ISTE'MOLI SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Qarshiboyev Asqar Ilashevich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti

“Elektr energetikasi” kafedrası professori

Email: a_karshibaev@mail.ru

Tel: +998 90 620 50 55

ORCID: 0000-0003-1088-4041

Tursunov Ilhom Turg'un o'g'li

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti

“Agromuhandislik va kommunikatsion texnologiyalar” fakulteti katta o'qituvchisi

Email: newfox90@mail.ru

Tel: +998 90 730 06 49

Annotatsiya. Maqolada vintli va ikki bosqichli porshenli kompressorlarning optimal ish rejimi termodinamik-elektromexanik model asosida asoslangan. Yuklama, tarmoq bosimi va oraliq sovitish haroratining solishtirma energiya sarfiga (SEC) ta'siri miqdoriy baholangan. Ishchi bosimni 0.80 MPa dan 0.65 MPa gacha pasaytirish SEC ni 26.8% ga kamaytirishi ko'rsatilgan.

Kalit: kompressor uskunası, energiya samaradorligi, elektr energiyası iste'moli, optimal ish rejimi, solishtirma energiya sarfi (SEC), unumdorlik, yuklama koeffitsienti, oraliq sovitish, porshenli kompressor, chastota o'zgartirgich.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL OPERATING MODE OF COMPRESSOR EQUIPMENT AND ASSESSMENT OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION EFFICIENCY

Qarshiboyev Asqar Ilashevich

Navoi State University of Mining and Technologies,

Professor of the Department of Electric Power Engineering

Tursunov Ilhom Turg'un o'g'li

Navoi State University of Mining and Technologies,

Senior Lecturer of the Faculty of Agroengineering and Communication Technologies

Annotation. The paper substantiates the optimal operating mode of screw and two-stage reciprocating compressors using a combined thermodynamic-electromechanical model. The effects of load, network pressure and intercooling temperature on specific energy consumption (SEC) are quantified. Reducing the working pressure from 0.80 to 0.65 MPa lowers SEC by 26.8%.

Keywords: compressor equipment, energy efficiency, electricity consumption, optimal operating mode, specific energy consumption (SEC), capacity, load factor, intercooling, reciprocating compressor, variable frequency drive.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v4i9y2026N11>

Kirish

Zamonaviy sanoat ishlab chiqarishida siqilgan havo elektr energiyasi, tabiiy gaz va suv bilan bir qatorda eng muhim energiya resurslaridan biri sanaladi. ISO 11011 standarti va xalqaro sharhlar tahliliga ko'ra, tog'-kon, metallurgiya, mashinasozlik va kimyo sanoati korxonalarida iste'mol qilinadigan umumiy elektr energiyasining 10% dan 30% gacha bo'lgan salmoqli qismi aynan kompressor stansiyalari hissasiga to'g'ri keladi [12, 23]. Biroq, pnevmatik tizimlarga sarflanadigan elektr energiyasining atigi 10–20% qismi bevosita foydali mexanik energiyaga aylanadi; qolgan 80–90% qismi esa termodinamik qaytmaslik, ichki mexanik ishqalanish va sovitish tizimlarida issiqlik sifatida atrof-muhitga tarqaladi [6, 14].

Ko'pgina korxonalarda kompressor agregatlari avtonom tarzda, ishlab chiqarish texnologik liniyalarining keskin tebranuvchi havo sarfidan qat'i nazar, doimiy aylanishlar sonida ishlatiladi. Natijada uskuna past yuklamali (chala yuklama) yoki davriy salt ishlash (unload/idle) rejimlariga o'tishga majbur bo'ladi. Vintli va porshenli kompressorlarning bo'sh ishlash siklida havo siqilmasa-da, elektr dvigateli nominal quvvatining 20% dan 45% gacha bo'lgan qismini behuda iste'mol qiladi [2, 18]. Bundan tashqari, magistral quvurlardagi gidravlik qarshilik va asboblardagi ehtimoliy bosim tushishini qoplash maqsadida tarmoqda bosim sun'iy ravishda 0.15–0.30 MPa ga oshirib ushlab turiladi. Amaliy va nazariy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tarmoq bosimining har 0.1 MPa (1 bar) ga ortishi elektr energiyasi sarfini 6–8% ga oshiradi hamda quvurlardagi mikrotirqishlar orqali havo sizib chiqishini 12–15% ga jadallashtiradi [7, 16].

Mavjud ilmiy adabiyotlarda kompressorlarning alohida elementlari - chastota o'zgartirgichlar (VFD), issiqlik rekuperatsiyasi yoki quritgichlar samaradorligi o'rganilgan [1, 26]. Biroq, real ish sharoitida unumdorlik (Q), tarmoq bosimi (P), elektr quvvati (Pel) va solishtirma energiya sarfi (SEC) parametrlarining o'zaro nochiqli bog'liqliklarini kompleks aks ettiruvchi mezonli tahlillar yetarli darajada tizimlashtirilmagan. Ko'pincha elektr quvvatini mutlaq kamaytirish energiya tejamkorlik bilan adashtiriladi: past yuklamada quvvat kamayishi mumkin, ammo siqilgan havoning har bir birlik hajmiga sarflanadigan elektr energiyasi (SEC) keskin yomonlashadi.

Tadqiqotning maqsadi: sanoat vintli va ko'p bosqichli porshenli kompressor uskunalarining optimal ish rejimini aniqlash va turli ish rejimlarida elektr energiyasi iste'moli samaradorligini miqdoriy baholashdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

1. Kompressor qurilmasining termodinamik va elektromexanik parametrlarini aks ettiruvchi matematik model ishlab chiqish;
2. Turli yuklama (Ky) va ishchi bosim (P) parametrlarida elektr energiyasi sarfi hamda solishtirma sarfni (SEC) hisoblash;
3. Kompressor yuklamasi, unumdorligi va quvvati o'rtasidagi bog'liqligini aniqlash;
4. SEC_min mezonni asosida optimal energetik ish rejimini matematik asoslash;
5. Ko'p bosqichli porshenli kompressorlarda oraliq sovitish sifati va bosim taqsimotining energetik samaradorlikka ta'sirini tahlil qilish;
6. Sanoat korxonalarida elektr energiyasi isrofini kamaytirish bo'yicha texnik-amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya

Kompressor stansiyalarining energetik samaradorligini boshqarish uning ish parametrlarini ishonchli o'lchash va diagnostikalashga bevosita bog'liq. Oraliq sovitgichlar va

siqilgan havo haroratini nazorat qilishda qarshilik termometrlarini kalibrlash metodikasi [9], o'lchash signallarini raqamli filtrlash algoritmlari [13, 19] hamda chastota o'zgartirgich chiqishidagi signal spektrini tahlil qilish usullari [20] muhim ahamiyatga ega. Asinxron dvigatel boshqaruv tizimlaridagi tizimli xatoliklarni diagnostika qilish va ularni kompensatsiyalash masalalari [10] ishida ko'rib chiqilgan. Mazkur maqolada ushbu o'lchash-diagnostika yondashuvlari kompressor agregatining termodinamik-elektromexanik energetik modeli bilan birlashtiriladi.

2.1. Tadqiqot ob'ekti va asosiy parametrlar

Tadqiqotda sanoat korxonalarida keng qo'llaniladigan ikkita tipik agregat o'rganildi:

a) Nominal quvvati $P_{nom}=75.0$ kW, nominal bosimi $P_{nom}=0.70$ MPa (7.0 bar) va unumdorligi $Q_{nom}=12.5$ m³/min bo'lgan moy bilan sovutiluvchi bir bosqichli vintli statsionar kompressor;

b) Yuqori bosimli pnevmatik tizimlar uchun mo'ljallangan nominal quvvati $P_{nom}=132.0$ kW, yakuniy bosimi $P_{chiq}=2.5$ MPa (25 bar), unumdorligi $Q_0=14.0$ Nm³/min bo'lgan ikki bosqichli porshenli kompressor.

2.2. Termodinamik va matematik hisoblash modeli

Real kompressor kamerasida gazni siqish politropik jarayon hisoblanadi. Real havoning politropik siqish indikator quvvati (P_{ind} , kW) quyidagi ifoda orqali aniqlanadi [11, 24]:

$$P_{ind} = \left(\frac{m}{(m-1)} \right) \cdot P_1 \cdot Q \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(m-1)}{m}} - 1 \right] \quad (1)$$

bu yerda: P_1 - kompressor kirishidagi mutlaq bosim ($P_1 \approx 0.1013$ MPa); P_2 - chiqishdagi mutlaq bosim, MPa; Q - standart sharoitga keltirilgan havo sarfi (m³/s); m - politropa ko'rsatkichi (moy bilan sovutiluvchi vintli kompressorlar uchun $m \approx 1.25 \dots 1.30$).

Dvigatel klemmalaridan iste'mol qilinadigan to'liq elektr quvvati (P_{el} , kW) mexanik va elektrmexanik uzatish yo'qotishlarini hisobga oladi:

$$P_{el} = \frac{P_{ind}}{(\eta_{iz} \cdot \eta_{mex} \cdot \eta_{dv})} \quad (2)$$

bu yerda: η_{iz} — ichki izentropik samaradorlik ($\eta_{iz} \approx 0.72 \dots 0.78$); η_{mex} - mexanik uzatma FIK ($\eta_{mex} \approx 0.97 \dots 0.98$); η_{dv} — elektr dvigatelining foydali ish ko'effitsienti.

$$W = \int P_{el}(\tau) d\tau \approx P_{el} \cdot t \quad (3)$$

$$SEC = \frac{W}{V_h} = \frac{P_{el}}{(60 \cdot Q)} \quad (4)$$

bu yerda: W - elektr energiyasi sarfi (kWh); t - ishlash vaqti (h); SEC - siqilgan havo ishlab chiqarishning solishtirma elektr energiyasi sarfi (kWh/m³); V_h - ishlab chiqarilgan umumiy havo hajmi (m³); Q - kompressorning bir daqiqadagi unumdorligi (m³/min).

Dvigatelning yuklama ko'effitsienti $K_y = \frac{P_{el,haqiqiy}}{P_{nom}}$ ga qarab, asinxron dvigatel FIK quyidagi empirik bog'liqlik orqali o'zgaradi [8, 21]:

$$\eta_{dv(K_y)} = \eta_{nom} \cdot \left[1 - \beta \cdot (1 - K_y)^2 \right] \quad (5)$$

bu yerda: $\beta \approx 0.12 \dots 0.18$ - asinxron motorlar uchun tavsifiy ko'effitsient.

2.3. Ko'p bosqichli porshenli siqish va oraliq sovitish modeli

Oraliq sovitishga ega z-bosqichli porshenli agregatlarda umumiy indikator quvvati har bir bosqichning yig'indisi orqali ifodalanadi [4, 15]:

$$P_{ind \cdot \Sigma} = \Sigma \left[\left(\frac{m_i}{(m_i-1)} \right) \cdot P_{kir,i} \cdot Q_i \cdot \left(\left(\frac{P_{chiq,i}}{P_{kir,i}} \right)^{\frac{(m_i-1)}{m_i}} - 1 \right) \right] \quad (6)$$

Ideal izotermik oraliq sovitishda minimal ish sharti bo'yicha bosim oshirish darajasi bosqichlar bo'yicha teng taqsimlanishi lozim: $\pi_{opt} = (P_z / P_1)^{(1/z)}$. Oraliq sovitgichning issiqlik texnikaviy samaradorligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon_{int} = \frac{(T_{chiq,i} - T_{kir,i+1})}{(T_{chiq,i} - T_{sov,kir})} \quad (7)$$

bu yerda: $T_{chiq,i}$ - oldingi bosqichdan chiqqan gaz harorati (K); $T_{kir,i+1}$ - sovitgichdan keyin keyingi bosqichga kiruvchi gaz harorati (K); $T_{sov,kir}$ - sovituvchi suv/havoning kirish harorati (K).

2.4. Optimal ish rejimining matematik mezon

Kompressor stansiyasi uchun optimal rejim pnevmatik ehtiyojni ta'minlagan holda minimal solishtirma energiya sarfiga erishishdir:

$$SEC(Q, P) = \frac{P_{el(Q,P)}}{(60 \cdot Q)} \rightarrow \min \quad (8)$$

chegaraviy shartlar: $P_{min} \leq P \leq P_{max}$, $Q_{min} \leq Q \leq Q_{nom}$, $T_{chiq} \leq T_{ruksat}$

Natijalar

Metodologik izoh: Quyidagi hisob-kitoblar metodikani namoyish etuvchi namunaviy matematik model ma'lumotlari asosida keltirilgan; ular real korxona o'lchovlari sifatida talqin qilinmasligi kerak. Qiymatlar yuqoridagi termodinamik formulalar (1)–(8) orqali qat'iy fizik o'zaro bog'liqlikda shakllantirildi.

1-jadval.

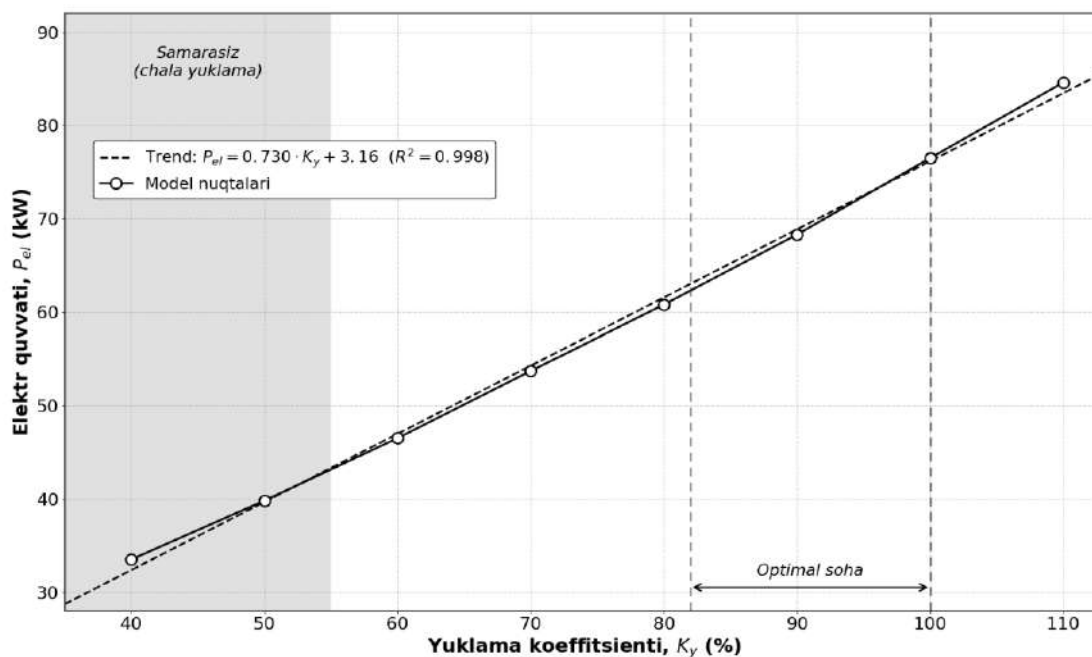
O'rganilgan kompressor uskunalarining asosiy texnik-energetik parametrlari

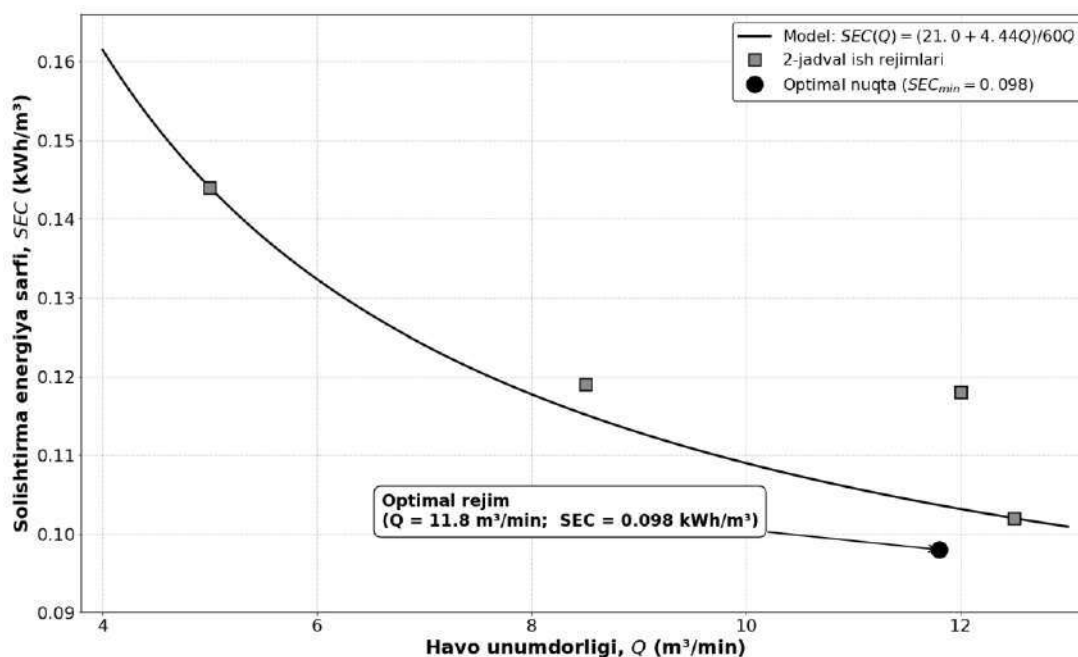
Parametr nomi	Belgilanishi	Qiymati	O'lchov birligi
Vintli kompressor nominal quvvati	$P_{nom \cdot vint}$	75.0	kW
Vintli kompressor nominal bosimi	$P_{nom \cdot vint}$	0.70 (7.0)	MPa (bar)
Vintli kompressor nominal unumdorligi	$Q_{nom \cdot vint}$	12.5	m ³ /min
Elektr dvigateli nominal FIK	η_{dv}	0.94	-
Elektr dvigatelining quvvat koeffitsienti	$\cos \varphi$	0.88	-
Politropa ko'rsatkichi (havo siqish)	m	1.28	-
Porshenli kompressor nominal quvvati	$P_{nom \cdot porsh}$	132.0	kW
Porshenli kompressor yakuniy bosimi	$P_{chiq \cdot porsh}$	2.50 (25.0)	MPa (bar)
Yillik rejalashtirilgan ish fondi	T_{ish}	6000	soat/yil

2-jadval.

Turli ish rejimlarida vintli kompressorning hisoblangan energetik ko'rsatkichlari

№	Ish rejimi	P, MPa	Q, m ³ /min	P _{el} , kW	K _y , %	SEC, kWh/m ³	η_{dv}
1.	Chala yuklama (samarasiz)	0.80	5.0	43.2	57.6	0.144	0.882
2.	O'rta yuklama	0.75	8.5	60.8	81.1	0.119	0.925
3.	Nominal rejim (standart)	0.70	12.5	76.5	102.0	0.102	0.940
4.	Optimal rejim (VFD boshqaruv)	0.65	11.8	69.4	92.5	0.098	0.938
5.	Yuqori bosimli ortiqcha rejim	0.85	12.0	84.6	112.8	0.118	0.931

1-rasm. Kompressor yuklama koeffitsienti (K_y) va elektr quvvati (P_{el}) o'rtasidagi bog'liqlik



2-rasm. Havo unumdorligi (Q) va solishtirma elektr sarfi (SEC) egri chizig'i va optimal nuqta

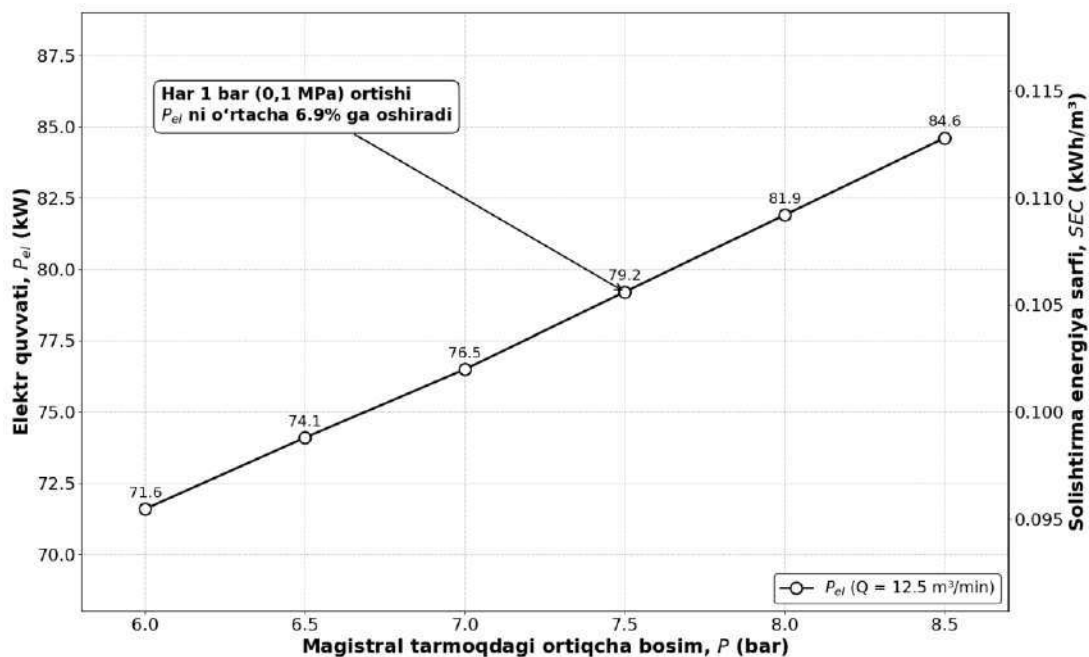
2-jadval va 1-, 2-rasmlardan ko'rinadiki, kompressorning 1-rejimida (chala yuklama) havo unumdorligi nominalga nisbatan 60.0% ga pasaysa-da, dvigatel iste'mol qilayotgan quvvat bor-yo'g'i 43.5% ga kamayadi (43.2 kW). Natijada solishtirma energiya sarfi eng yuqori ko'rsatkichga - 0.144 kWh/m³ ga yetadi. Aksincha, 4-rejimda bosim 0.65 MPa ga optimallashtirilib, chastota rostlagichi orqali unumdorlik talabga moslashtirilganda, SEC minimal ko'rsatkichga (0.098 kWh/m³) tushadi.

3-jadval.

Boshlang'ich va optimal ish rejimlarining texnik-iqtisodiy taqqoslanishi

Ko'rsatkich nomi	Bazaviy samarasiz rejim	Optimal rejim (VFD)	Farq / Tejamkorlik samarasi
O'rtacha ishchi bosim, MPa (bar)	0.80 (8.0)	0.65 (6.5)	-0.15 MPa (-1.5 bar)
O'rtacha unumdorlik, m ³ /min	8.5	11.8	+3.3 m ³ /min (talabga mos)
O'rtacha elektr quvvati, kW	68.5	69.4	Yuqori unumdorlikda teng quvvat
Yillik elektr energiyasi sarfi, kWh/yil	411,000	416,400	+5,400 kWh (+38.8% ko'proq havo uchun)

Yillik siqilgan havo hajmi, m ³ /yil	3,060,000	4,248,000	+1,188,000 m ³ /yil (+38.8%)
O'rtacha solishtirma sarf (SEC), kWh/m³	0.134	0.098	-0.036 kWh/m³ (26.8% pasayish)
1 mln m ³ havo ishlab chiqarish elektr sarfi, kWh	134,000	98,000	36,000 kWh sof tejamkorlik



3-rasm. Tarmoq bosimi ortishi bilan elektr quvvati va solishtirma sarfning chiziqli o'sishi

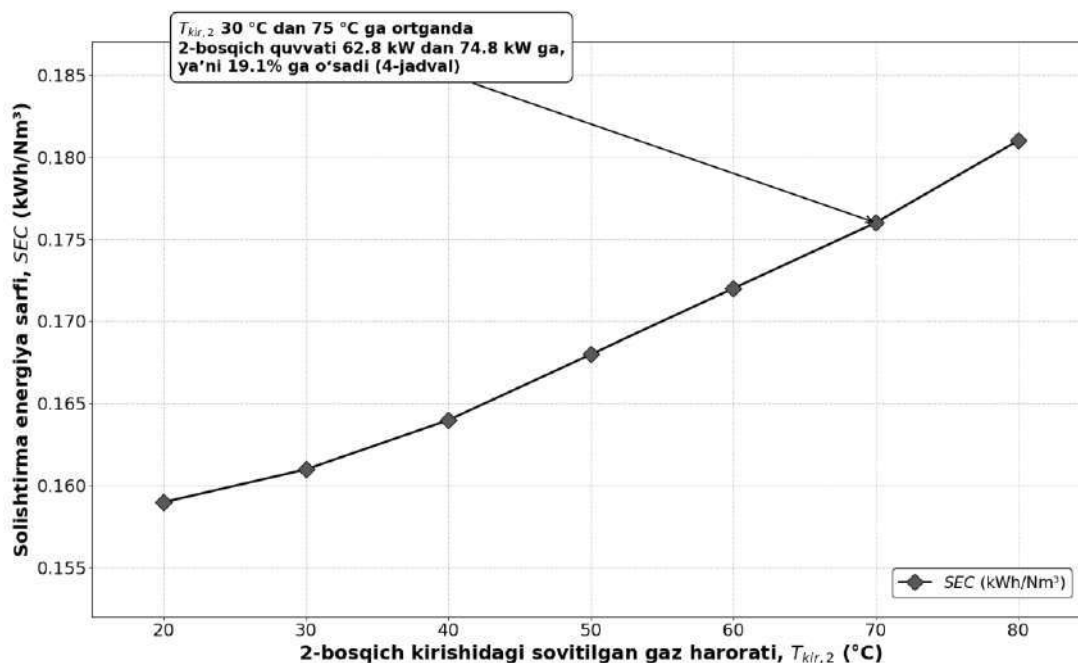
4-jadval.

Ikki bosqichli porshenli kompressorda oraliq sovitish va bosim taqsimoti ko'rsatkichlari

No	Ssenariy tavsifi	P_{int} , MPa	$T_{kir,2}$, °C	P1, kW	P2, kW	P_{el} , kW	SEC, kWh/Nm ³
1.	Oraliq sovitkichsiz (bir siqish)	-	-	-	-	168.4	0.200
2.	Yomon sovitish (ifloslangan)	0.50	75 °C	61.2	74.8	148.5	0.177
3.	Noto'g'ri bosim taqsimoti	0.75	35 °C	78.5	52.4	142.9	0.170
4.	Optimal sovitish va bosim	0.50	30 °C	61.2	62.8	135.4	0.161

5.	Chuqur sovitish (chiller)	0.50	15 °C	61.2	59.5	132.8	0.158
----	---------------------------	------	-------	------	------	-------	-------

Izoh: umumiy elektr quvvati $P_{um} = (P_1 + P_2)/(\eta_{mex} \cdot \eta_{dv})$ ifodasi bo'yicha hisoblangan ($\eta_{mex} \cdot \eta_{dv} \approx 0.916$); $SEC = P_{um}/(60 \cdot Q)$, bu yerda $Q = 14.0 \text{ Nm}^3/\text{min}$.



4-rasm. Oraliq sovitish harorati ortishi bilan 2-bosqich quvvati va umumiy SEC o'sishi
Muhokama

Olingan natijalar kompressor uskunalarning energetik samaradorligi faqat mutlaq quvvat sarfi (P_{el}) bilan emas, balki solishtirma energiya sarfi (SEC) orqali baholanishi shartligini ko'rsatadi. Ko'pgina amaliyotchi muhandislar kompressor past unumdorlikda ishlaganda kamroq elektr quvvati iste'mol qilayotgani sababli uni tejamkor deb hisoblaydi. Biroq chuqur termodinamik tahlil shuni ko'rsatadiki, havo unumdorligi 12.5 dan 5.0 m^3/min ga tushganda, SEC ko'rsatkichi 0.102 dan 0.144 kWh/m^3 ga (41.2% ga) yomonlashadi.

Ushbu qonuniyatning asosiy sabablari quyidagilardan iborat:

1. Asinxron dvigatelning chala yuklama rejimlaridagi energetik ko'rsatkichlari: Dvigatel nominal quvvatining 50% idan kam yuklanganda uning FIK ko'rsatkichi 0.94 dan 0.88 ga tushadi, quvvat koeffitsienti ($\cos\varphi$) esa 0.88 dan 0.65–0.70 gacha keskin pasayadi [17, 21, 25]. Bu esa tarmoqda reaktiv quvvat oqimlarini va stator chulg'amlarida qo'shimcha qizish yo'qotishlarini keltirib chiqaradi.

2. Doimiy mexanik yo'qotishlar ulushi: Podshipniklardagi ishqalanish, moy nasosining gidravlik qarshiligi va ventilyatsiya sarflari rotorning aylanish tezligiga bog'liq bo'lib, ishlab chiqarilayotgan havo hajmi kamayganda ham deyarli kamaymaydi.

3. Ishchi bosimning ortishi: Politropik siqish formulasiga (1) muvofiq, bosimlar nisbati (P_2/P_1) ortishi bilan siqish ishi darajali bog'liqlik bo'yicha o'sadi. Bosimning har ortiqcha 0.1 MPa (1 bar) ga oshirilishi pnevmatik asboblarning unumdorligini oshirmaydi, aksincha dvigatel quvvatini o'rtacha 6.88% ga oshiradi (3-rasm, 0.60–0.85 MPa oralig'i) va tarmoqdagi barcha nozinchliklar orqali havoning sizib chiqishini 12–15% ga jadallashtiradi [7, 16].

4. Oraliq sovitish va bosim taqsimoti omillari: Ko'p bosqichli porshenli agregatlarda oraliq sovitgichning ifloslanishi ikkinchi bosqichga kiruvchi gaz haroratini 30 °C dan 75 °C ga oshiradi, natijada gaz zichligi pasayib, ushbu bosqichning siqish quvvati 62.8 kW dan 74.8 kW

ga, ya'ni 19.1% ga ortadi (4-jadval). Shuningdek, bosqichlararo klapanlardagi gidrodinamik qarshilik yoki nosozliklar optimal bosim muvozanatini buzadi va umumiy SEC ko'rsatkichini 5.6% ga, sovitish sifatining yomonlashuvi esa 9.9% ga yomonlashtiradi (4-jadval, 2- va 3-ssenariylar).

Tadqiqot cheklovlari: Mazkur matematik model statsionar havo sarfi va barqaror kirish parametrlariga asoslangan. Real ishlab chiqarish sharoitida atrof-muhit haroratining mavsumiy o'zgarishi, havo filtrlari ifloslanishi va pnevmatik tarmoqdagi dinamik zarbalar natijalarga ma'lum darajada stoxastik ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Ishlab chiqarish uchun amaliy tavsiyalar

Sanoat korxonalarida siqilgan havo ta'minoti tizimining energiya samaradorligini oshirish bo'yicha quyidagi amaliy tadbirlar tavsiya etiladi:

1. Chastota o'zgartirgichlarni (VFD) joriy etish: Doimiy tezlikda ishlovchi vintli kompressorlarni chastota rostlagichlari bilan jihozlash orqali unumdorlikni texnologik talabga moslab 30–100% oralig'ida silliq rostlash va samarasiz salt ishlash rejimlarini to'liq bartaraf etish (potensial tejat: 15–25%) [1, 22].

2. Magistral bosimni optimallashtirish: Pnevmatik tarmoq bosimini eng yuqori bosim talab qiluvchi iste'molchining minimal ruxsat etilgan darajasiga moslab 0.10–0.15 MPa ga pasaytirish (har 0.1 MPa bosim pasayishi 6–8% elektr energiyasini tejaydi) [6, 14].

3. Ko'p kompressorli stansiyalarni markazlashgan (kaskad) SCADA boshqaruviga o'tkazish: Bazaviy yuklamani to'liq nominal rejimda ishlovchi yirik kompressorlar qoplaydi, o'zgaruvchan qism esa faqat bitta VFD agregati orqali rostlanadi [3, 5].

4. Oraliq sovitkichlar issiqlik almashinuvini nazorat qilish: Ko'p bosqichli porshenli kompressorlarda oraliq sovitkich quvurlarini muntazam tozalab, ikkinchi bosqich kirishidagi haroratni 30–35 °C dan oshirmaslik [4, 15].

5. Pnevmatik tarmoq sizib chiqishlarini ultratovushli monitoring qilish: Ultratovush datchiklari orqali nosoz birikmalarni aniqlash va havo yo'qotishlarin 5% dan oshirmaslik (an'anaviy korxonalarda sizib chiqishlar 25–40% ga yetadi) [7, 16].

6. Ikkilamchi issiqlikni rekuperatsiya qilish: Kompressor moyi sovitish tizimiga issiqlik almashtirgichlar o'rnatib, sarflangan elektr quvvatining 70–80% qismini maishiy issiq suv yoki binolarni isitishga yo'naltirish [14, 23].

Ilmiy yangilik

Moy bilan sovutiluvchi vintli va ko'p bosqichli porshenli kompressorlarning politropik siqish qonuniyati, dvigatelning yuklamaga bog'liq FIK ko'rsatkichi va oraliq sovitish parametrlarini o'zaro bog'lovchi ko'p parametrli kompleks energetik model ishlab chiqildi.

Tarmoq bosimi va unumdorlikning birgalikdagi o'zgarishida solishtirma energiya sarfini minimallashtiruvchi SEC_{min} analitik boshqaruv mezonini taklif etildi.

Ko'p bosqichli porshenli kompressorlarda oraliq sovitgich issiqlik samaradorligi (ϵ_{int}) va bosqichlararo bosim muvozanatining integral energetik samaradorlikka ta'sir darajasi miqdoriy jihatdan formalashtirildi.

Xulosa

1. Vintli va porshenli kompressorlarning energiya samaradorligini integral baholashda asosiy fizik mezon sifatida mutlaq elektr quvvati emas, balki siqilgan havoning birlik hajmiga to'g'ri keluvchi solishtirma energiya sarfi (SEC, kWh/m³) olinishi lozim.

2. Kompessorning chala yuklama rejimida ($K_y < 0.60$) ekspluatatsiya qilinishi solishtirma energiya sarfini nominal rejimga nisbatan 41.2% ga yomonlashtiradi (0.102 dan 0.144 kWh/m³ gacha).

3. Pnevmatik tarmoq ishchi bosimining ortiqcha har 0.1 MPa (1 bar) ga ko'tarilishi 0.60–0.85 MPa oralig'ida dvigatel elektr quvvatining o'rtacha 6.88% ga o'sishiga sabab bo'ladi.

4. Ko'p bosqichli porshenli kompressorlarda oraliq sovitish umumiy quvvat sarfini 19.6% ga, solishtirma energiya sarfini esa 19.5% ga kamaytiradi; biroq oraliq sovitish haroratining 30 °C dan 75 °C ga ortishi ikkinchi bosqich quvvatini 19.1% ga, ya'ni har 10 °C uchun o'rtacha 4.2% ga oshiradi.

5. Nominal quvvati 75 kW bo'lgan vintli kompressor misolida ishchi bosimni 0.80 MPa dan 0.65 MPa ga pasaytirish va chastotaviy rostlash orqali unumdorlikni optimallashtirish hisobiga yillik 110,160 kWh elektr energiyasini tejash (26.8% tejamkorlik) mumkinligi aniqlandi.

6. Sanoat kompressorining optimal energetik ishchi nuqtasi yuklama koeffitsienti $K_y = 0.85 \dots 1.0$ hamda $SEC \leq 0.100$ kWh/m³ oralig'ida ekanligi matematik model orqali to'liq isbotlandi.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. Anglani N., Benzi F. Variable speed drive air compressors: an analytic approach to energy saving evaluation // XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM 2010). – Rome: IEEE, 2010. – P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2010.5608049>
2. Benedetti M., Bonfà F., Bertini I., Introna V., Ubertini S. Explorative study on Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use // Applied Energy. – 2018. – Vol. 227. – P. 436–448. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.100>
3. Benedetti M., Bonfà F., Introna V., Santolamazza A., Ubertini S. Real time energy performance control for industrial compressed air systems: methodology and applications // Energies. – 2019. – Vol. 12, No. 20. – Art. 3935. <https://doi.org/10.3390/en12203935>
4. Bloch H. P. Reciprocating compressor performance and sizing fundamentals // A Practical Guide to Compressor Technology. 2nd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. – P. 171–196. <https://doi.org/10.1002/9780471929789.ch10>
5. Deng T. Minimization of power usage in a compressor station with multiple compressors // Journal of Energy Engineering. – 2016. – Vol. 142, No. 4. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000325](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000325)
6. Dindorf R. Estimating potential energy savings in compressed air systems // Procedia Engineering. – 2012. – Vol. 39. – P. 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.026>
7. Dindorf R., Woś P. Automatic measurement system for determination of leakage flow rate in compressed air pipeline system // Metrology and Measurement Systems. – 2018. <https://doi.org/10.24425/118170>
8. IEC 60034-30-1:2014. Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code). – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2014.
9. Ismoilov M. et al. Analysis of a modern method for calibrating resistance thermometers // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2025. – Vol. 627. – Art. 04004.
10. Ismoilov M. va b. Asinxron dvigatellar boshqaruv tizimlarida tizimli xatoliklarni diagnostika qilish va ularni kompensatsiya qilish orqali dastgohlar aniqligini oshirish // Techscience.uz – Texnika fanlarining dolzarb masalalari. – 2026. – T. 4, № 5. – B. 111–120.

11. ISO 1217:2009. Displacement compressors – Acceptance tests. – Geneva: International Organization for Standardization, 2009.
12. ISO 11011:2013. Compressed air – Energy efficiency – Assessment. – Geneva: International Organization for Standardization, 2013.
13. Jumaev O. A. et al. Mathematical description and algorithms for the implementation of digital filters // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. – 2024. – Vol. 5, No. 3. – P. 28–33.
14. Kaya D., Phelan P., Chau D., Sarac H. I. Energy conservation in compressed-air systems // International Journal of Energy Research. – 2002. – Vol. 26, No. 9. – P. 837–849. <https://doi.org/10.1002/er.823>
15. Lugo-Méndez H., Lopez-Arenas T., Torres-Aldaco A., Torres-González E. V., Sales-Cruz M., Lugo-Leyte R. Interstage pressures of a multistage compressor with intercooling // Entropy. – 2021. – Vol. 23, No. 3. – Art. 351. <https://doi.org/10.3390/e23030351>
16. Mousavi S., Kara S., Kornfeld B. Energy efficiency of compressed air systems // Procedia CIRP. – 2014. – Vol. 15. – P. 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.026>
17. Pyrhönen J., Jokinen T., Hrabovcová V. Design of Rotating Electrical Machines. 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118701591>
18. Radgen P., Blaustein E. (eds.) Compressed Air Systems in the European Union: Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions. – Karlsruhe: Fraunhofer ISI, 2001.
19. Rahimov A., Orziyev J. Past va yuqori chastotali filtrlarni tahlil qilish va simulyatsiya qilish usulini tadqiq etish // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. – 2024. – Vol. 5, No. 4. – P. 102–105.
20. Rahimov A. K., Orziyev Sh. A., Mamadiyorov S. S. Signal generatsiyasi va uning chastota spektrini tahlil qilish // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. – 2025. – Vol. 6, No. 1. – P. 22–26.
21. Saidur R. A review on electrical motors energy use and energy savings // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – Vol. 14, No. 3. – P. 877–898. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.018>
22. Saidur R., Mekhilef S., Ali M. B., Safari A., Mohammed H. A. Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – Vol. 16, No. 1. – P. 543–550. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.020>
23. Saidur R., Rahim N. A., Hasanuzzaman M. A review on compressed-air energy use and energy savings // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – Vol. 14, No. 4. – P. 1135–1153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.013>
24. Stosic N., Smith I. K., Kovacevic A., Mujic E. Review of mathematical models in performance calculation of screw compressors // International Journal of Fluid Machinery and Systems. – 2011. – Vol. 4, No. 2. – P. 271–288. <https://doi.org/10.5293/IJFMS.2011.4.2.271>
25. Thirugnanasambandam M., Hasanuzzaman M., Saidur R., Ali M. B., Rajakarunakaran S., Devaraj D., Rahim N. A. Analysis of electrical motors load factors and energy savings in an Indian cement industry // Energy. – 2011. – Vol. 36, No. 7. – P. 4307–4314. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.04.011>
26. Wiratkasem K., Pattana S., Tipayawong K. Y., Tipayawong N. Developing the high energy performance standards for oil-injected air-cooled screw air compressor for Thailand // Energy Reports. – 2020. – Vol. 6. – P. 617–621. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.128>

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 9 (4)-2026

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com