KOMPRESSOR AGREGATLARIDA TEMPERATURA DATCHIKLARINI TANLASH VA ULARNING O‘LCHASH XATOLIKLARINI TAHLIL QILISH

Saidov Shahrizod Erkin o'g'li
Buxoro davlat texnika universiteti tadqiqotchisi

Ilmiy rahbar: **Rasulov Shukhrat Xo‘jaqulovich**
Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD),
Buxoro davlat texnika universiteti
https://doi.org/10.5281/zenodo.22862009

Annotatsiya. Ushbu maqolada kompressor agregatlarida texnologik parametrlarni, xususan, temperatura qiymatini ishonchli nazorat qilishda qo‘llaniladigan temperatura datchiklarini tanlash masalalari tadqiq etilgan. Kompressorlarning ish jarayonida gazning siqilishi natijasida temperatura ortishi agregatning energetik samaradorligi, moylash tizimining barqarorligi, podshipniklar holati va uskunaning xavfsiz ishlashiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli temperatura datchigining turi, o‘lchash diapazoni, sezgirligi, aniqlik sinfi va ekspluatatsion sharoitlarga mosligi muhim ahamiyatga ega. Maqolada termoelektrik datchiklar, qarshilik termometrlari (RTD), termistorlar hamda zamonaviy raqamli temperatura sensorlarining texnik xususiyatlari qiyosiy tahlil qilindi. O‘lchash xatoliklarining sistematik, tasodifiy, instrumental, metodik va tashqi muhit ta’sirida yuzaga keladigan tarkibiy qismlari ko‘rib chiqildi. Shuningdek, temperatura o‘lchashning umumiy xatoligini baholash uchun matematik yondashuvlar va kompressor agregatlari uchun optimal datchik tanlash bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

Kalit so‘zlar: kompressor agregati, temperatura datchigi, temperatura o‘lchash, RTD, termojuft, termistor, o‘lchash xatoligi, aniqlik, kalibrlash, monitoring, avtomatlashtirish.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы выбора датчиков температуры, используемых для надежного контроля технологических параметров, в частности, значений температуры, в компрессорных установках. Повышение температуры, возникающее в результате сжатия газа во время работы компрессора, напрямую влияет на энергоэффективность установки, стабильность системы смазки, состояние подшипников и безопасную эксплуатацию оборудования. Поэтому тип датчика температуры, диапазон его измерения, чувствительность, класс точности и пригодность для условий эксплуатации имеют большое значение. В статье представлен сравнительный анализ технических характеристик термоэлектрических датчиков, резистивных термометров (РТД), термисторов и современных цифровых датчиков температуры. Рассмотрены составляющие погрешностей измерения, возникающие под воздействием внешней среды, включая систематические, случайные, инструментальные, методологические и экологические факторы. Также разработаны математические подходы к оценке суммарной погрешности измерения температуры и рекомендации по выбору оптимального датчика для компрессорных установок.

Ключевые слова: компрессорная установка, датчик температуры, измерение температуры, РТД, термопара, термистор, погрешность измерения, точность, калибровка, мониторинг, автоматизация.

Abstract. This article investigates the selection of temperature sensors used for the reliable monitoring of process parameters—specifically temperature—in compressor units. During compressor operation, the temperature rise resulting from gas compression directly affects the unit's energy efficiency, the stability of the lubrication system, the condition of bearings, and the safe operation of the equipment. Consequently, factors such as sensor type, measurement range, sensitivity, accuracy class, and suitability for operating conditions are of critical importance. The article presents a comparative analysis of the technical characteristics of thermoelectric sensors, resistance temperature detectors (RTDs), thermistors, and modern digital temperature sensors. It examines the components of measurement errors—systematic, random, instrumental, methodological, and those caused by environmental factors. Furthermore, mathematical approaches for estimating total temperature measurement error were analyzed, and recommendations for selecting optimal sensors for compressor units were developed.

Key words: compressor unit, temperature sensor, temperature measurement, RTD, thermocouple, thermistor, measurement error, accuracy, calibration, monitoring, automation.

Kirish. Bugungi kunda sanoat korxonalarida texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish, ishlab chiqarish uskunalarining ishonchliligini oshirish va energiya resurslaridan samarali foydalanish masalalari muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etmoqda. Ayniqsa, gaz, neft-gaz, kimyo, metallurgiya, energetika va boshqa sanoat tarmoqlarida keng qo‘llaniladigan kompressor agregatlarining uzluksiz va xavfsiz ishlashini ta’minlash texnologik parametrlarni aniq nazorat qilishni talab etadi. Kompressor agregatlarida bosim, sarf, vibratsiya, aylanish chastotasi, moy bosimi va temperatura kabi parametrlarning o‘zgarishi qurilmaning texnik holatini tavsiflovchi asosiy ko‘rsatkichlardan hisoblanadi. Kompressor agregatlarining ish jarayonida gazning siqilishi natijasida uning temperaturasi ortadi. Temperaturaning me’yoriy qiymatdan yuqori bo‘lishi sovitish tizimidagi nosozliklar, moylash tizimining yetarli ishlamasligi, podshipniklarda ishqalanishning ortishi, gaz oqimining buzilishi yoki kompressorning ortiqcha yuklama bilan ishlashi kabi holatlarni ko‘rsatishi mumkin. Temperatura o‘lchashda yuzaga keladigan xatoliklar ham alohida ilmiy-amaliy muammo hisoblanadi. O‘lchash natijasining haqiqiy temperatura qiymatidan farq qilishi datchikning instrumental xatoligi, kalibrlashdagi og‘ishlar, datchikni noto‘g‘ri o‘rnatish, issiqlik almashinuvi sharoitlari, kabel qarshiligi, elektromagnit shovqinlar, atrof-muhit temperaturasi va datchikning termik inertligi kabi omillar bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Ayniqsa, kompressor agregatlarida vibratsiya va yuqori elektromagnit shovqin mavjudligi o‘lchash tizimining barqarorligiga qo‘shimcha talablar qo‘yadi. O‘lchash xatoligining kichik bo‘lsa-da, tizimli ravishda yuzaga kelishi avtomatik boshqaruv tizimining noto‘g‘ri qaror qabul qilishiga olib kelishi mumkin. Masalan, temperatura haqiqiy qiymatdan past ko‘rsatilsa, boshqaruv tizimi agregatni xavfsiz deb baholashi va sovitish yoki avariya himoyasi mexanizmini o‘z vaqtida ishga tushirmasligi mumkin. Aksincha, temperatura qiymatining asossiz ravishda yuqori ko‘rsatilishi kompressorning normal ish rejimida ham himoya tizimining ishga

tushishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shuning uchun datchikning faqat nominal aniqligini emas, balki butun o‘lchash kanalining umumiy xatoligini baholash zarur. Kompressor agregatlarining zamonaviy avtomatlashtirish tizimlarida temperatura datchiklaridan olingan ma’lumotlar PLC, SCADA va boshqa raqamli boshqaruv tizimlariga uzatiladi. Bunday tizimlarda temperatura qiymatining real vaqt rejimida monitoring qilinishi agregatning texnik holatini baholash, anomal rejimlarni aniqlash va profilaktik texnik xizmat ko‘rsatishni rejalashtirish imkonini beradi. Shu bilan birga, raqamli texnologiyalarning rivojlanishi temperatura ma’lumotlarini statistik va intellektual tahlil qilish, anomal o‘zgarishlarni avtomatik aniqlash hamda nosozliklarni oldindan prognozlash imkoniyatlarini kengaytirmoqda.

Mazkur tadqiqotning dolzarbligi shundaki, kompressor agregatlari uchun temperatura datchigini tanlashda texnologik jarayonning o‘ziga xos xususiyatlari, o‘lchanadigan muhit, temperaturaning ish diapazoni, mexanik vibratsiya, o‘lchash aniqligi va signal uzatish sharoitlarini birgalikda hisobga olish talab etiladi. Noto‘g‘ri tanlangan yoki noto‘g‘ri o‘rnatilgan datchik kompressorning haqiqiy termik holati to‘g‘risida noto‘g‘ri ma’lumot berishi mumkin. Shu sababli temperatura datchiklarini qiyosiy baholash va ularning o‘lchash xatoliklarini aniqlash kompressor agregatlarining ishonchliligi va xavfsizligini oshirishning muhim yo‘nalishlaridan biridir. Tadqiqotning maqsadi kompressor agregatlarida qo‘llaniladigan temperatura datchiklarining asosiy turlarini texnik va metrologik jihatdan tahlil qilish, ularni tanlash mezonlarini aniqlash hamda temperatura o‘lchashdagi asosiy xatolik manbalarini baholashdan iborat. Tadqiqotning obyekti sifatida kompressor agregatlarida temperatura parametrini o‘lchash va monitoring qilish tizimlari, predmeti sifatida esa temperatura datchiklarini tanlash mezonlari, ularning metrologik xususiyatlari va o‘lchash xatoliklari belgilandi. Tadqiqot natijalari kompressor agregatlarining avtomatik boshqaruv va texnik diagnostika tizimlarini takomillashtirish, temperatura datchiklarini asoslangan holda tanlash hamda o‘lchash aniqligini oshirish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar tahlili. Kompressor agregatlarida temperatura parametrini o‘lchash, nazorat qilish va diagnostika qilish masalalari o‘lchash texnikasi, avtomatlashtirish, issiqlik texnikasi hamda mashinalarning texnik diagnostikasi yo‘nalishlaridagi tadqiqotlarda keng yoritilgan. Mazkur yo‘nalishdagi ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, temperatura o‘lchash tizimining ishonchliligi nafaqat datchikning nominal aniqligiga, balki datchikni tanlash, o‘rnatish, signalni uzatish va qayta ishlash sharoitlariga ham bog‘liq. J.P. Bentley o‘zining o‘lchash tizimlariga bag‘ishlangan tadqiqotlarida fizik kattaliklarni o‘lchash jarayonida sensor, signalni qayta ishlash qurilmasi va ikkilamchi o‘lchash vositalarining yagona tizim sifatida qaralishi zarurligini ta’kidlaydi [1]. Muallif o‘lchash tizimlarida aniqlik, sezgirlik, chiziqlilik, takrorlanuvchanlik va barqarorlik kabi ko‘rsatkichlarni asosiy metrologik parametrlar sifatida ko‘rib chiqadi. Ushbu yondashuv kompressor agregatlaridagi temperatura monitoringi uchun ham muhim bo‘lib, datchikning pasportdagi xatoligini butun o‘lchash kanalining xatoligidan ajratib baholash zarurligini ko‘rsatadi. E.O. Doebelin va D.N. Manik o‘lchash tizimlarining loyihalanishi va ishlash tamoyillarini tahlil qilib, o‘lchash natijasiga instrumental va tashqi omillarning ta’sirini batafsil yoritgan [2]. Ularning tadqiqotlarida o‘lchash xatoligi sistematik va tasodifiy tarkibiy qismlarga ajratiladi. Bundan tashqari, sensorning fizik xususiyatlari bilan bir qatorda uning o‘lchanayotgan obyekt bilan

o‘zaro ta’siri ham natijaning aniqligiga ta’sir qilishi qayd etiladi. Kompressor agregatlarida bu holat ayniqsa muhim, chunki datchikning o‘rnatilish joyi va issiqlik almashinuvi sharoiti o‘lchanayotgan temperatura qiymatining haqiqiy qiymatdan og‘ishiga sabab bo‘lishi mumkin. J. Fraden temperatura sensorlari va zamonaviy o‘lchash qurilmalarining fizik asoslarini tadqiq etib, turli sensorlarning sezgirligi, temperaturaga javob berish xususiyatlari va ekspluatatsion cheklovlarini tahlil qilgan [3].

Kompressorlarning ishlash jarayoni va ularning termodinamik xususiyatlari bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda ham temperatura asosiy diagnostik va texnologik parametr sifatida qaraladi. Kompressorning siqish jarayonida gaz temperaturasining ortishi siqish darajasi, gazning boshlang‘ich temperaturasi, kompressor samaradorligi va sovitish sharoitlariga bog‘liq. Shu sababli chiqish temperaturasi kompressorning ish rejimini baholashda muhim ko‘rsatkichlardan biri hisoblanadi. Kompressor agregatlarining texnik diagnostikasiga oid tadqiqotlarda temperaturaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi mashinaning texnik holatini baholash uchun qo‘llanilishi mumkinligi ko‘rsatiladi. Masalan, podshipnik temperaturasining asta-sekin oshib borishi moylash tizimining yomonlashuvi yoki mexanik ishqalanishning ortishidan dalolat berishi mumkin. Shu sababli temperatura datchiklari faqat boshqaruv elementlari emas, balki prediktiv texnik xizmat ko‘rsatish tizimining ham muhim sensorlari sifatida qaralmoqda. IEC 60751 xalqaro standarti sanoat platinali qarshilik termometrlari va temperatura sensorlariga qo‘yiladigan talablarni belgilaydi [7]. Mazkur standart RTD sensorlarning nominal qarshilik-temperatura bog‘lanishi, aniqlik klasslari va metrologik xususiyatlarini belgilashda muhim manba hisoblanadi. Kompressor agregatlarida Pt100 va Pt1000 datchiklarini tanlashda ushbu standart talablarini hisobga olish o‘lchash natijalarining ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi. Termojuftlarning texnik va metrologik xususiyatlari IEC 60584 standartlari doirasida tartibga solinadi [8]. Ushbu standart termojuftlarning termoelektrik xarakteristikalari, nominal qiymatlari va ruxsat etiladigan og‘ishlarini aniqlash uchun asos bo‘lib xizmat qiladi. Yuqori temperatura sharoitida ishlaydigan kompressor qurilmalarida termojuftlardan foydalanishda mazkur talablarni hisobga olish muhimdir.

O‘lchash noaniqligini baholash masalasida xalqaro metrologik amaliyotda GUM — *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* tamoyillari muhim o‘rin tutadi [9]. Mazkur yondashuvga ko‘ra, o‘lchash natijasining ishonchliligini baholashda barcha muhim noaniqlik komponentlari aniqlanishi va ularning umumiy natijaga ta’siri hisobga olinishi kerak. Kompressor agregatlarida bu komponentlarga datchikning instrumental xatoligi, kalibrlash noaniqligi, o‘rnatish xatoligi, kabel qarshiligi, tashqi temperatura va signalni qayta ishlashdagi xatoliklar kirishi mumkin. Shuningdek, zamonaviy sanoat korxonalarida sensorlardan olinayotgan katta hajmdagi ma’lumotlarni raqamli qayta ishlash va sun’iy intellekt asosida tahlil qilish imkoniyatlari kengaymoqda. Shu sababli kelajakdagi tadqiqotlarda temperatura datchiklarining aniqligini baholash bilan bir qatorda, ularning ma’lumotlarini real vaqt rejimida qayta ishlash, anomal temperaturaviy holatlarni aniqlash va kompressor agregatlaridagi nosozliklarni oldindan prognozlash masalalarini ham o‘rganish maqsadga muvofiqdir. Umuman olganda, adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, kompressor agregatlarida temperatura datchigini tanlash metrologik aniqlik, termik javob tezligi, ekspluatatsion chidamlilik, o‘rnatish sharoiti va signal uzatish ishonchliligini kompleks baholash asosida amalga oshirilishi kerak. Mazkur yondashuv ushbu tadqiqotning metodologik asosini tashkil etadi.

Tadqiqot natijalari va muhokamasi. Olib borilgan tadqiqot natijalari kompressor agregatlarida temperatura o‘lchash tizimining ishonchliligi datchik turini to‘g‘ri tanlash, uni texnologik nuqtaga to‘g‘ri joylashtirish va o‘lchash kanalidagi xatoliklarni kompleks hisobga olishga bevosita bog‘liqligini ko‘rsatdi. Tadqiqotda RTD turidagi Pt100 va Pt1000 qarshilik termometrlari, K turidagi termojuft hamda termistorlarning asosiy texnik va metrologik xususiyatlari qiyosiy tahlil qilindi.

Temperatura datchiklarini qiyosiy baholash natijalari. Kompressor agregatlarining turli funksional qismlarida temperatura diapazoni va o‘lchash aniqligiga bo‘lgan talab bir xil emas. Masalan, podshipnik va moylash tizimida yuqori aniqlik va uzoq muddatli barqarorlik talab qilinsa, kompressorning yuqori temperaturali chiqish qismida keng o‘lchash diapazoni va tezkor javob berish muhimroq hisoblanadi.

1-jadval. Kompressor agregatlarida temperatura datchiklarini qo‘llash bo‘yicha qiyosiy baholash

Datchik turi	Aniqlik	Javob tezligi	Temperaturaga chidamlilik	Barqarorlik	Tavsiya etiladigan qo‘llanish sohasi
Pt100	Yuqori	O‘rtacha	Yuqori	Yuqori	Podshipnik, moy, korpus
Pt1000	Yuqori	O‘rtacha	Yuqori	Yuqori	Moylash va monitoring tizimi
K termojuft	O‘rtacha-yuqori	Yuqori	Juda yuqori	O‘rtacha	Yuqori temperaturali gaz
Termistor	Juda yuqori sezgirlik	Yuqori	Cheklangan	O‘rtacha	Tor temperatura diapazoni
Raqamli sensor	Yuqori	O‘rtacha-yuqori	Modelga bog‘liq	Yuqori	Avtomatlashtirilgan monitoring

Tahlil natijalariga ko‘ra, kompressor agregatlarining moylash tizimi va podshipniklarini nazorat qilishda Pt100 va Pt1000 datchiklari texnik jihatdan maqsadga muvofiq hisoblanadi. Buning sababi ularning yuqori barqarorligi, yaxshi takrorlanuvchanligi va sanoat avtomatikasi tizimlariga integratsiyalash imkoniyatidir. Yuqori temperatura mavjud bo‘lgan kompressor chiqish qismlarida esa termojuftlardan foydalanish maqsadga muvofiq. Ularning asosiy afzalligi keng temperatura diapazonida ishlashi va temperaturaning tez o‘zgarishlarini qayd etish imkoniyatidir.

O‘lchash xatoliklarini tahlil qilish. Tadqiqotning asosiy yo‘nalishlaridan biri temperatura o‘lchashdagi xatoliklarning manbalarini aniqlashdan iborat bo‘ldi. Umumiy xatolikni quyidagi ifoda orqali baholash mumkin:

$$\Delta T = T_{o‘lch} - T_{haq}$$

Nisbiy xatolik esa:

$$\delta_T = \frac{\Delta T}{T_{haq}} \times 100\%$$

ko‘rinishida aniqlanadi.

Amaliy hisoblash uchun kompressor chiqishidagi haqiqiy temperatura 100 °C, datchik ko‘rsatkichi esa 102 °C deb qabul qilindi. Bunda:

$$\Delta T = 102 - 100 = 2^{\circ}\ C$$

va:

$$\delta_T = \frac{2}{100} \times 100 = 2\%$$

Demak, mazkur holatda datchikning o‘lchash xatoligi 2 % ni tashkil etadi.

Agar texnologik jarayon uchun ruxsat etilgan maksimal xatolik ±1 % deb qabul qilinsa, ushbu o‘lchash natijasi talabga javob bermaydi. Bunday vaziyatda datchikni kalibrlash, o‘lchash kanalini tekshirish yoki yuqoriroq aniqlikka ega sensorni tanlash talab etiladi.

O‘lchash xatoligining tarkibiy qismlari. Kompressor agregatlarida temperatura o‘lchash tizimining umumiy xatoligi bir nechta tarkibiy qismlardan shakllanadi. Tadqiqotda quyidagi xatolik komponentlari ko‘rib chiqildi: datchikning instrumental xatoligi, kalibrlash xatoligi, montaj va o‘rnatish xatoligi, kabel qarshiligining ta’siri, elektromagnit shovqin, issiqlik almashinuvi bilan bog‘liq metodik xatolik, datchikning termik inertligi.

Ushbu komponentlar mustaqil deb qabul qilinganda kombinatsiyalangan standart noaniqlik quyidagicha aniqlanadi:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \cdots + u_n^2}$$

Masalan, tadqiqot modeli uchun quyidagi qiymatlar qabul qilindi:

- datchik xatoligi — ±0,5 °C;
- kalibrlash xatoligi — ±0,3 °C;
- kabel ta’siri — ±0,2 °C;
- montaj xatoligi — ±0,4 °C.

Bunda:

$$u_c = \sqrt{0{,}5^2 + 0{,}3^2 + 0{,}2^2 + 0{,}4^2}$$
$$u_c = \sqrt{0{,}25 + 0{,}09 + 0{,}04 + 0{,}16}$$
$$u_c = \sqrt{0{,}54} \approx 0{,}735^{\circ}\ C$$

Natijada o‘lchash tizimining kombinatsiyalangan standart noaniqligi taxminan ±0,74 °C ni tashkil etadi. Bu natija shuni ko‘rsatadiki, faqat datchikning pasportdagi aniqligini hisobga olish yetarli emas. O‘lchash tizimining boshqa elementlari ham umumiy noaniqlikka sezilarli hissa qo‘shadi.

Kabel ulanishining o‘lchash aniqligiga ta’siri. RTD datchiklarida ulanish sxemasi o‘lchash aniqligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Ikki simli ulanishda datchik qarshiligiga kabel qarshiligi qo‘shiladi:

$$R_{o'lch} = R_{RTD} + R_{kabel}$$

Natijada boshqaruv tizimi temperaturani real qiymatdan farqli ravishda aniqlashi mumkin. Uch simli va to‘rt simli ulanish sxemalaridan foydalanish kabel qarshiligining ta’sirini kamaytirish imkonini beradi. Ayniqsa, kompressor agregatining datchigi boshqaruv shkafidan uzoqda joylashgan holatlarda bunday ulanish sxemalarining ahamiyati ortadi. Shu sababli yuqori aniqlik talab qilinadigan temperatura monitoring tizimlarida Pt100 yoki Pt1000 datchiklarini uch yoki to‘rt simli sxemada ulash tavsiya etiladi.

Datchikning o‘rnatilish joyining ta’siri. Tadqiqot davomida aniqlangan muhim omillardan biri datchikning o‘rnatilish joyidir. Temperaturani o‘lchashda datchik sezgir elementi o‘lchanayotgan muhit bilan yetarlicha issiqlik almashinuvida bo‘lishi kerak. Agar datchik gaz oqimidan uzoqroq yoki quvur devoriga haddan tashqari yaqin joylashtirilsa, o‘lchangan qiymat gazning haqiqiy temperaturasini to‘liq aks ettirmasligi mumkin.

Masalan, gaz temperaturasi:

$$T_g=120^\circ\ C$$

quvur devorining temperaturasi:

$$T_d=105^\circ\ C$$

bo‘lsa, datchikning quvur devoriga yaqin joylashtirilishi natijasida o‘lchangan temperatura haqiqiy gaz temperaturasidan past bo‘lishi mumkin. Bunday xatolik avtomatik himoya tizimining kechikib ishlashiga olib kelishi ehtimolini oshiradi. Shuning uchun datchik konstruktiv jihatdan oqimning reprezentativ zonasiga joylashtirilishi lozim.

Temperaturaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini tahlil qilish. Kompressor agregatining texnik holatini baholashda temperaturaning mutlaq qiymatidan tashqari uning vaqt bo‘yicha o‘zgarish xarakteri ham muhim hisoblanadi.

Normal ish rejimida temperatura ma’lum chegaralarda barqarorlashishi kutiladi. Agar temperatura asta-sekin oshib borsa, bu: moylash tizimining yomonlashuvi, podshipniklarda ishqalanishning ortishi, sovitish samaradorligining pasayishi, kompressorning ortiqcha yuklanishi, gaz oqimining buzilishi kabi holatlarning belgisi bo‘lishi mumkin. Shu sababli temperatura datchigidan olinadigan ma’lumotlarni faqat chegaraviy qiymatlar asosida emas, balki vaqt qatori sifatida tahlil qilish maqsadga muvofiq.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, kompressor agregatlarida temperatura datchigini tanlashda universal yechim mavjud emas. Har bir texnologik nuqta uchun datchikning optimal turi ekspluatatsion sharoitga qarab belgilanadi. Pt100 va Pt1000 datchiklari yuqori aniqlik va barqarorlik talab qilinadigan nuqtalarda, ayniqsa, podshipnik va moylash tizimlarida samarali hisoblanadi. Termojuftlar esa yuqori temperatura diapazonlarida va tezkor javob talab qilinadigan holatlarda afzal bo‘lishi mumkin. Termistorlar esa temperatura diapazoni cheklangan, biroq yuqori sezgirlik talab qilinadigan tizimlarda qo‘llanishi mumkin. Shuningdek, tadqiqot natijalari datchikning pasportdagi aniqlik ko‘rsatkichi butun o‘lchash tizimining aniqligini to‘liq ifodalamasligini ko‘rsatdi. Masalan, yuqori aniqlikdagi Pt100 datchigi noto‘g‘ri o‘rnatilsa yoki kabel qarshiligi hisobga olinmasa, umumiy o‘lchash xatoligi sezilarli darajada ortishi mumkin. Shu sababli kompressor agregatlarining avtomatlashtirish tizimlarida “datchik – ulanish liniyasi – signalni qayta ishlash qurilmasi – PLC – SCADA” zanjiri yagona o‘lchash tizimi sifatida ko‘rib chiqilishi kerak. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, temperatura monitoringini yanada takomillashtirishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri sensor ma’lumotlarini raqamli tahlil qilish hisoblanadi. Temperaturaning o‘zgarish trendlarini, o‘rtacha qiymatlarini va keskin og‘ishlarini avtomatik tahlil qilish orqali kompressor agregatining texnik holatidagi dastlabki o‘zgarishlarni aniqlash mumkin. Kelgusida ushbu yondashuvni mashinali o‘qitish algoritmlari bilan birlashtirish orqali temperatura asosida nosozliklarni oldindan aniqlash tizimini yaratish mumkin. Umuman olganda, tadqiqot natijalari kompressor agregatlarida temperatura o‘lchashning ishonchliligini oshirish uchun

uchta asosiy omil — datchikni to‘g‘ri tanlash, uni optimal o‘rnatish va umumiy o‘lchash noaniqligini kompleks baholash — birgalikda ta’minlanishi kerakligini ko‘rsatdi.

Xulosa. Kompressor agregatlarining ishonchli, xavfsiz va samarali ishlashini ta’minlashda temperatura parametrini aniq va uzluksiz nazorat qilish muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot davomida kompressor agregatlarida temperatura o‘lchash uchun qo‘llaniladigan asosiy datchiklar — Pt100 va Pt1000 qarshilik termometrlari, termojuftlar hamda termistorlarning texnik va metrologik xususiyatlari qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, temperatura datchigini tanlashda faqat uning nominal o‘lchash diapazoni va aniqlik ko‘rsatkichi bilan cheklanib qolmaslik kerak. Datchikning sezgirligi, termik inertligi, javob berish vaqti, uzoq muddatli barqarorligi, vibratsiyaga chidamliligi, o‘lchanayotgan muhitning fizik-kimyoviy xususiyatlariga mosligi, montaj sharoitlari va boshqaruv tizimi bilan texnik mosligi ham kompleks ravishda hisobga olinishi lozim. Kompressor agregatlarining podshipniklari, moylash tizimi va boshqa o‘rtacha temperaturali texnologik nuqtalarida yuqori aniqlik va barqarorlikka ega Pt100 hamda Pt1000 turidagi RTD datchiklaridan foydalanish maqsadga muvofiq ekanligi aniqlandi. Yuqori temperaturali gaz oqimlarini o‘lchashda esa keng temperatura diapazonida ishlay oladigan termojuftlar samarali yechim sifatida qaralishi mumkin. Termistorlardan esa nisbatan tor temperatura diapazonida yuqori sezgirlik talab qilinadigan holatlarda foydalanish maqsadga muvofiq. O‘lchash xatoliklarini tahlil qilish natijasida temperatura o‘lchashning umumiy aniqligiga instrumental, metodik, montaj, kabel, kalibrlash va tashqi muhit bilan bog‘liq xatoliklar ta’sir qilishi aniqlandi. Ayniqsa, datchikning noto‘g‘ri joylashtirilishi, issiqlik almashinuvi sharoitlarining buzilishi va RTD datchiklarda kabel qarshiligining hisobga olinmasligi sezilarli qo‘shimcha xatoliklarni yuzaga keltirishi mumkin. Umuman olganda, kompressor agregatlarida temperatura o‘lchash tizimining samaradorligi “to‘g‘ri datchik tanlash – optimal montaj – ishonchli signal uzatish – muntazam kalibrlash – raqamli monitoring” tamoyillari asosida tashkil etilganda sezilarli darajada oshadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Bentley J.P. Principles of Measurement Systems. 4th ed. Pearson Education. Harlow, 2005.
2. Doebelin E.O., Manik D.N. Measurement Systems: Application and Design. 6th ed. McGraw-Hill Education. New York, 2011.
3. Fraden J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. 5th ed. Springer. Cham, 2016.
4. Childs P.R.N. Practical Temperature Measurement. Butterworth-Heinemann. Oxford, 2001.
5. Morris A.S., Langari R. Measurement and Instrumentation: Theory and Application. 2nd ed. Academic Press. Oxford, 2016.
6. Bolton W. Instrumentation and Control Systems. Newnes. Oxford, 2015.
7. Holman J.P. Experimental Methods for Engineers. 8th ed. McGraw-Hill. New York, 2012.
8. Rizzoni G. Principles and Applications of Electrical Engineering. 6th ed. McGraw-Hill. New York, 2010.

9. Boyes W. Instrumentation Reference Book. 4th ed. Butterworth-Heinemann. Oxford, 2010.
10. Webster J.G., Eren H. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, 2014.
11. Bentley J.P. Principles of Measurement Systems. Pearson Education. Harlow, 2005.
12. IEC 60751. Industrial Platinum Resistance Thermometers and Platinum Temperature Sensors. International Electrotechnical Commission.
13. IEC 60584-1. Thermocouples – Part 1: EMF Specifications and Tolerances. International Electrotechnical Commission.
14. JCGM 100:2008. Evaluation of Measurement Data — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. BIPM, Sèvres, 2008.
15. JCGM 200:2012. International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). BIPM, 2012.
16. ASME PTC 19.3 TW. Thermowells. The American Society of Mechanical Engineers.
17. Bolton W. Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering. 6th ed. Pearson Education, 2015.
18. Doebelin E.O. Measurement Systems: Application and Design. McGraw-Hill, New York.
19. Fraden J. Sensors and Signal Conditioning. Springer, New York.
20. Omega Engineering. Temperature Measurement and Control: Technical Reference. Omega Engineering.