NASOS STANSIYALARINING UZLUKSIZ ISHLASHINI TA'MINLASHDA QURILMALAR MONITORINGI

Ilxomova Charos Iskandar qizi
Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti
2-kurs bakalavriat talabasi
Shayumova Zamira Mustafayevna
Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti
"Elektr energetikasi" kafedrasi dotsenti, PhD
https://doi.org/10.5281/zenodo.24103233

Annotatsiya. Maqolada nasos stansiyasi qurilmalarining uzluksiz ishlashini qo'llab-quvvatlovchi monitoring tizimi tahliliy-uslubiy yondashuv asosida ko'rib chiqiladi. Bosim, suv sarfi, tebranish, harorat va elektr kattaliklarini birgalikda kuzatish uchun parametrlar tarkibi hamda ma'lumotlarni qayta ishlash ketma-ketligi taklif etiladi. Nasosning to'liq napori, elektrdan gidravlik energiyaga o'tish samaradorligi va solishtirma energiya sarfini baholash ifodalari keltiriladi. Signallarni ish rejimiga mos tayanch qiymatlar bilan taqqoslash, o'lchash noaniqligini hisobga olish va mahalliy himoyani dispetcherlik tizimi bilan muvofiqlashtirish asoslanadi. Natija sifatida ogohlantirishdan texnik xizmat qarorigacha bo'lgan funksional tuzilma ishlab chiqiladi. Yondashuvning amaliy samarasi ekspluatatsion ma'lumotlar asosida alohida baholanishi lozim.

Kalit so'zlar: nasos stansiyasi, texnik holat monitoringi, uzluksiz ishlash, tebranish, kavitatsiya, SCADA, energiya samaradorligi, o'lchash noaniqligi.

Аннотация. В статье на основе аналитико-методического подхода рассматривается мониторинг оборудования для обеспечения непрерывной работы насосной станции. Предложены контролируемые параметры и последовательность обработки данных для совместного анализа давления, расхода, вибрации, температуры и электрических величин. Приведены выражения для оценки полного напора, эффективности преобразования электрической энергии в гидравлическую и удельного энергопотребления. Обоснованы сравнение сигналов с базовыми значениями соответствующего режима, учёт неопределённости измерений и согласование местной защиты с диспетчерской системой. Разработана функциональная структура перехода от предупреждения к решению о техническом обслуживании. Практическая эффективность подхода подлежит отдельной оценке по эксплуатационным данным.

Ключевые слова: насосная станция, мониторинг технического состояния, непрерывная работа, вибрация, кавитация, SCADA, энергоэффективность, неопределённость измерений.

Abstract. This article presents an analytical and methodological approach to monitoring equipment for continuous pumping station operation. Monitored parameters and a processing sequence are proposed for the combined assessment of pressure, flow, vibration, temperature and electrical quantities. Expressions are given for total head, wire-to-water efficiency and specific energy consumption. The approach uses operating-mode-specific baselines, accounts for measurement uncertainty and coordinates local protection

with supervisory monitoring. The proposed functional structure links condition warnings to maintenance decisions. Its practical effectiveness requires a separate assessment using operational data.

Keywords: pumping station, condition monitoring, continuous operation, vibration, cavitation, SCADA, energy efficiency, measurement uncertainty.

Nasos stansiyalarida suvni belgilangan sarf va bosimda yetkazib berish nasos agregatlari bilan birga elektr ta’minoti, quvur tarmog‘i, armatura va boshqaruv vositalarining holatiga bog‘liq. Podshipnikning yeyilishi, val markazlashuvining buzilishi, so‘rish sharoitining yomonlashishi yoki elektr yuritmadagi nosozlik texnologik rejimga ta’sir qiladi. Shu sababli ekspluatatsiya qarorlari davriy ko‘rik va agregatning ish paytidagi holati haqidagi ma’lumotlarga tayanishi zarur [1, 2].

Uzluksiz ishlash deganda stansiyaning talab etilgan xizmatni davom ettirishi tushuniladi. Ayrim agregatni texnik xizmat uchun to‘xtatish zaxira quvvat hisobiga suv yetkazib berishni uzmasligi mumkin. Monitoringning vazifasi rivojlanayotgan nosozlikni aniqlash, uning jarayonga ta’sirini baholash va operatorga o‘z vaqtida qaror qabul qilish uchun dalil taqdim etishdan iborat. Bunda avariya himoyasi, zaxira agregat tayyorligi va ta’mirlashni tashkil etish birgalikda ko‘rib chiqiladi. Maqolaning maqsadi nasos stansiyasi qurilmalarini kuzatish uchun zarur parametrlar tarkibini asoslash hamda o‘lchash, tahlil qilish, ogohlantirish va texnik xizmat qarorini yagona tartibga keltiruvchi monitoring tuzilmasini taklif etishdir.

Tadqiqot tahliliy-uslubiy xarakterga ega. U nasos tizimlaridan foydalanish bo‘yicha texnik qo‘llanma, mashinalar holatini kuzatish standartlari va ishlab chiqaruvchining nasoslar haqidagi ma’lumotlarini qiyosiy o‘rganishga asoslanadi [1–6]. Ko‘rib chiqilgan obyekt suv uzatuvchi rotodinamik nasos, elektr dvigatel, yuritma, so‘rish va haydash quvurlari hamda mahalliy avtomatika vositalaridan iborat agregatdir. Avval nosozlik belgilari, ularni o‘lchash vositalari va ish rejimiga bog‘liqlik tahlil qilinadi. Keyin signal sifati va texnik xizmatga asos bo‘ladigan holatlar ajratiladi. Natijada diagnostik parametrlar jadvali, funksional sxema va baholash ko‘rsatkichlari shakllantiriladi. Taklif etilgan yechimning tashxis aniqligi va iqtisodiy samarasi ekspluatatsion ma’lumotlar bilan alohida tekshirilishi kerak.

Monitoring parametrlari va tashxis mezonlari

Monitoring agregatning soz holatidagi tayanch ko‘rsatkichlarini qayd etishdan boshlanadi. Taqqoslash sarf, tezlik va kirish sharoiti mos kelganda bajariladi. KSB monitoringni o‘lchash, tayanch qiymat bilan taqqoslash va xizmatni rejalashtirish ketma-ketligida tavsiflaydi [3]. 1-jadval nasos tizimlari bo‘yicha tavsiyalar va holat monitoringi tamoyillarini umumlashtirish asosida tuzildi [1–4].

1-jadval. Nasos agregati uchun tavsiya etiladigan monitoring parametrlari

Kattalik va birlik	O‘lchash nuqtasi yoki vositasi	Tahlilda foydalanish
So‘rish va haydash bosimi, kPa	Nasosning kirish va chiqishidagi bosim o‘zgartkichlari	Napor, so‘rish sharoiti va bosim o‘zgarishini baholash
Suv sarfi, m^3/s yoki m^3/h	Mos o‘rnatilgan elektromagnit yoki ultratovushli sarf o‘lchagich	Ish nuqtasi va suv yetkazib berish talabini tekshirish
Tebranish, mm/s yoki m/s^2	Podshipnik tayanchlari va korpusdagi datchiklar	Mexanik holatning o‘zgarishi va spektr belgilarini kuzatish
Harorat, °C	Podshipnik va dvigatelning mos nazorat nuqtalari	Qizish dinamikasini yuklama bilan bog‘lab baholash

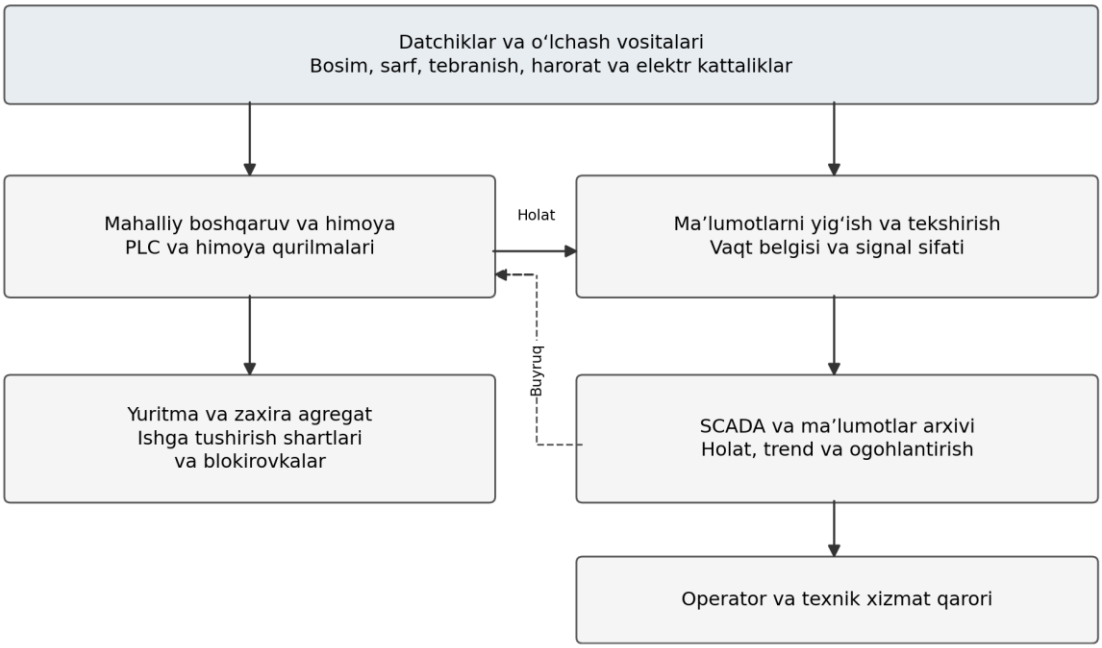
Kattalik va birlik	O‘lchash nuqtasi yoki vositasi	Tahlilda foydalanish
Tok, A; kuchlanish, V; quvvat, kW; energiya, kWh	Elektr analizatori va himoya qurilmalari	Fazalar holati, elektr yuklama va energiya sarfini kuzatish
Aylanish tezligi, min^{-1}	Tezlik datchigi yoki tekshirilgan yuritma signali	Natijalarni amaldagi ish rejimi bilan solishtirish
Suv sathi, m; armatura holati	Sath datchigi va holat kontaktlari	Ishga tushirish shartlari va oqim yo‘lining tayyorligini nazorat qilish
Sizib chiqish va yordamchi tizimlar	Konstruksiyaga mos datchiklar va davriy ko‘rik	Zichlagich, moylash va sovitish holatini baholash

Jadvaldagi kattaliklar bir-birini to‘ldiradi. Masalan, tebranishning ortishi yolg‘iz o‘zi aniq bir nosozlikni isbotlamaydi; tashxisda uning spektri, yo‘nalishi, tezlik va yuklama bilan bog‘liqligi tekshiriladi. ISO 10816-7:2009 quvvati 1 kW dan yuqori sanoat rotodinamik nasoslarining tebranishini baholashga taalluqlidir [4]. Ruxsat etilgan chegaralar agregat toifasi, o‘rnatilishi va ishlab chiqaruvchi ko‘rsatmalariga muvofiq belgilanadi; barcha nasoslar uchun yagona son qabul qilinmaydi.

So‘rishdagi mutlaq bosimning kamayishi, shovqin va tebranishning o‘zgarishi, napor yoki samaradorlikning pasayishi kavitatsiya ehtimolini baholashga asos bo‘lishi mumkin. Kavitatsiya suyuqlikdagi bug‘ bo‘shliqlarining hosil bo‘lishi va yemirilishi bilan bog‘liq bo‘lib, ayrim sharoitlarda detallar eroziyasiga olib keladi [5]. Baholashda so‘rishdagi kavitatsion zaxira (NPSH)ning mavjud qiymati nasos talab qiladigan qiymat bilan ish nuqtasiga mos ravishda taqqoslanadi va zarur qo‘shimcha zaxira hisobga olinadi. NPSHni hisoblashda manometrik bosimdan mutlaq bosimga o‘tish va suyuqlik haroratiga mos bug‘ bosimini hisobga olish zarur [6].

Monitoring tizimining funksional tuzilmasi

Taklif etilayotgan tuzilmada o‘lchash, mahalliy himoya va dispetcherlik tahlili o‘zaro bog‘langan holda tashkil qilinadi. Datchiklar texnologik kattaliklarni qayd etadi. Dasturlanuvchi mantiqiy kontroller (PLC) va maxsus himoya qurilmalari mahalliy boshqaruvni bajaradi. Dispetcherlik nazorati va ma’lumot yig‘ish tizimi (SCADA) holatni ko‘rsatadi, vaqt bo‘yicha o‘zgarishlarni saqlaydi hamda operatorning qaror qabul qilishiga yordam beradi. 1-rasm ushbu funksiyalar o‘rtasidagi aloqani ko‘rsatadi.



1-rasm. Nasos stansiyasi monitoringining taklif etilayotgan funksional sxemasi

Mahalliy himoya dispetcherlik kompyuteri yoki tashqi aloqa uzilganda ham belgilangan funksiyasini bajarishi lozim. SCADA orqali berilgan buyruq mahalliy ruxsat shartlari va blokirovkalardan o‘tadi. Zaxira agregatni ishga tushirishda suv mavjudligi, armatura holati, elektr ta’minoti va himoyaning tayyorligi tekshiriladi. Almashish ketma-ketligi stansiyaning gidravlik hisoblariga mos bo‘lishi kerak; aks holda keskin o‘tish bosim zarbasini keltirib chiqarishi mumkin.

Har bir o‘lchov uchun vaqt belgisi, birlik va signal sifati saqlanishi taklif etiladi. Aloqa uzilishi yoki datchik xatosida eski qiymat joriy holat sifatida ko‘rsatilmaydi. Sekin o‘zgaruvchi sath va harorat signallarining qayd etish davri tebranish diagnostikasi uchun yetarli bo‘lmasligi mumkin. Tebranish signali kerakli chastota diapazonida yig‘ilib, SCADAga uning hisoblangan belgilarini uzatish mumkin. O‘tkinchi bosim jarayonlari ham alohida tezkor qaydni talab qiladi.

Tizimga kirish huquqlari vazifa bo‘yicha ajratilishi, masofaviy ulanishlar nazorat qilinishi va konfiguratsiya zaxira nusxalari yuritilishi tavsiya etiladi. NIST SP 800-82 Rev. 3 operatsion texnologiyalarni himoyalashda ishlash qobiliyati, ishonchlilik va xavfsizlik talablarini birgalikda ko‘rib chiqadi [7]. Ushbu yondashuv nasos stansiyasidagi monitoring va boshqaruv tarmoqlariga ham tatbiq etilishi mumkin.

Gidravlik va energetik ko‘rsatkichlarni baholash

Bosimning o‘zi nasos holatini to‘liq tavsiflamaydi. Barqaror oqimda kirish va chiqish kesimlari uchun to‘liq napor quyidagi ifoda orqali baholanadi; tezlik taqsimoti tuzatish koeffitsiyentlari bu ifodada birga teng deb olinadi [8]:

$$H = \frac{p_d - p_s}{\rho g} + \frac{v_d^2 - v_s^2}{2g} + z_d - z_s (1)$$

Bu yerda H — napor, m; p — statik bosim, Pa; v — kesimdagi o‘rtacha oqim tezligi, m/s; z — kesim balandligi, m; ρ — suyuqlik zichligi, kg/m³; g — erkin tushish tezlanishi, m/s². s va d indekslari mos ravishda so‘rish va haydash kesimlarini bildiradi. Bosimlar bir xil hisob boshiga nisbatan o‘lchanadi. Bosim olish nuqtalari nasosdan uzoqda joylashsa, oraliq quvur yo‘qotishlari ham hisobga olinadi.

Elektr tarmog‘idan olingan energiyaning suyuqlikka berilishini baholash uchun agregatning elektrdan gidravlik energiyaga o‘tish samaradorligi aniqlanadi:

$$\eta_{eg} = \frac{\rho g Q H}{1000 P_{el}} \times 100\% (2)$$

Bunda Q — sarf, m^3/s; P_{el} — agregatning o‘lchangan aktiv kirish quvvati, kW. Quvvat chastota o‘zgartkichidan oldin o‘lchansa, ko‘rsatkich yuritma, dvigatel va nasosdagi yo‘qotishlarni birgalikda qamrab oladi. U nasos valiga nisbatan aniqlanadigan alohida nasos foydali ish koeffitsiyenti bilan aralashtirilmaydi. Koeffitsiyentni hisoblashda Q, H va P_{el} bir xil vaqt oralig‘iga tegishli bo‘lishi zarur [1].

Hisobot davrida suv yetkazib berishga sarflangan elektr energiyasini quyidagi ko‘rsatkich bilan ifodalash qulay:

$$e_{sol} = \frac{E_{el}}{V} (3)$$

Bu yerda E_{el} — davr mobaynida sarflangan energiya, kWh; V — shu davrda yetkazib berilgan suv hajmi, m^3; e_{sol} — solishtirma energiya sarfi, kWh/m^3. Hisob chegarasi oldindan belgilanadi: faqat nasos agregatimi yoki yordamchi iste’molchilar bilan butun stansiyami. Turli davrlarni taqqoslashda napor, suv talabi va ishlayotgan agregatlar tarkibi hisobga olinadi. Sharoitlar o‘zgarganida e_{sol} ortishini bevosita nosozlik deb talqin qilish mumkin emas.

O‘lchash noaniqligi hisoblangan natijaning ishonchliligiga ta’sir qiladi [9]. Datchiklarning diapazoni, kalibrlash natijalari, o‘rnatish sharoiti va vaqt bo‘yicha mosligi tekshiriladi. Barqaror rejimdagi tarqoqlik hamda o‘lchash noaniqligi bilan solishtiriladigan kichik og‘ishlar nosozlikka yetarli dalil bo‘lmaydi. Qiyoslash yoki kalibrlash davriyligi vositaning vazifasi va unga tatbiq etiladigan talablar bo‘yicha belgilanadi.

Monitoring natijalariga ko‘ra qaror qabul qilish

O‘tkazilgan tahlil asosida monitoring qarorlarini uch pog‘onada tashkil etish taklif qilinadi: signalning ishonchliligini tekshirish, rejimga mos texnik holatni baholash va chorani belgilash. Bu tartib nosoz datchik signali bilan haqiqiy texnologik og‘ishni ajratishga xizmat qiladi. Taklifning uslubiy jihati gidravlik, mexanik va elektr belgilarni yagona ish rejimida taqqoslash hamda tashxisni muayyan xizmat qaroriga bog‘lashdan iborat.

2-jadval. Monitoring holati va tavsiya etiladigan javob chorasi

Holat	Qaror uchun asos	Javob chorasi
Me’yoriy	Ishonchli signal; ish rejimiga mos ko‘rsatkichlar	Kuzatish va trendlarni saqlash
Ogohlantirish	Barqaror yoki o‘sib boruvchi og‘ish; qo‘shimcha belgi bilan tasdiqlash	Sababni tekshirish, xizmatni rejalash va zaxira tayyorligini baholash
Kritik	Tasdiqlangan himoya sharti bajarilishi	Mahalliy himoya algoritmi; ruxsat shartlari bo‘lsa zaxiraga o‘tish
Ma’lumot ishonchsiz	Aloqa, vaqt belgisi yoki datchikda xato	Signalni belgilash; zaxira o‘lchov yoki belgilangan xavfsiz rejim

Birinchi pog‘onada signalning yangilanish vaqti, diapazoni va mantiqiy mosligi tekshiriladi. Ikkinchisida qabul qilingan qiymatlar ayni tezlik va sarf uchun tayanch ko‘rsatkichlar bilan taqqoslanadi. Uchinchi pog‘onada og‘ishning davomiyligi, o‘sish tezligi va boshqa belgilar bilan tasdiqlanishiga qarab operator ogohlantiriladi yoki belgilangan himoya algoritmi bajariladi. Diagnostik ogohlantirishga qo‘llangan kechikish kritik himoyaning zarur ishlash tezligini pasaytirmasligi kerak.

Signalning chegara atrofidagi kichik o‘zgarishlari takroriy xabarlarga olib kelmasligi uchun ogohlantirishni bekor qilish sharti va gisterezis alohida belgilanadi. Har bir ogohlantirishga sabab, mas’ul shaxs va bajariladigan tekshiruv biriktirilishi kerak. Faqat xabarlar sonini ko‘paytiradigan tizim

operatorning qaror sifatini yaxshilamaydi. Amaliy foyda ogohlantirishning tasdiqlangan nosozlik yoki o‘z vaqtida bajarilgan xizmat bilan bog‘lanishida namoyon bo‘ladi.

Holatga qarab xizmat ko‘rsatish davriy ko‘rik, moylash va ishlab chiqaruvchi belgilagan amallar bilan birga qo‘llanadi. Raqamli kuzatish mavjudligi mahalliy ko‘rik zaruratini bekor qilmaydi. Taklif etilgan yondashuvning qo‘llanish chegaralari datchiklar sifati, boshlang‘ich tayanch ma’lumotlar, ish rejimlari xilma-xilligi va texnik xodimlarning tashxisni tekshirish imkoniyatiga bog‘liq. Monitoringning o‘zi zaxira quvvat yoki elektr ta’minoti yetishmovchiligini bartaraf etmaydi.

Amaliy joriy etish va samarani baholash. Joriy etishni suv ta’minotiga ta’siri eng katta bo‘lgan agregatdan boshlash taklif etiladi. Avval pasport ma’lumotlari va mavjud himoyalar tekshiriladi, o‘lchash nuqtalari tanlanadi hamda soz rejimdagi tayanch ma’lumotlar yig‘iladi. Keyin signal sifati, ogohlantirishlar va zaxiraga o‘tish ketma-ketligi tasdiqlangan sinov dasturi bo‘yicha tekshiriladi. Natijalar qoniqarli bo‘lgach, yechim boshqa agregatlarga moslashtiriladi.

Samarani baholash uchun rejadan tashqari to‘xtash davomiyligi, talab etilgan suv yetkazib berishning bajarilishi, ta’mirlash vaqti, yolg‘on ogohlantirishlar ulushi hamda solishtirma energiya sarfi qayd etiladi. Boshlang‘ich va monitoring joriy etilgan davrlarning davomiyligi, yuklamasi, suv sathi va mavsumiy sharoiti moslashtiriladi. Natijalar ta’mirlash va ekspluatatsiya jurnallari bilan solishtiriladi. Shu asosda kuzatilgan o‘zgarishning monitoringga bog‘liqligi baholanadi; tejash yoki ishonchlilik o‘sishi oldindan kafolatlangan foiz bilan ifodalanmaydi.

Xulosa

Nasos stansiyalarida qurilmalarning uzluksiz ishlashini qo‘llab-quvvatlash uchun bosim, sarf, tebranish, harorat va elektr kattaliklarini birgalikda kuzatish zarur. Taklif etilgan monitoring tuzilmasi ma’lumot sifati tekshiruvi, ish rejimiga mos taqqoslash va belgilangan javob chorasini bog‘laydi. Napor, elektrdan gidravlik energiyaga o‘tish samaradorligi va solishtirma energiya sarfi texnik holatni energetik ko‘rsatkichlar bilan birga baholash imkonini beradi.

Asosiy amaliy shartlar mahalliy himoyaning mustaqil ishlashi, zaxira agregatning tayyorligi, o‘lchash natijalarining ishonchliligi va ogohlantirishga javob berish tartibidir. Ushbu shartlar bajarilganda monitoring texnik xizmatni rejalash va nosozlik rivojlanishini erta aniqlash uchun asos bo‘la oladi. Yondashuvning real samaradorligi keyingi bosqichda stansiyaning ekspluatatsion ma’lumotlari va moslashtirilgan taqqoslash davrlari orqali baholanishi kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar

Elektron manbalarga murojaat sanasi: 09.11.2026.

1. U.S. Department of Energy; Hydraulic Institute. Improving Pumping System Performance: A Sourcebook for Industry. 2nd ed. May 2006. https://www.energy.gov/sites/default/files/2014/05/f16/pump.pdf
2. ISO 17359:2018. Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines. 3rd ed. ISO, 2018. https://www.iso.org/standard/71194.html
3. KSB SE & Co. KGaA. Condition monitoring. Centrifugal Pump Lexicon. https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/condition-monitoring-1118844
4. ISO 10816-7:2009. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts. ISO, 2009. https://www.iso.org/standard/41726.html
5. KSB SE & Co. KGaA. Cavitation. Centrifugal Pump Lexicon. https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/cavitation-1117364

6. KSB SE & Co. KGaA. NPSH. Centrifugal Pump Lexicon. https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/npsh-1116954
7. Stouffer K., Pease M., Tang C. et al. Guide to Operational Technology (OT) Security. NIST SP 800-82 Rev. 3. September 2023. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-82r3. https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/82/r3/final
8. KSB SE & Co. KGaA. Head. Centrifugal Pump Lexicon. https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/head-1115612
9. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM, 2008. DOI: 10.59161/JCGM100-2008E. https://www.bipm.org/en/doi/10.59161/jcgm100-2008e