

UO‘K 628.14:621.671

QARSHI SHAHRI SUV TA'MINOTI NASOS PARKINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI CHASTOTALI BOSHQARUV ASOSIDA OSHIRISH

Rahimov Ashraf Rasul o'g'li

texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), professor,

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti (Qarshi)

Murodullayev Javoxir Raxmatillo o'g'li

tayanch doktorant,

Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy-tadqiqot instituti (Toshkent)

ANNOTATSIYA

Maqolada Qarshi shahri markazlashtirilgan suv ta'minoti tizimidagi nasos parkining tarkibi, pasport ko'rsatkichlari va energiya samaradorligi tahlil qilingan hamda chastotali boshqaruvni (VFD) joriy etishdan olinadigan energiya tejash miqdori asoslangan. «Qashqadaryo suv ta'minoti» AJ Qarshi shahar bo'limining birlamchi hujjatlari asosida 39 ta inshootdagi 164 ta nasos agregati (156 tasi soz, 8 tasi nosoz) inventarizatsiya qilindi. Tizimda eng ko'p tarqalgan NSC200-150-460 rusumli nasos misolida nasos va quvur tavsifnomalarining kesishishi bo'yicha ish nuqtasi aniqlanib, o'xshashlik (affinlik) qonunlari asosida beshta chastota rejimi uchun val quvvati hisoblandi. Nisbiy aylanish chastotasini 8 % ga ($s = 0,92$ gacha) kamaytirish agregat quvvatini 23,9 % ga kamaytirishi, bunda nasosning foydali ish koeffitsiyenti 0,77 dan 0,75 gacha, ya'ni deyarli o'zgarmasligi ko'rsatildi. Tizim miqyosida hisoblangan tejash 17,7 % ni tashkil etadi; ehtiyotkorlik prinsipi bo'yicha 14,7 % qabul qilinganda yillik tejash 503,9 ming kVt·soatga yoki 0,50 mlrd so'mga teng bo'ladi.

Kalit so'zlar: suv taqsimlash tarmog'i, nasos agregati, chastotali boshqaruv, o'xshashlik qonunlari, ish nuqtasi, energiya samaradorligi, foydali ish koeffitsiyenti, energiya tejash, Qarshi shahri.

АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы состав, паспортные показатели и энергетическая эффективность насосного парка централизованной системы водоснабжения города Карши, а также обоснована величина экономии электроэнергии от внедрения частотного регулирования (ЧРП). По первичным документам Каршинского городского отделения АО «Кашкадарьё сув таъминоти» инвентаризованы 164 насосных агрегата на 39 сооружениях (156 исправных, 8 неисправных). На примере наиболее распространённого насоса

NSC200-150-460 рабочая точка определена как пересечение характеристик насоса и трубопровода, а мощность на валу рассчитана для пяти режимов частоты по законам подобия. Показано, что снижение относительной частоты вращения на 8 % (до $s = 0,92$) уменьшает потребляемую мощность агрегата на 23,9 % при практически неизменном КПД (с 0,77 до 0,75). Расчётная экономия по системе составляет 17,7 %; при консервативно принятом значении 14,7 % годовая экономия равна 503,9 тыс. кВт·ч, или 0,50 млрд сумов.

Ключевые слова: водораспределительная сеть, насосный агрегат, частотное регулирование, законы подобия, рабочая точка, энергоэффективность, КПД, экономия электроэнергии, город Карши.

ABSTRACT

The paper analyses the composition, nameplate parameters and energy efficiency of the pumping fleet of the centralised water supply system of Karshi city and substantiates the electricity saving achievable through variable-frequency drive (VFD) control. Based on the primary records of the Karshi city branch of «Qashqadaryo suv ta'minoti» JSC, 164 pump units at 39 facilities were inventoried (156 serviceable, 8 out of order). For the most widespread unit, NSC200-150-460, the operating point was determined as the intersection of the pump and system curves, and the shaft power was computed for five speed settings using the affinity laws. Reducing the relative speed by 8 % (to $s = 0.92$) lowers the unit power by 23.9 % while the pump efficiency remains virtually unchanged (0.77 to 0.75). The system-wide computed saving is 17.7 %; with the conservatively adopted value of 14.7 % the annual saving equals 503.9 thousand kWh, or 0.50 billion soums.

Keywords: water distribution network, pump unit, variable-frequency drive, affinity laws, operating point, energy efficiency, pump efficiency, energy saving, Karshi city.

KIRISH

Suv ta'minoti kommunal xo'jalikning eng energiya talab qiluvchi tarmoqlaridan biridir. Qurg'oqchil mintaqalarda, jumladan Markaziy Osiyoda, yer usti suv manbalari cheklangan bo'lib, suvning katta qismi sezilarli chuqurlikdan ko'tariladi; natijada suvni olish, tozalash va taqsimlashga sarflanadigan elektr energiyasi korxona ekspluatatsiya xarajatlarning ustuvor qismini tashkil etadi [1, 2]. Shu bois nasos uskunalarining ish rejimini optimallashtirish nafaqat texnik, balki bevosita iqtisodiy masaladir.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 24-maydagi PQ-257-son va 2023-yil 24-oktabrdagi PQ-343-son qarorlarida ichimlik suv ta'minoti tizimlarida

energiya sarfini kamaytirish, nasos uskunalarini zamonaviylashtirish hamda avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy etish vazifalari belgilangan [3, 4]. Amaldagi QMQ 2.04.02-19 qurilish me'yorlari ham suv bosimi va sarfini avtomatlashtirilgan boshqarish vositalarini qo'llashni talab etadi [5].

Nasos stansiyalarida energiya isrofining ikkita asosiy sababi mavjud. Birinchisi - uskunaning texnik eskirishi, ya'ni ish g'ildiragining yeyilishi, zichlagichlardagi yo'qotishlar va dvigatelning past foydali ish koeffitsiyenti. Ikkinchisi - agregatning noqulay rejimda ishlatilishi: nasos doimiy aylanish chastotasida, iste'mol grafigidan qat'i nazar bir xil napor yaratib ishlaydi va ortiqcha napor zadviykada bo'g'iladi. Ikkinchi sabab ko'pincha e'tibordan chetda qoladi, holbuki uni bartaraf etish kapital xarajat talab qiladigan uskuna almashtirishdan ancha arzonga tushadi [6, 7].

Chastotali boshqaruvning nazariy asosini o'xshashlik (affinlik) qonunlari tashkil etadi: nasos unumdorligi aylanish chastotasiga to'g'ri proporsional, napor uning kvadratiga, val quvvati esa kubiga proporsionaldir. Shu sababli chastotani nisbatan kichik miqdorda kamaytirish quvvat sarfini sezilarli darajada kamaytiradi. Bu qonuniyat adabiyotda keng o'rganilgan [8-10], biroq statik napor mavjud bo'lgan real tizimlarda ish nuqtasi sof affinlik parabolasi bo'ylab siljimagani va tejash miqdorini faqat kubik qoidaning o'zi bilan baholash xatolikka olib keladi.

Mazkur maqolaning maqsadi - Qarshi shahri suv ta'minoti tizimi misolida nasos parkining haqiqiy tarkibi va pasport ko'rsatkichlaridan kelib chiqib, chastotali boshqaruvdan olinadigan energiya tejash miqdorini nasos va tizim tavsifnomalarining o'zaro joylashuvini hisobga olgan holda asoslashdir. Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, olingan natijalar korxona uchun sarmoya kiritish ustuvorligini belgilash imkonini beradi.

Tadqiqot obyekti, dastlabki ma'lumotlar va usullar

Tadqiqot obyekti - Qarshi shahri markazlashtirilgan ichimlik suv ta'minoti tizimining nasos xo'jaligi. Shahar Qashqadaryo viloyatining ma'muriy markazi bo'lib, aholisi 321,7 ming kishini tashkil etadi; tarmoqqa sutkasiga o'rtacha 72,5 ming m³ suv uzatiladi. Dastlabki ma'lumotlar sifatida «Qashqadaryo suv ta'minoti» AJ Qarshi shahar bo'limining ikkita birlamchi hujjati olindi: «Tasarrufida bo'lgan suv olish va uzatish inshootlaridagi nasos agregatlari to'g'risida ma'lumot» hamda nasos stansiyalarining oylik elektr energiyasi sarfi to'g'risidagi hisobot. Bundan tashqari, dala tekshiruvi davomida nasos va dvigatel pasport yorliqlarining suratlari olindi va ular asosida agregatlarning haqiqiy ko'rsatkichlari aniqlashtirildi.

Nasosning quvvati (1) ifoda bilan aniqlanadi:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \eta \quad (1)$$

bu yerda: N - val quvvati, Vt ; ρ - suvning zichligi, kg/m^3 ; g - erkin tushish tezlanishi, m/s^2 ; Q - unumdorlik, m^3/s ; H - napor, m ; η - nasosning foydali ish ko'effitsiyenti.

Nasosning Q - H tavsifnomasi eng yaxshi ish nuqtasi (BEP) va yopiq zadvijskadagi napor bo'yicha kvadratik ko'rinishda approksimatsiya qilindi:

$$H = s^2 \cdot H_0 - a \cdot Q^2 \quad (2)$$

bu yerda: H_0 - yopiq zadvijskadagi napor (nominal chastotada), m ; s - nasosning nisbiy aylanish chastotasi; a - tavsifnoma ko'effitsiyenti.

Tizim (quvur) tavsifnomasi statik napor va gidravlik qarshilikdan iborat:

$$H_c = H_{st} + k \cdot Q^2 \quad (3)$$

bu yerda: H_{st} - statik (geodezik va erkin) napor, m ; k - tarmoqning gidravlik qarshilik ko'effitsiyenti, s^2/m^5 .

Nasosning haqiqiy ish nuqtasi (2) va (3) tavsifnomalarning kesishishi sifatida topiladi. Chastotali boshqaruvda parametrlar o'xshashlik qonunlariga bo'ysunadi: $Q \sim s$, $H \sim s^2$, $N \sim s^3$. Biroq statik napor mavjud bo'lganda ish nuqtasi sof affinlik parabolasini bo'ylab emas, balki tizim tavsifnomasi bo'ylab siljiydi, shu sababli har bir chastota qiymati uchun kesishish nuqtasi alohida hisoblandi. Hisoblar Python muhitida bajarildi; tarmoqning gidravlik modeli EPANET 2.2 hisoblash yadrosi asosida, WNTR kutubxonasi yordamida qurildi [11, 12].

Hisobda quyidagi qiymatlar qabul qilindi: $H_0 = 60$ m, $Q_{BEP} = 320$ $m^3/soat$, $H_{BEP} = 50$ m, $H_{st} = 25$ m. Statik napor qiymati Qarshi shahri relyefidan kelib chiqib belgilandi: o'lchov nuqtalarining geodezik balandliklari 373,5 m dan 394,9 m gacha oraliqda o'zgaradi, ya'ni shahar bo'yicha balandliklar farqi 21,4 m ni tashkil etadi.

1-jadval. Qarshi shahri tizimida qo'llanilayotgan asosiy nasos agregatlarining pasport ko'rsatkichlari

Nasos markasi	Q , $m^3/soat$	H , m	n , ayl/min	η , $\%$	Dvigatel quvvati, kVt	Qo'llanish sohasi
NSC200-150-460 (CNP)	320	50	1 490	77	75	Asosiy uzatish inshootlari
D320-50	320	50	1 450	—	55-75	Bosh suv inshootlari
NIS100-65-200 (CNP)	100	50	2 950	—	30	O'rta va kichik inshootlar
K100-65-200	40-140	40- 60	2 900	≈ 70	18,5-30	Kichik zona nasoslari
K80-50, K100-80-160	50-100	32- 50	2 900	≈ 65 - 70	15-30	Mahalliy ko'tarish

CDL/CDLF turkumi	22-150	30-40	2 900	—	15-37	Bosim oshirish, ko'p bosqichli
GRUNDFOS LS350-450 SINL	—	—	1 480	—	45-190	3-balandlik nasos stansiyasi

Natijalar va ularning tahlili

Nasos parkining tarkibi va texnik holati. Birlamchi hujjatga ko'ra Qarshi shahar bo'limi tasarrufida jami 164 ta nasos agregati mavjud bo'lib, ularning 156 tasi soz, 8 tasi nosoz holatda; shundan 24 tasi gorizontall turdagi nasoslardir. Agregatlar 39 ta suv olish va uzatish inshooti bo'ylab taqsimlangan. Nosoz agregatlar ulushi 4,9 % ni tashkil etadi, bu suv ta'minoti korxonalari uchun qoniqarli ko'rsatkich hisoblanadi.

Nasos parkining eng muhim xususiyati - uning nisbatan yangiligi. O'rnatish yillari 2002-yildan 2025-yilgacha oraliqni qamrab olsa-da, agregatlarning katta qismi 2023-2025-yillarda o'rnatilgan. Bu holat tadqiqot uchun printsiptial ahamiyatga ega: energiya isrofining asosiy manbai nasoslarning texnik eskirishi emas, balki ularning ish rejimidir. Boshqacha aytganda, tizimda zamonaviy va yuqori foydali ish ko'effitsiyentiga ega nasoslar noqulay rejimda ishlatilmoqda; bu esa chastotali boshqaruvni joriy etishning samarasini yanada oshiradi, chunki uskunani almashtirish emas, balki uni boshqarish tizimini qo'shish kifoya.

Tizimda qo'llanilayotgan asosiy nasos markalarining pasport ko'rsatkichlari 1-jadvalda keltirilgan. Eng ko'p tarqalgan va tizimning asosiy yukini ko'taruvchi marka - NSC200-150-460 rusumli, bir bosqichli, ikki tomonlama so'rishli markazdan qochma nasosdir. Dala tekshiruvda olingan pasport yorliqlariga ko'ra ushbu agregat quyidagi ko'rsatkichlarga ega: unumdorlik 320 m³/soat, napor 50 m, aylanishlar chastotasi 1 490 ayl/min, foydali ish ko'effitsiyenti 77 %, kavitatsiya zaxirasi (NPSHr) 2,5 m, ish g'ildiragi diametri 342 mm, quvvat 75 kVt. Uni harakatga keltiruvchi IE2-280S-4 rusumli asinxron dvigatelning quvvati 75 kVt, kuchlanishi 380 V, toki 139 A, quvvat ko'effitsiyenti $\cos \varphi = 0,87$, foydali ish ko'effitsiyenti 94,0 %, himoya darajasi IP55.

(1) ifodaga muvofiq eng yaxshi ish nuqtasidagi val quvvati $N = 1\,000 \cdot 9,81 \cdot (320/3\,600) \cdot 50 / 0,77 = 56,6$ kVt ni tashkil etadi. Dvigatelning nominal quvvati 75 kVt bo'lgani bois quvvat zaxirasi 32 % ga teng. Bunday zaxira, bir tomondan, agregatning ishonchli ishlashini ta'minlasa, ikkinchi tomondan, uni chastotali boshqaruv orqali kengroq oraliqda rostlash imkoniyati borligini ko'rsatadi.

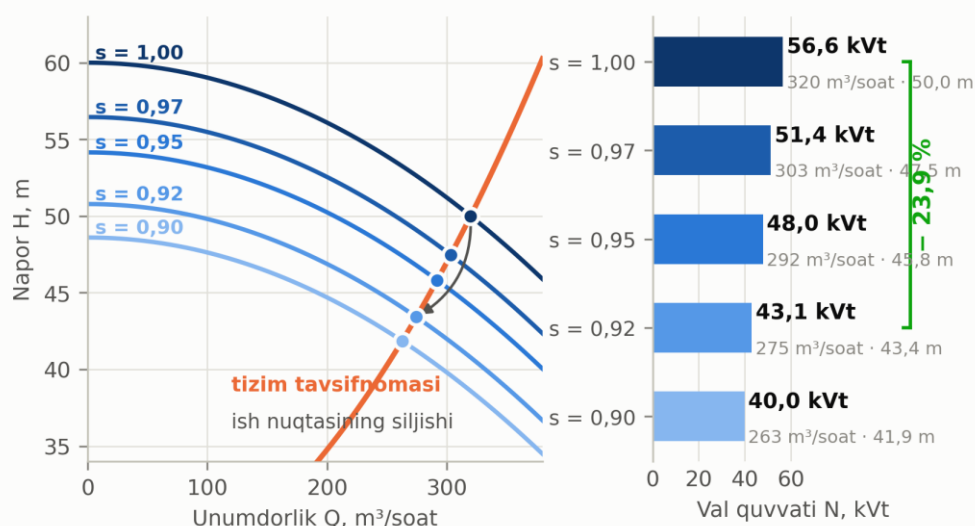
Ish nuqtasi va chastotali boshqaruv samarasi. (2) va (3) tavsifnomalarning kesishishi bo'yicha beshta chastota rejimi uchun ish nuqtasi va val quvvati hisoblandi; natijalar 2-jadvalda va 1-rasmda keltirilgan.

2-jadval. NSC200-150-460 nasosining turli aylanish chastotalaridagi ish nuqtasi va quvvat sarfi

Nisbiy chastota s	Unumdorlik Q , $m^3/soat$	Napor H , m	FIK η	Val quvvati N , kVt	Energiya tejash, %
1,00 (nominal)	320,0	50,0	0,770	56,6	—
0,97	303,4	47,5	0,764	51,4	9,3
0,95	292,0	45,8	0,760	48,0	15,3
0,92	274,7	43,4	0,754	43,1	23,9
0,90	262,8	41,9	0,750	40,0	29,4

NSC200-150-460 nasosining ish nuqtasi va chastotali boshqaruv samarasi

Ish nuqtasi nasos va tizim tavsifnomalarining kesishishida; FIK 0,77 dan 0,75 gacha o'zgaradi



1-rasm. NSC200-150-460 nasosining ish nuqtasi va chastotali boshqaruv samarasi: chapda - nasos va tizim tavsifnomalarining kesishishi, o'ngda - val quvvatining chastotaga bog'liqligi

2-jadvaldan ko'rinadiki, aylanish chastotasini atigi 8 % ga ($s = 0,92$ gacha) kamaytirish agregat quvvati sarfini 23,9 % ga kamaytiradi; bunda napor 50 m dan 43,4 m gacha tushadi, unumdorlik esa 320 dan 274,7 $m^3/soat$ gacha kamayadi. Bunday keskin samara quvvatning chastotaga kubik bog'liqligi bilan izohlanadi. Muhim jihat shundaki, chastota kamayganda ish nuqtasi eng yaxshi samaradorlik zonasidan uzoqlashmaydi va nasosning foydali ish koeffitsiyenti deyarli o'zgarishsiz - 0,77 dan 0,75 gacha - qoladi. Aynan shu holat chastotali boshqaruvni zadvijka bilan bo'g'ish usulidan tubdan ustun qiladi: bo'g'ishda ortiqcha napor foydasiz gidravlik qarshilikda so'nadi va nasos o'z tavsifnomasi bo'ylab past unumdorlik tomonga siljib, foydali ish koeffitsiyentini yo'qotadi.

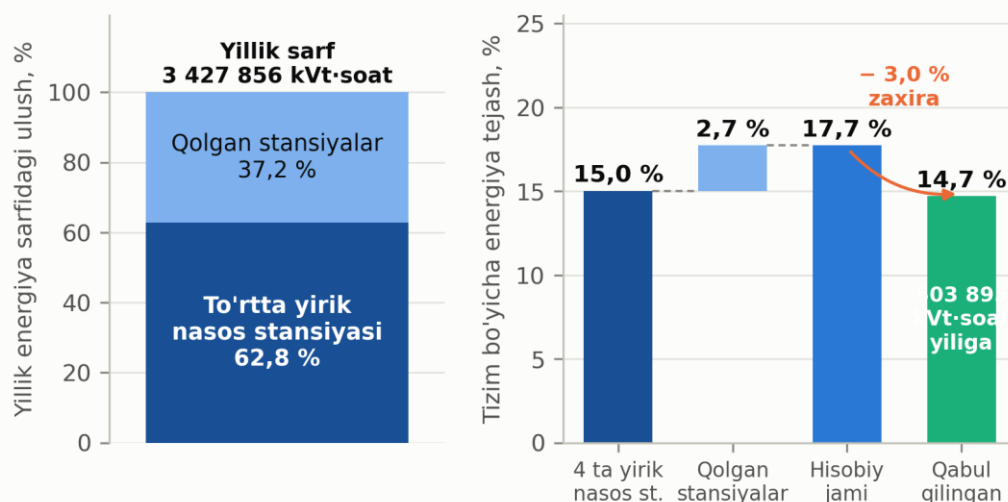
Shuni ta'kidlash lozimki, chastotani 0,90 dan pastga tushirish maqsadga muvofiq emas: birinchidan, napor statik naporga (25 m) yaqinlashib boradi va

unumdorlikning keskin pasayishi kuzatiladi; ikkinchidan, past chastotalarda dvigatelning sovishi yomonlashadi hamda chastota o'zgartkichning garmonik buzilishlari ortadi. Shu sababli amaliy ish oralig'i sifatida $s = 0,90-0,95$ tavsiya etiladi.

Tizim miqyosidagi energiya tejash. Bitta agregat uchun olingan natijani butun tizimga keltirish uchun stansiyalarning energiya iste'molidagi ulushi hisobga olindi. Chastotali boshqaruv joriy etilishi rejalashtirilgan to'rtta yirik nasos stansiyasi tizim energiya iste'molining 62,8 % ini tashkil etadi; ularda $s = 0,92$ rejimida 23,9 % tejash olinadi, bu tizim bo'yicha 15,0 % ni beradi. Qolgan stansiyalarda esa faqat uzatiladigan suv hajmining kamayishi hisobiga 7,3 % tejash yuzaga keladi, ya'ni tizim bo'yicha yana 2,7 %. Jami hisoblangan tejash 17,7 % ni tashkil etadi (1-rasm, 2-rasm).

Chastotali boshqaruvdan olinadigan energiya tejashning shakllanishi

Chapda — yillik energiya sarfining stansiyalar bo'yicha taqsimoti; o'ngda — tejash hissalarini (62,8 % $\times$ 23,9 % va 37,2 % $\times$ 7,3 %) hamda ehtiyotkorlik bilan qabul qilingan yakuniy qiymat

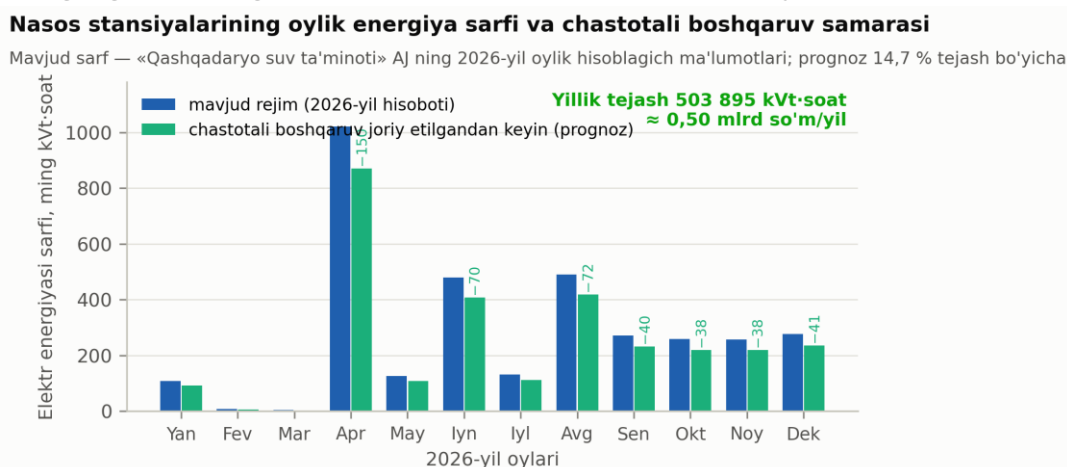


2-rasm. Chastotali boshqaruvdan olinadigan energiya tejashning shakllanishi: stansiyalarning energiya iste'molidagi ulushi va tejash hissalarini

Keyingi hisob-kitoblarda energiya tejash ko'rsatkichi 14,7 % darajasida, ya'ni pasport tavsiflari bo'yicha olingan qiymatdan 3,0 % ga pastroq qabul qilindi. Bunday ehtiyotkor yondashuv ikki sababga asoslanadi. Birinchidan, barcha stansiyalarni bir vaqtda $s = 0,92$ rejimiga o'tkazish amalda mumkin emas - joriy etish bosqichma-bosqich amalga oshiriladi. Ikkinchidan, iste'molning sutkalik notekisligi tufayli maksimal iste'mol soatlarida chastotani kamaytirish imkoniyati cheklangan: bu soatlarda nasos nominal rejimga yaqin ishlashi kerak. Shunday qilib, pasport ma'lumotlari asosidagi mustaqil hisob qabul qilingan tejash ko'rsatkichining asossiz oshirilmaganini, aksincha zaxira bilan belgilanganini tasdiqlaydi.

Oylik dinamika va iqtisodiy baho. Korxona hisoboti bo'yicha nasos stansiyalarining yillik elektr energiyasi sarfi 3 427 856 kVt·soatni, unga sarflangan mablag' esa 3 314,0 mln so'mni tashkil etadi. 14,7 % tejash yillik hisobda 503,9

ming kVt·soatga yoki amaldagi 1 000 soʻm/kVt·soat tarifi boʻyicha 0,50 mlrd soʻmga teng boʻladi (3-rasm). Solishtirish uchun: bu mablagʻ oʻrtacha quvvati 75 kVt boʻlgan yangi nasos agregatlarining oʻnlab donasini sotib olish uchun yetarli.



3-rasm. Nasos stansiyalarining oylik energiya sarfi va chastotali boshqaruv joriy etilgandan keyingi prognoz

3-rasmdan yana bir muhim jihat koʻrinadi: oylik sarfning oʻzgaruvchanlik koeffitsiyenti 98 % ni tashkil etadi, yaʼni oylar boʻyicha qayd etilgan sarf texnologik jihatdan izohlab boʻlmaydigan darajada keskin farq qiladi. Xususan, fevral va mart oylarida qayd etilgan sarf (mos ravishda 6 661 va 3 182 kVt·soat) real ehtiyojdan oʻnlab barobar kam, aprel oyidagi 1 021 076 kVt·soat esa yillik sarfning 29,8 % ini bir oyda qamrab oladi. Bu hisob-oʻlchov va hisobot tizimidagi uzilishlarni koʻrsatadi: ayrim oylarning sarfi keyingi oyga oʻtkazib yozilgan. Shu bois chastotali boshqaruvni joriy etish bilan bir vaqtda nasos stansiyalarida energiya hisobini avtomatlashtirish - telemetriya va SCADA tizimlarini oʻrnatish - zarur, aks holda erishilgan tejashni hujjatlashtirib boʻlmaydi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar xalqaro amaliyot bilan yaxshi mos keladi. A. Marchi, A. Simpson va N. Ertugrul tomonidan oʻtkazilgan tadqiqotda oʻzgaruvchan tezlikli nasoslarning samaradorligi tahlil qilinib, tezlikni kamaytirishda umumiy foydali ish koeffitsiyentining saqlanib qolishi shart ekanligi koʻrsatilgan [8]. C.X. Briceño-León va hammualliflar turli boshqaruv strategiyalarini taqqoslab, statik napor yuqori boʻlgan tizimlarda chastotali boshqaruvning samarasi kamayishini aniqlaganlar [9]. Bizning holatda statik napor 25 m ni, yaʼni nominal napor (50 m) ning yarmini tashkil etadi; aynan shu sababli tejash sof kubik qoidadan ($s = 0,92$ uchun 22,1 %) biroz yuqori (23,9 %) chiqdi, chunki chastota kamayganda unumdorlik ham kamayadi va quvvat ikki omil hisobiga pasayadi.

Shu bilan birga, chastotali boshqaruvning eng katta samarasi u bosim rejimini boshqarish bilan birgalikda qoʻllanilganda olinadi. Ortiqcha bosim nafaqat energiya

isrofiga, balki suv yo'qotishlarining ortishiga ham olib keladi: bosim va oqib chiqishlar orasidagi bog'liqlik FAVAD kontseptsiyasi bo'yicha darajali funksiya bilan ifodalanadi va Qarshi shahri tarmog'i uchun eksperimental aniqlangan N_1 ko'rsatkichi 1,205 ga teng [13, 14]. Demak bosimni 20 % ga pasaytirish suv yo'qotishlarini 24 % ga kamaytiradi. Nasos chastotasini kamaytirish esa aynan shu bosim pasayishini keltirib chiqaradi, ya'ni bitta tadbir bir vaqtning o'zida ikki turdagi yo'qotishni kamaytiradi [15].

Tadqiqotning cheklovlari sifatida quyidagilarni qayd etish lozim. Birinchidan, hisob barqaror gidravlik rejim uchun bajarilgan; o'tkinchi jarayonlar va gidravlik zarba modellashtirilmagan. Ikkinchidan, nasos tavsifnomasi ikki nuqta bo'yicha approksimatsiya qilingan - to'liq zavod tavsifnomasi mavjud bo'lganda aniqlik ortadi. Uchinchidan, chastota o'zgartkichning o'z yo'qotishlari (odatda 2-4 %) hisobga olinmagan; ular hisobga olinsa, sof tejash bir necha foizga kamayadi, biroq bu qabul qilingan 3,0 % zaxira doirasida qoladi.

XULOSALAR

1. Qarshi shahri suv ta'minoti tizimida 39 ta inshootda jami 164 ta nasos agregati mavjud bo'lib, ularning 95,1 % i soz holatda va katta qismi so'nggi uch yilda o'rnatilgan. Demak energiya isrofining asosiy sababi uskunaning eskirishi emas, balki uning boshqarilmaydigan ish rejimidir.

2. Eng ko'p tarqalgan NSC200-150-460 rusumli nasos uchun nasos va tizim tavsifnomalarining kesishishi bo'yicha aniqlangan ish nuqtasi tahlili shuni ko'rsatdiki, nisbiy aylanish chastotasini 8 % ga kamaytirish val quvvatini 23,9 % ga kamaytiradi, bunda nasosning foydali ish ko'effitsiyenti 0,77 dan 0,75 gacha, ya'ni atigi 2,6 % ga o'zgaradi.

3. Stansiyalarning energiya iste'molidagi ulushi hisobga olinganda tizim bo'yicha hisobiy tejash 17,7 % ni tashkil etadi. Bosqichma-bosqich joriy etish va iste'molning sutkalik notekisligi hisobga olinib, amaliy hisob-kitoblarga 14,7 % qiymati qabul qilindi; bu yillik hisobda 503,9 ming kVt·soat yoki 0,50 mlrd so'm tejashni beradi.

4. Chastotali boshqaruvni joriy etish nasos stansiyalarida energiya hisobini avtomatlashtirish bilan birga olib borilishi kerak: mavjud oylik hisobot ma'lumotlarining o'zgaruvchanlik ko'effitsiyenti 98 % ga teng bo'lib, bunday ma'lumotlar asosida erishilgan tejashni ishonchli hujjatlashtirib bo'lmaydi.

5. Chastotali boshqaruv bosim zonalarini boshqarish bilan birgalikda qo'llanilganda eng katta samara beradi, chunki bitta tadbir bir vaqtning o'zida energiya sarfini va bosimga bog'liq suv yo'qotishlarini kamaytiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Plappally A.K., Lienhard V J.H. Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2012. - Vol. 16, No. 7. - P. 4818-4848. - DOI: 10.1016/j.rser.2012.05.022
2. Nogueira Vilanova M.R., Perrella Balestieri J.A. Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2014. - Vol. 30. - P. 701-714. - DOI: 10.1016/j.rser.2013.11.024
3. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 24-maydagi PQ-257-son qarori «Aholining ichimlik suv ta‘minoti va oqova suv xizmatlari bilan ta‘minlanganlik darajasini oshirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida». - <https://lex.uz/uz/docs/-6033201>
4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 24-oktabrdagi PQ-343-son qarori «Ichimlik suv ta‘minoti va oqova suv tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida». - <https://lex.uz/uz/docs/-6648585>
5. QMQ 2.04.02-19. Suv ta‘minoti. Tashqi tarmoqlar va inshootlar. - Toshkent: O‘zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi, 2019.
6. Coelho B., Andrade-Campos A. Efficiency achievement in water supply systems - a review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2014. - Vol. 30. - P. 59-84. - DOI: 10.1016/j.rser.2013.09.010
7. Arun Shankar V.K., Umashankar S., Paramasivam S., Hanigovszki N. A comprehensive review on energy efficiency enhancement initiatives in centrifugal pumping system // Applied Energy. - 2016. - Vol. 181. - P. 495-513. - DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.08.070
8. Marchi A., Simpson A.R., Ertugrul N. Assessing variable speed pump efficiency in water distribution systems // Drinking Water Engineering and Science. - 2012. - Vol. 5. - P. 15-21. - DOI: 10.5194/dwes-5-15-2012
9. Briceño-León C.X., Iglesias-Rey P.L., Martinez-Solano F.J., Mora-Melia D., Fuertes-Miquel V.S. Use of fixed and variable speed pumps in water distribution networks with different control strategies // Water. - 2021. - Vol. 13, No. 4. - Art. 479. - DOI: 10.3390/w13040479
10. Ormsbee L.E., Lansey K.E. Optimal control of water supply pumping systems // Journal of Water Resources Planning and Management. - 1994. - Vol. 120, No. 2. - P. 237-252.
11. Rossman L., Woo H., Tryby M., Shang F., Janke R., Haxton T. EPANET 2.2 User Manual. EPA/600/R-20/133. - Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2020.

12. Klise K.A., Bynum M., Moriarty D., Murray R. A software framework for assessing the resilience of drinking water systems to disasters with an example earthquake case study // Environmental Modelling & Software. - 2017. - Vol. 95. - P. 420-431. - DOI: 10.1016/j.envsoft.2017.06.022
13. van Zyl J.E., Cassa A.M. Modeling elastically deforming leaks in water distribution pipes // Journal of Hydraulic Engineering. - 2014. - Vol. 140, No. 2. - P. 182-189. - DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000813
14. Rakhimov A.R., Murodullayev J.R. Pressure-dependent leakage modelling and district-metered-area zoning for non-revenue water reduction in aging water distribution networks: a FAVAD/N₁ framework // American Journal of Technology Advancement. - 2026. - Vol. 3, No. 5. - P. 135-144.
15. Colombo A.F., Karney B.W. Energy and costs of leaky pipes: toward a comprehensive picture // Journal of Water Resources Planning and Management. - 2002. - Vol. 128, No. 6. - P. 441-450.