

UO‘K: 532.595.2:532.529

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2025-4.11>

NASOS STANSIYASINI ISHGA TUSHIRISHDA GIDRAVLIK ZARBA

Jonqobilov Sobir Ulug‘murodovich - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori, dotsent,
ORCID: 0000-0002-0619-936X, E-mail: jonkobilovsobir@gmail.com

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ish harakatlanuvchi massalarning past inersiyasiga ega avtomatlashtirilgan stansiyalarda nasoslarni ishga tushirish paytida gidravlik zarbani o‘rganishga va bosim quvurini to‘ldirishda energiya yo‘qotishlarini hisobga olishga bag‘ishlangan.*

Maqolada nasos stansiyalarini ishga tushirish paytida zarba bosimini o‘rganishga bag‘ishlangan ishlar tahlili keltirilgan.

Maqolada nasos stansiyalarini ishga tushirish paytida maksimal zarba bosimining nazariy tadqiqoti keltirilgan bo‘lib, u nasos stansiyalari va ularning asosiy inshootlarining optimal texnik parametrlarini aniqlash imkonini beradi.

Maqolada bosim quvuri uzunligi bo‘ylab energiya yo‘qotilishini hisobga olgan holda nasos stansiyalarini ishga tushirishda maksimal zarba bosimini hisoblash formulasi keltirilgan. Bu bosim tizimining ishonchliligini oshiradi va nasos stansiyalari va ularning inshootlarini loyihalashda resurslarni tejashni ta‘minlaydi.

Bosim quvurining boshida ochiq klapan o‘rnatilgan nasosni ishga tushirishda maksimal zarba bosimini aniqlash uchun grafikoanalitik usul taklif qilingan.

Analitik tadqiqotlar natijalari stansiyalarning asosiy nasoslarini ishga tushirish paytida suv zarbasi bo‘yicha eksperimental ma‘lumotlar bilan taqqoslandi. Shu bilan birga, gidravlik zarbaga bog‘liqlik taklif qilinganidan foydalangan holda bosim quvurlarini hisoblash natijalari va eksperimental ma‘lumotlar o‘rtasida ishonchli natijaga erishildi.

Kalit so‘zlar: *gidravlik zarba, zarba bosimi, suv massasining inersiyasi, to‘g‘ri gidravlik zarba, past inersiyali nasos, quvur liniyasining zarba xarakteristikasi, nasos bosimi xarakteristikasi.*

УДК: 532.595.2:532.529

ГИДРОУДАР ПРИ ПУСКЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Жонкобилов Собир Улугмуродович - доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. *Работа посвящена изучению гидроудара при пуске насосов в автоматизированных станциях с малой инерцией движущихся масс и с учетом потерь энергии при заполнении напорного трубопровода.*

В статье приведены анализ работ, посвященных к исследованию ударного давления при пуске насосных станций, изложено теоретическое исследование максимального напора удара при пуске насосных станций, который обеспечивает точную оценку оптимальных технических параметров насосных станций и их основных сооружений.

В работе приведен формула для расчета максимального напора удара при пуске насосных станций с учетом потери энергии по длине напорного трубопровода, она повышает надежность напорной системы и обеспечивает ресурсосбережение при проектировании насосных станций и их сооружений.

Предложен графоаналитический способ определения максимального напора удара при пуске насоса с открытой задвижкой установленного в начале напорного трубопровода.

Результаты аналитических исследований сопоставлены с опытными данными гидроудара при пуске основных насосов станций. При этом получено надежное совпадение

результатов расчетов напорных трубопроводов по предлагаемой зависимости на гидравлический удар с опытными данными.

Ключевые слова: гидроудар, ударный напор, инерция массы воды, прямой гидроудар, насос с малой инерцией, ударная характеристика трубопровода, напорная характеристика насоса.

UDC: 532.595.2:532.529

WATER HAMMER WHEN STARTING A PUMPING STATION

Jonkobilov, Sobir Ulugmurodovich - Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD),
Associate Professor

Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. *The work is devoted to the study of water hammer during the start-up of pumps in automated stations with low inertia of moving masses and taking into account energy losses during filling of the pressure pipeline.*

The article presents an analysis of works devoted to the study of shock pressure during the start-up of pumping stations.

The paper presents a theoretical study of the maximum impact pressure during the start-up of pumping stations, which provides an accurate assessment of the optimal technical parameters of pumping stations and their main structures.

The paper presents a formula for calculating the maximum impact pressure when starting pumping stations, taking into account energy loss along the length of the pressure pipeline. It increases the reliability of the pressure system and ensures resource conservation in the design of pumping stations and their structures.

A graphical analytical method is proposed for determining the maximum impact pressure when starting a pump with an open valve installed at the beginning of a pressure pipeline.

The analytical results were compared with experimental data on water hammer during start-up of the main pumps at the stations. Reliable agreement was achieved between the results of pressure pipeline calculations using the proposed water hammer dependence and the experimental data.

Keywords: *hydraulic shock, impact pressure, inertia of the water mass, direct hydraulic shock, low inertia pump, pipeline impact characteristic, pressure characteristic of the pump.*

Kirish

Quvurlarda gidravlik zarbaning klassik nazariyasi mashhur rus olimi N. Ye. Jukovskiy tomonidan ishlab chiqilgan [1]. Keyinchalik bu nazariya Alliyevi [2], M. A. Mostkov [3], A. A. Surin [4], L. F. Moshnin [5], I. A. Charniy [6], D. N. Smirnov [11] va boshqa ko'plab olimlarning ilmiy ishlari orqali rivojlantirilgan va to'ldirilgan.

Gidravlik zarba ko'p yillar davomida o'rganilgan bo'lsa ham, gidromexanikaning ushbu sohasida hali ham chuqurroq tadqiqotlarni talab qiladigan savollar mavjud [8, 9]. Avtomatlashtirilgan nasos stansiyalarida nasoslarni ishga tushirish bosimli quvurda joylashgan zatvor (qulfak) ochiq holda amalga oshiriladi [8, 9]. Bunday hollarda bosimli quvurlarda ko'pincha gidravlik zarbalar sodir bo'ladi. "Qo'ng'irtog" nasos stansiyasida (Qashqadaryo viloyati) o'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, bunday zarbalar ko'pincha agregatlarni to'xtatish paytida vujudga keladigan zarbalardan ham kuchliroq bo'ladi [8, 9]. Shu bilan birga, hozirgacha nasos agregatlarini ishga tushirish paytida yuzaga keladigan gidravlik zarbalar yetarlicha batafsil o'rganilmagan, chunki avval nasoslar zatvor yopiq holatda ishga tushirilardi, so'ngra u sekin-sekin ochilardi [7, 8, 9].

Hozirda avtomatlashtirilgan nasos stansiyalarida avtomatik boshqaruv uskunasini soddalashtirish va arzonlashtirish maqsadida nasoslarni ishga tushirish va to'xtatish, odatda, bosimli qulfak ochiq holatda amalga oshiriladi. O'tish jarayonlari ya'ni nasoslarni ishga tushirish va to'xtatish davrlarida - quvurlarda ko'pincha gidravlik zarbalar kuzatiladi, ular ma'lum sharoitlarda juda katta

miqdorga yetishi mumkin. Ilmiy adabiyotlarda quvurlardagi barcha jarohatlarning 80% dan ortig'i gidravlik zarbalarning vujudga keltirgan vayron qiluvchi ta'siriga bog'liq deb ko'rsatilgan [4, 10, 11]. Kuzatuvlarimizga ko'ra, bunday quvurlardagi suv oqib ketish hollari har yili ortib bormoqda.

Nasosni ishga tushirish ham, zatvorni boshqarish operatsiyalari kabi, gidravlik zarbaning ikki xil holatini keltirib chiqarishi mumkin. Agar nasos quvvati kichik bo'lsa, unda harakatdagi massalarning inersiyasi ham odatda kichik bo'ladi va shu sababli nasos juda qisqa vaqt ichida normal aylanish tezligiga hamda normal bosimga erishadi. Agar shu bilan birga quvurning uzunligi yetarlicha katta bo'lsa, nasosni tezlashish vaqti gidravlik zarbaning to'liq fazasidan qisqaroq bo'ladi. Shu sababli nasosni ishga tushirish paytida sodir bo'ladigan gidravlik zarba to'g'ri (yoki "to'g'ri zarba") holatiga mos keladi [4, 12, 13].

Materiallar va uslublar

Nasos stansiyasining "Qo'ng'irtog'" (Qashqadaryo viloyati) bosimli quvuridagi gidravlik zarbani tajribaviy tekshirish hamda taklif etilgan hisoblash metodikasini tekshirish maqsadida maxsus tadqiqotlar o'tkazildi. Bu tadqiqotlarni amalga oshirish metodikasi [8, 9] ishlarida bayon qilingan. Nasos stansiyasi 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. Qashqadaryo viloyati "Qo'ng'irtog'" nasos stansiyasi.

Tajribaviy o'rganish "Qo'ng'irtog'" nasos stansiyasida (Qashqadaryo viloyati) nasosni ishga tushirish paytida zarba bosimini o'lchash orqali amalga oshirildi. Bosimli quvurning diametri $D_y=200$ mm, uzunligi esa $Z=2200$ m ni tashkil etadi. Nasos stansiyasining suv manbai - "Pistali" kanali hisoblanadi. Ishlatilgan nasosning markasi - D500-65. Nasosning suv berish ko'rsatkichi nasosning ishchi xarakteristikasiga asoslanib aniqlangan bo'lib, bu xarakteristika nasosning pasportida keltirilgan [8, 9].

Statik va zarba bosimlarini yozib olish uchun quyidagi asboblardan va apparatlar qo'llanilgan [8, 9]:

1. Bosimning birlamchi membranali o'zgartirgichi (sensori). Ishlab chiqaruvchi: DFROBOT (Xitoy).

2. Maxsus ishlab chiqilgan aqlli bosim sensori (ikkilamchi o'zgartirgich) (Kalibrlov protokoli. Protokol raqami: UZ-14/---2021. O'zbekiston Milliy metrologiya instituti. "Suyuq va gaz oqimini hamda bosimini o'lchash" laboratoriyasi) [8, 9]. Gidrodinamik bosimning zarba paytidagi o'zgarish haqida aqlli o'zgartirgichdan (IBD-1) kelgan signal bevosita portativ kompyuterga uzatiladi [8, 9].

Zarbadan oldingi boshlang'ich bosim 1-klasli aniqlikdagi namuna sifatida qabul qilingan manometrlar yordamida aniqlangan.

Gidravlik zarba paytidagi bosimlarni yozib olish uchun aqlli bosim sensori (ikkilamchi o'zgartirgich) qo'llanilgan [8, 9].

Bosim sensorining ishlash prinsipi bosim o'zgarishiga bog'liq ravishda induktivlik tizimining induktivligi o'zgarishiga asoslangan. Sensorning bosimni qabul qiluvchi membranasini induktiv tizimning yakor qismi sifatida xizmat qiladi. Shu bilan birga, bosim sensori ikkita o'ramga ega: ishchi (asosiy) va kompensatsiya qiluvchi (to'ldiruvchi) o'ramlar, ular bevosita IBD-1 (aqlli bosim sensori) tarkibiga kiritilgan [8, 9]. Sensor bosim bo'yicha ko'p marta ortiqcha yuklamaga chidamli hisoblanadi.

IBD-1 kuchaytirgich-o'zgartirgichni o'z ichiga olgan bo'lib, ikki kanalli asbobdir va bosim sensori bilan birga turli pnevmatik va gidravlik tizimlarda tez o'zgaruvchan bosimlarni o'lchash uchun mo'ljallangan [8, 9].

Zarba paytida olingan gidrodinamik bosimlar diagrammalarini hisobga olish tarirovka grafiklar asosida amalga oshirilgan. Bosim sensorlarining tarirovkasi O'zstandart Respublika Birlashmasining tajriba stendida bosimni oshirish va bosimni kamaytirish usullaridan foydalanib, statik usulda o'tkazilgan [8, 9].

Bosim sensorining o'lchash xatosi 0,5-1,0% ni tashkil qiladi [8, 9].

Bosim sensoridan kelgan signal IBD-1 tomonidan kuchaytirilib va o'zgartirilib, so'ngra kompyuterga uzatilgan [8, 9]. Tajriba davomida o'rnatilgan (ustuvor) va o'rnatilmagan (o'tish) rejimlarning parametrlari kompyuterga yozib borilgan. O'rnatilgan harakat (doimiy rejim) paytidagi bosim - 1,5 MPa bosimga mo'ljallangan, aniqlik klassi 0,15 bo'lgan MO-1227 markali namuna manometrlari yordamida o'lchanadi [8, 9].

Bosimni o'lchashdagi aniqlik bunda $\pm 0,15\%$ ni tashkil qiladi.

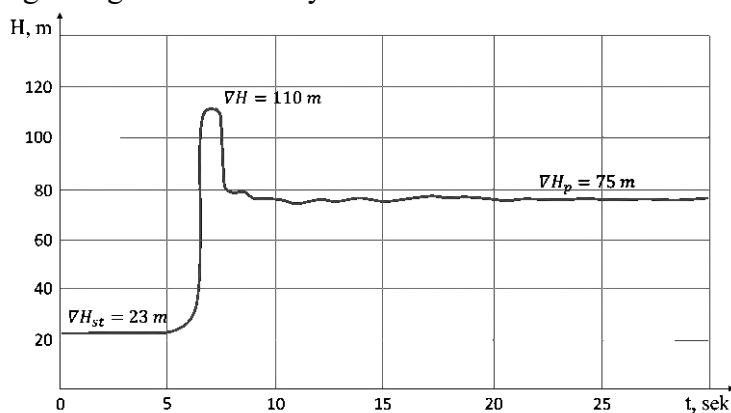
$$\Delta P = 0,015 \cdot 1,5 = 0,00225 \text{ MPa} = 2,25 \text{ kPa}.$$

Bosimli quvurdagi boshlang'ich bosim 0,1 - 0,6 MPa oralig'ida o'zgarib turdi. Ushbu bosim diapazoniga mos keladigan nisbiy o'lchash xatosi 0,375 - 2,25% ni tashkil qiladi.

Tadqiqot natijalari

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida "Qo'ng'irtog'" nasos stansiyasida (Qashqadaryo viloyati) nasosni ishga tushirish paytida gidravlik zarbaning bosim diagrammasi olingan bo'lib, u IBD-1 bosim indikatori yordamida qayd etilgan [8, 9] (2-rasm).

Yetarlicha kuchli nasos agregatlari harakatlanuvchi qismlarning katta inersiyasiga ega va shuning uchun tezlikni nisbatan sekin oshiradi; agar bundan tashqari, bosim quvurining uzunligi kichik bo'lsa, unda nasos $t = \frac{2l}{a}$ dan keyin rezervuardan aks etgan bosim pasayishi to'liqlari unga yaqinlashguncha to'liq bosim hosil qilishga ulgurmasligi mumkin. Bunday holda, bilvosita zarbaga o'xshash, ishga tushirilganda gidravlik zarba yumshatiladi.



2-rasm. "Qo'ng'irtog'" nasos stansiyasida (Qashqadaryo viloyati) nasosni ishga tushirish paytida sodir bo'ladigan gidravlik zarba diagrammasi.

Suv ta'minot tizimlarida asosan harakatdagi massalarning kichik inersiyasiga ega bo'lgan, past quvvatli nasoslar (50-100 kW gacha) qo'llaniladi, hamda bosimli quvurlar uzunligi ko'pincha 2-4 km

gacha yetadi. Shu sababli nasosni ishga tushirish paytida gidravlik zarbalar sezilarli darajada namoyon bo'ladi [10, 11, 12].

Bunday nasosni ishga tushirishda gidravlik zarba hodisasi quyidagicha kechadi. Statik bosim yengilgandan so'ng teskari klapan ochiladi va suv nasosdan quvurga oqib kirishni boshlaydi. Biroq, suvning o'z inersiyasi tufayli darhol odatiy barqaror oqim o'rnatilmaydi chunki suv ma'lum darajada qisman yopilgan qulfak tomon harakat qiladi. Shu sababli quvurdagi bosim ishchi bosimdan yuqori, lekin nasosning ishchi xarakteristikasiga ko'ra rivojlantira oladigan maksimal bosimdan esa past darajada ko'tariladi. Aynan shu bosimning H miqdoriga ko'tarilishi nasosni ishga tushirish jarayonida gidravlik zarba deb ataladi. Bosim H ostida dastlab quvurning shu so'nggi bosim ortishidan so'ng suvning siqilishi va quvur devorlarining kengayishi natijasida hosil bo'ladigan bo'sh (yoki elastik) hajm ya'ni "erkin sig'im" to'ldiriladi. Boshqacha qilib aytganda, bu bosim ko'tarilganda suvning siqilishi va quvur kesimining kengayishi tufayli paydo bo'ladigan qo'shimcha hajmdir. Ortiqcha bosim, shuningdek, suyuqlikning siqilishi hamda quvur devorlarining elastik deformatsiyasi bilan birga, gidravlik to'lqin tezligi a bilan butun quvur bo'ylab tarqaladi [13, 14, 15, 16]. Bu ortiqcha bosim quvurning oxiridagi rezervuardan aks etib, yo'q qilinadi. So'ngra bosim pasayishi hamda normal oqim sharoiti a tezlik bilan nasosga qarab tarqalib, quvurda ishchi bosim va odatiy oqim tezligi o'rnatiladi [17, 18, 19, 20, 21].

Nasosni ishga tushirish paytidagi gidravlik zarba bilan S. P. Sukach [10] shug'ullangan. U tajribalar yordamida birinchi bo'lib shuni isbotladiki, nasosni ishga tushirishda vujudga keladigan gidravlik zarba miqdori nasosning xarakteristikasiga muvofiq, suvni juda oz miqdorda berish rejimida rivojlantirishi mumkin bo'lgan maksimal bosimdan oshmaydi. Shu bilan birga, S. P. Sukach nasosni ishga tushirishdagi gidravlik zarbaning aniq miqdorini aniqlamagan.

D. N. Smirnov [11] harakatdagi massalarning katta inersiyasiga ega bo'lgan nasoslarni ishga tushirish paytidagi gidravlik zarba jarayoniga nazariy izoh berdi. Aynan shu turdagi nasoslar uchun u yaqinlashgan (taqribiy) hisoblash usulini taklif qildi. Biroq, aynan kuchli (quvvatli) nasoslarni ishga tushirishda sezilarli gidravlik zarbalar aslida kuzatilmaydi.

Prof. A. A. Surin [4] kichik inersiyali nasoslar uchun ishga tushirish paytidagi gidravlik zarbani hisoblashning usulini taklif qildi va bu usul empirik koeffitsiyentlarga asoslangan. Biroq, hozirgacha ushbu koeffitsiyentlarning haqiqiy (real) qiymatlarini aniqlash mumkin bo'lmadi.

Muallif harakatdagi massalarning kichik inersiyasiga ega bo'lgan nasoslarni ishga tushirish paytidagi zarba bosimini aniqlash uchun grafoanalitik usulni taklif qilgan bo'lib, bu usul quvurning elastik sig'imini to'ldirish jarayonidagi bosim yo'qotishlarini ham hisobga oladi.

Boshlang'ich tenglamalar sifatida nasosning ($q-H_m$) xarakteristikasi (bunda H_m - nasosning manometrik napori) hamda energiya yo'qotishlarini hisobga olgan asosiy gidravlik zarba tenglamasi qabul qilinadi. Ushbu tenglamalarni grafik tarzda qurishda ularning kesishish nuqtasi nasosni ishga tushirish paytidagi ehtimoliy zarba bosimini ko'rsatadi.

Ba'zi qiyinchiliklarga sabab bo'ladigan omil shundaki, nasoslar kataloglarida keltirilgan xarakteristikalar H (nasosning to'liq napori) vakuummetrik so'rilish balandligi ham hisobga olingan holda berilgan. Hisoblash uchun katalogdagi $q-H$ egri chizigining barcha ordinatalarini katalogda ham keltirilgan ruxsat etilgan vakuummetrik so'rilish balandligi H_{vak} miqdoriga kamaytirish orqali yaqinlashgan $q-H_m$ xarakteristikasini qurish mumkin. Yoki shartli ravishda $H_m \approx H$ deb qabul qilish ham mumkin, chunki ko'pincha $H_m \gg H_{vak}$. Ikkala usul ham yaqinlashgan hisoblanadi, lekin ularning qo'llanilishi hisoblashda katta xatoliklarga olib kelmaydi.

Quvurning zarba xarakteristikasini, yo'qotishlarni ham hisobga olgan holda, chiqarish uchun 3-rasmda keltirilgan sxemani ko'rib chiqamiz.

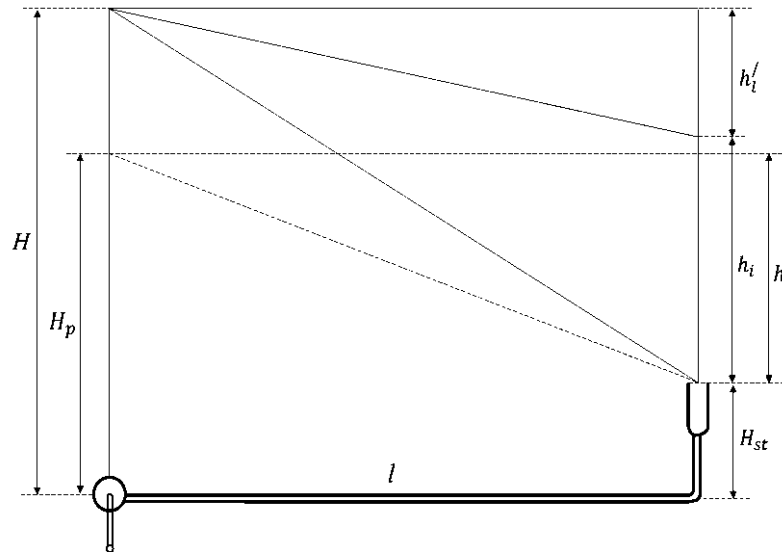
Nasosni ishga tushirishda suv massasining inersiyasi tufayli nasos yaqinidagi quvurda zarba bosimi H vujudga keladi. Bu bosim quyidagilarga sarflanadi:

- statik bosimni H_{st} yengishga,

- inersiya naporiga H_{in} ,
- hamda quvurning elastik sig'imini o'zgaruvchan tezlik ϑ bilan to'ldirish jarayonidagi naporni yo'qotishlarga $h_{yo'q}$.

Gidravlika kursidan ma'lumki, bu jarayon quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$H = H_{CT} + h_i + h_l \quad (1)$$



3-rasm. Nasosni ishga tushirish paytidagi gidravlik zarbani tushuntiruvchi sxema.

$$h_i \approx \frac{l d \vartheta}{g dt}, \quad (2)$$

$$h_l' = \lambda \frac{l \vartheta^2}{d 2g} = \zeta \frac{\vartheta^2}{2g}, \quad (3)$$

bu yerda ζ - tizimning gidravlik qarshilik koeffitsiyentidir.

U holda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$H = H_{CT} + \frac{l d \vartheta}{g dt} + \zeta \frac{\vartheta^2}{2g}. \quad (4)$$

Bundan

$$dt = \frac{l d \vartheta}{g(H - H_{CT} - \zeta \frac{\vartheta^2}{2g})}. \quad (5)$$

Tenglama (5)ga uchta o'zgaruvchi kirgani uchun, quvurning elastik sig'imini to'ldirish jarayonida oqimning uzluksizligi tenglamasidan ham foydalanamiz:

$$dW = \vartheta \omega dt \quad (6)$$

bu yerda dW - nasos tomonidan dt vaqt davomida quvurga berilgan suvning elementar hajmi; ω - quvur kesimining yuzi.

Quyidagini yozish mumkin

$$dW = \frac{l \omega g}{a^2} dH. \quad (7)$$

yuqorida keltirilgan formula (7) ga o'xshash formulani D.N.Smirnov [11] ham keltirib chiqargan.

(6) va (7) formulalarning o'ng qismlarini tenglashtirib quyidagini hosil qilamiz

$$\frac{l g}{a^2} dH = \vartheta dt. \quad (8)$$

Oxirgi tenglamani (5) ifodaga qo'yib quyidagi ifodani olamiz

$$\frac{g^2 dH}{a^2} = \frac{\vartheta d \vartheta}{H - H_{CT} - \zeta \frac{\vartheta^2}{2g}}. \quad (9)$$

Differensial tenglama (9) bu bosimli tizimlarning elastik sig'imini to'ldirish jarayonida energiya yo'qotishlarini hisobga olgan holda gidravlik zarbaning asosiy tenglamasidir. Buni isbotlash

uchun energiya yo'qolishini nol ga teng deb olamiz, bunda $\zeta=0$ bo'lishini hisobga olib quyidagi ifodani yozamiz

$$\frac{g^2 dH}{a^2} = \frac{\vartheta d\vartheta}{H-H_{CT}}. \quad (10)$$

Oxirgi ifodadan quyidagini yozish mumkin

$$\vartheta d\vartheta = \frac{g^2}{a^2} (H - H_{CT}) dH,$$

oxirgi tenglamani integrallaymiz:

$$\int_0^{\vartheta_0} \vartheta d\vartheta = \frac{g^2}{a^2} \int_{H_{CT}}^H (H - H_{CT}) dH$$

$$\frac{\vartheta_0^2}{2} = \frac{g^2}{a^2} \left[\frac{H^2}{2} - H_{CT}H \right]_{H_{CT}}^H$$

yoki

$$\frac{\vartheta_0^2}{2} = \frac{g^2}{a^2} \left(\frac{H^2 - H_{CT}^2}{2} - H_{CT}H + H_{CT}^2 \right).$$

Oxirgi ifodadan quyidagini yozish mumkin

$$\frac{a^2 \vartheta_0^2}{g^2} = H^2 - H_{CT}^2 - 2H_{CT}H + 2H_{CT}^2 = (H - H_{CT})^2.$$

Binobarin

$$H = H_{CT} + \frac{a\vartheta_0}{g}. \quad (11)$$

Ya'ni, natijada N. Ye. Jukovskiy formulasi hosil bo'ladi, bu formulada bosimli quvurdagi energiya yo'qotishlari hisobga olinmaydi.

Ajratib bo'lmaydigan o'zgaruvchilarga ega (9) differentsial tenglama odatda chiziqli emas, chunki $\zeta=f(\vartheta)$; shuning uchun uni integratsiyalash jiddiy qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi. Agar biz quvur liniyasining elastik sig'imini to'ldirish kvadrat qarshilik mintaqasida turbulent rejimda sodir bo'ladi deb faraz qilsak, odatda haqiqatda bo'lgani kabi, u holda λ va ζ koeffitsiyentlari ϑ tezlikka bog'liq emas va keyin (9) tenglamani D. Bernulli differentsial tenglamasi ko'rinishiga keltirish mumkin:

$$\frac{d\vartheta}{dH} + \zeta \frac{\vartheta g}{2a^2} = \frac{g^2(H-H_{CT})}{a^2} \vartheta^{-1}. \quad (12)$$

Oxirgi tenglama matematikada ma'lum bo'lgan usullar yordamida osongina integrallanadi.

Integratsiya natijasida quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2g}{\zeta} \left(H - \frac{a^2}{g\zeta} - H_{CT} \right) + \frac{2a^2}{\zeta^2 \exp\left[\zeta \frac{d}{a^2}(H-H_{CT})\right]}} \quad (13)$$

Taklif qilingan texnikaning qo'llanilishi quyidagi misolda batafsil tushuntirilgan.

Misol. Qo'ngirtog nasos stansiyasida D500-65 ishlaydigan nasos o'rnatilgan; $N=92$ kVt; $n=1000$ ayl/min. Bu nasos $l=2200$ m uzunlikdagi bosimli quvur orqali bosim havzasiga $q=430$ m³/soat oqim tezligida suv yetkazib beradi.

Bosim liniyasining diametri $d = 200$ mm. Bosim liniyasining ko'ndalang kesim maydoni $\omega=0,134$ m² ga teng. Zarba to'lqinining tarqalish tezligi, $a=1030$ m/s. Bu tezlik chiqarish quvuridan havoni samarali ravishda chiqarib tashlash, bosim tizimida past suv tezligida gidravlik zarbalarni yaratish orqali erishiladi. Statik bosim $H_{st}=45$ m, ish bosimi $H_h=85$ m. Nasosning xarakteristikasi 4-rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda so'rish ko'tarilishi hisobga olinmaydi.

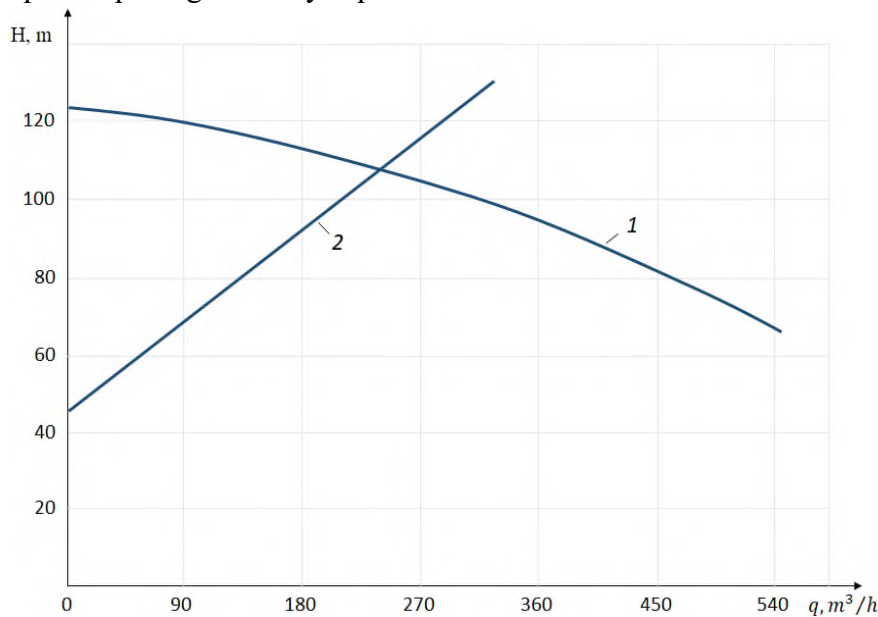
Hisoblashda biz bosim tizimlarining elastik sig'imini to'ldirish kvadrat qarshilik mintaqasida turbulent rejimda sodir bo'ladi deb taxmin qilamiz, keyin Darsi formulasiga muvofiq

$$h_0 = \zeta \frac{g^2}{2g},$$

yuqorida keltirilgan ifodadan yozish mumkin

$$\zeta = \frac{2gh_0}{g_0^2},$$

bu yerda h_0 - barqaror oqimdagi bosim yo'qotilishi: $h_0 = H_h - H_{st} = 85 - 45 = 40$ m.



1 - D500-36 nasosining xarakteristikasi; 2 - (13) formulaga muvofiq quvur liniyasining zarba xarakteristikasi.

4-rasm. Grafik-analitik usul yordamida nasosni ishga tushirishda zarba bosimini aniqlash.

$$g_0 = \frac{q}{3600\omega_{o\ddot{u}q}} = \frac{430}{3600 \cdot 0,134} \approx 0,89 \text{ m/сек},$$

bundan

$$\zeta = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 40}{0,892} \approx 1000.$$

ζ , a , H_{st} va d ning ma'lum qiymatlari (13) tenglamaga almashtiriladi, keyin u quyidagi shaklni oladi

$$g = \sqrt{0,0197(H - 153,3) + 2,12e^{-0,00924(H-45)}}. \quad (14)$$

H ning bir nechta qiymatlarini aniqlagandan so'ng, g tezligi (14) formula yordamida va keyin oqim tezligi $q = 3600\omega_{um}g$ yordamida hisoblanadi.

Hisob-kitoblar 1-jadvalda keltirilgan. 1-jadvaldagi ma'lumotlarga ko'ra, 2-egri chiziq 1-nasosning xususiyatlariga ega grafikda ko'rsatilgan (4-rasm). Shuni yodda tutish kerakki, $g=0$ da $H = H_{st} = 45$ m. Ushbu egri chiziqlarning kesishish nuqtasi $H=109$ m zarba bosimini ko'rsatadi. Haqiqiy o'lchovlarga ko'ra, u $H \approx 115$ m ga teng edi. Kichik farq, aftidan, nasos ishga tushirish jarayonida hisoblanganidan yuqori bo'lgan bir qator aylanishlarni amalga oshirganligi bilan izohlanadi.

Bu holda (12) formula o'rniga bosim yo'qotishlarini hisobga olmagan holda N. Ye. Jukovskiyning (11) formulasidan foydalanish ahamiyatsiz farqni beradi. Biroq, bu har doim ham shunday emas. $g_0 > 1,0$ m/s tezliklarda (11) va (12) formulalar yordamida olingan natijalar o'rtasidagi tafovut sezilarli bo'lishi mumkin.

1-jadval

Nasosni ishga tushirishda (14) formuladan foydalanib gidravlik zarba parametrlarini hisoblash

H, m	0,0197 ($H - 1533$)	-0,00924 ($H - 45$)	$2,12e^{-0,00924(H-13)}$	$\mathcal{S},$ m/sek	$q, m^3/soat$
180	-1,45	-0,322	1,53	0,280	134
100	-1,06	-0,509	1,26	0,445	212
130	-0,484	-0,786	0,96	0,675	324

Nasos ishga tushirilganda yuzaga keladigan gidravlik zarba nasos tomonidan ishlab chiqarilgan maksimal bosimdan oshmaydi. Shuning uchun, bunday zarbalar quvur liniyasi uchun hech qanday xavf tug'dirmaydi, deb noto'g'ri taxmin qilish mumkin. Biroq, sanoat nasoslarining xususiyatlarini o'rganish shuni ko'rsatadiki, keskin pasayadigan xususiyatlarga ega ko'plab nasoslar ishga tushirish paytida ish bosimidan sezilarli darajada yuqori bosim hosil qilishga qodir. Bu holat hisob-kitoblarda hisobga olinishi kerak. Bundan tashqari, avtomatlashtirilgan nasos stansiyalaridagi bosim quvurlarida tez-tez va sezilarli bosim tebranishlari bo'g'inlarning muhrlanishini buzadi va natijada suv oqib ketadi.

Xulosa

Yuqoridagilarga asoslanib, quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

1. Haqiqiy suyuqlikning o'rnatilmagan harakatini ifodalovchi differensial tenglamalarga nazariy yechim topilgandan so'ng, bosimli quvurning zarba xarakteristikasini hisoblash uchun, naporni yo'qotishlarni hisobga oluvchi bog'lanish (formula) olingan.
2. Nasosni ishga tushirish paytida bosimli quvurda gidravlik zarbadan hosil bo'ladigan zarba bosimini hisoblash uchun graf-analitik usul taklif qilingan.
3. Taklif qilingan bog'lanish bo'yicha olingan nazariy hisoblash natijalari nasos stansiyalarining asosiy nasoslari ishga tushirilganda o'lchanadigan zarba bosimlari bo'yicha tajribaviy ma'lumotlar bilan solishtirilgan. Natijada, taklif qilingan bog'lanish yordamida hisoblangan bosimli quvurlarning gidravlik zarba qiymatlari tajribaviy ma'lumotlar bilan ishonchli darajada mos kelishi aniqlangan.

Adabiyotlar

- [1] Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. М.-Л., Гос.изд.во техн.-теорет. лит-ры, 1949.-104 с.
- [2] Allievi L. Théorie du coup de bēlfer. Paris, Dunod, 1921, 210 p.
- [3] Мостков М.А., Башкиров А.А. Расчеты гидравлического удара. Госэнергоиздат, М.-Л., 1952. -200 с.
- [4] Сурин А.А. Гидравлический удар в водопроводах и борьба с ним. – М. – Л., Трансжелдориздат, 1946. – 371 с.
- [5] Мошнин Л.Ф., Тимофеева Е.Т. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. – М., Стройиздат, 1961, - 227 с.
- [6] Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. – М., Недра, 1975. – 296 с.
- [7] Alberto J., Conejero, Lizama C., Rodenas F. Dynamics of the solutions of the water hammer equations [J]. Journal of Topology and its Applications, 2016, (203): 67–83.
- [8] A. Arifjanov, U. Jonqobilov, S. Jonqobilov, Sh. Khushiev, J. Xusanova. The influence of hydraulic friction on the maximum pressure of water hammer. ICECAE 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012092, IOP Publishing, doi:10.1088/1755-1315/614/1/012092.

- [9] Arifjanov A.M., Jonkobolov U.U., Jonkobolov S.U., Bekjonov R.S. The Hydraulic Impact Wave Propagation Speyed Study in a Two-Phase Flow. International Journal for Innovative Engineering and Management Research Vol 09 Issue11, Nov 2020 ISSN 2456 – 5083 www.ijiemr.org Volume 09, Issue 11, Pages: 94-100.
- [10] Сукач П. Пуск центробежных насосов при открытой задвижке. «Водоснабжение и санитарная техника» № 10, 1956, стр.20-24,
- [11] Смирнов Д.Н. Пуск насосов при открытой задвижке на напорной линии. «Водоснабжение и санитарная техника» № 2, 1962, с.24-38.
- [12] Asli K.H., Naghiyev A.K. Some aspects of physical and numerical modeling of water hammer in pipelines, Nonlinear Dynam. 60 (4) (2010) 677-701.
- [13] Bergant, A., Tijsseling, A.S., Vitovsky, J.P., Covas, D.I.C., Simpson., A.R., Lambert, M.F., 2008a. Parameters affecting water hammer wave attenuation, shape and timing. Part 1: Mathematical tools. J. Hydraul. Res. 46 (3), 373–381.
- [14] Bertaglia G., Ioriatti, A. Valiani M., Dumbser M., Caleffi V., Numerical methods for hydraulic transients in visco-elastic pipes, J. Fluid Struct. 81(C) (2018) 230–254.
- [15] Besharat M., Tarinejad R., Aalami M.T., Ramos H. Study of a compressed air vessel for controlling the pressure surge in water networks: CFD and experimental analysis, Water Resour. Manag. 30 (8) (2016) 2687–2702.
- [16] Bojan Ivljanin, Vladimir D. Stevanovic, Aleksandar Gajic. Water hammer with non-equilibrium gas release. - International Journal of Pressure Vessels and Piping, 165 (2018) 229 – 240.
- [17] Daude F., Tijsseling A.S., Galon P., Numerical investigations of water-hammer with column-separation induced by vaporous cavitation using a one-dimensional Finite Volume approach, J. Fluid Struct. 83 (2018) 91–118.
- [18] Ghidaoui M.S., Zhao M., Duncan A.M., David H.A. A review of water-hammer theory and practice, Appl. Mech. Rev. 58 (2005) 49–76.
- [19] Guo L. L., Geng J., Shi S. et al. Computing research of the water hammer pressure in the process of the variable speed closure of valve based on UDF method [J]. Journal of Shandong University (Natural Edition), 2014, 49(3): 27-30.
- [20] Henclik S. Numerical modeling of water hammer with fluid-structure interaction in a pipeline with viscoelastic supports, J. Fluids Struct. 76 (2018) 469–487.
- [21] Triki A., Further investigation on water-hammer control inline strategy in watersupply systems, J. Water Supply Res. Technol. Aqua 67 (1) (2018) 30–43.