DOI: 10.65322/j.srd.06202026.51

UO‘K: 532.542:532.529

GIDRAVLIK ZARBA JARAYONIDA ERIGAN GAZNI HISOBGA OLGAN HOLDA VAKUUMNI HISOBLASH

Jonqobilov U.U., *DSc, professor,*
E-mail: ulugmurad@inbox.ru,
Qarshi davlat texnika universiteti

Annotatsiya. *Maqolada nasos stansiyalarining naporli quvurlarida oqim butunligi uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba paytida erigan gazning ajralib chiqishini hisobga olgan holda vakuumni aniqlash masalasi ko‘rib chiqilgan. Kichik geodezik naporlar (10-20 m) uchun nazariy hisoblash va tajribaviy kuzatishlar natijalari qiyoslangan. Taklif etilgan hisoblash yondashuvi natijalarining tajriba ma’lumotlari bilan qoniqarli mosligi qayd etilgan. Natijalar gidravlik zarbaning birinchi fazasida minimal bosimni baholashda erigan gazning ta’sirini inobatga olish zarurligini ko‘rsatadi. Taklif etilgan usul bo‘yicha hisobiy vakuum naporining tajribadan o‘rtacha absolyut farqi 0,26 m (o‘rtacha nisbiy xato 4,1 %), R.E. Trozyan formulasi bo‘yicha esa 0,44 m (5,9 %) ekani aniqlandi; ayrim tajribalarda farq 1,0 m gacha yetadi. Bu erigan gazni hisobga oluvchi metodikaning muhandislik hisoblari uchun yaroqliligini ko‘rsatadi.*

Аннотация. *Рассмотрено определение вакуума при гидравлическом ударе с разрывом сплошности потока в напорных трубопроводах насосных станций с учетом выделения растворенного газа. Для малых геодезических напоров (10-20 м) сопоставлены расчетные и опытные результаты. Отмечено удовлетворительное согласование расчетов с экспериментальными данными. Среднее абсолютное отклонение расчётного вакуумметрического напора от опытного составило 0,26 м (средняя относительная погрешность 4,1 %) для предложенного метода и 0,44 м (5,9 %) для формулы Р.Е. Трозяна; в отдельных опытах расхождение достигает 1,0 м. Это подтверждает пригодность методики, учитывающей растворённый газ, для инженерных расчётов.*

Abstract. *The study addresses vacuum calculation during water hammer accompanied by liquid-column separation in pumping-station pressure pipelines, considering the release of dissolved gas. Calculated and experimental results are compared for low geodetic heads (10-20 m). Satisfactory agreement between the proposed calculation approach and experimental observations is reported. The mean absolute deviation of the calculated vacuum head from the measured one was 0.26 m (mean relative error 4.1%) for the proposed method and 0.44 m (5.9%) for the R.E. Trozyan formula, with individual deviations of up to 1.0 m. This confirms the applicability of the method that accounts for dissolved gas to engineering calculations.*

Kalit so‘zlar: *nasos stansiyasi; gidravlik zarba; vakuum; naporli quvur; erigan gaz; oqim butunligining uzilishi.*

Ключевые слова: *насосная станция; гидравлический удар; вакуум; напорный трубопровод; растворенный газ; разрыв сплошности потока.*

Keywords: *pumping station; water hammer; vacuum; pressure pipeline; dissolved gas; liquid-column separation.*

Kirish. Nasos stansiyalarining naporli quvurlarida beqaror gidravlik jarayonlar nasos agregatlari ish rejimining o‘zgarishi, rostlovchi qismlarning harakati va elektr ta’minotining to‘satdan uzilishi natijasida yuzaga keladi. Bunday jarayonlarda bosimning keskin pasayishi, ayrim sharoitlarda esa oqim butunligining uzilishi kuzatilishi mumkin [1–5].

Oqim butunligi uzilganda quvurning xarakterli kesimlarida hosil bo‘ladigan minimal absolyut bosimni aniqlash quvur mustahkamligini va gidravlik zarbadan himoyalash shartlarini

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.51

baholash uchun muhimdir. Real suvda erigan gaz mavjudligi va bosim pasayganda uning ajralib chiqishi ushbu jarayonning fizik jihatiga ta'sir qiladi [1].

Tadqiqotning maqsadi – nasos stansiyasi naporli quvurida oqim butunligi uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarbaning birinchi fazasida erigan gaz ta'sirini hisobga olib vakuumni aniqlash hamda hisobiy natijalarni tajriba ma'lumotlari bilan taqqoslash.

Tadqiqotning asosiy vazifalari: manfiy gidravlik zarba paytida minimal absolyut bosimning fizik mohiyatini tavsiflash; erigan gaz ajralishini hisobga oladigan modelga qo'yiladigan talablarni aniqlash; taklif etilgan metodika natijalarini tajriba va R.E. Trozyan hisoblari bilan qiyoslash; mavjud grafik ma'lumotlarning ishonchlilik chegaralarini baholash.

Mavzuga oid adabiyotlar sharhi. Naporli quvurlarda gidravlik zarba masalalari va gaz-suyuqlik aralashmalaridagi beqaror jarayonlar [1] monografiyada ko'rib chiqilgan. Bosimning pasayishi bilan kechadigan gidravlik zarba R.E. Trozyan tomonidan o'rganilgan [6]. Vakuum qiymatiga bag'ishlangan tadqiqotlar orasida V.S. Dikarevskiy va A.E. Tatura ishlari ham alohida o'rin tutadi [4].

Adabiyotlarni qiyoslashda erigan gaz ajralishining minimal bosimga ta'siri alohida hisobga olinishi kerakligi ushbu ishning tadqiqot yo'nalishini belgilaydi.

N.E. Jukovskiy nazariyasi bosim impulsi va tezlik o'zgarishi orasidagi klassik bog'lanishni beradi; jarayonning umumiy nazariy asoslari A.L. Zuykovning gidravlika bo'yicha asarida [7] keltirilgan. Biroq oqim butunligi uzilganda faqat bir fazali suyuqlikni qabul qilish bosim minimumini tavsiflash uchun yetarli bo'lmasligi mumkin.

Mazkur manbalar asosida ilmiy masala quyidagicha qo'yiladi: geodezik napori 10-20 m bo'lgan quvurlarda birinchi manfiy fazadagi vakuumni baholashda erigan gazning ajralishini hisobga olish zarurati va bunday yondashuvning tajriba bilan mosligi tekshiriladi.

Tadqiqot metodologiyasi. ***Erigan gazni hisobga oluvchi to'lqin tezligi.*** Suvning hajmiy elastiklik moduli E_s, zichligi ρ, quvur diametri D, devor qalinligi e, devor materiali moduli E_q va mahkamlash sharoiti koeffitsiyenti *m* uchun quyidagi bog'lanishni keltirish mumkin:

$$a = \frac{\sqrt{E_j/\rho}}{\sqrt{1+m\frac{D}{e}\frac{E_j}{E_T}+K_p\frac{P_{atm}P_{kr}}{P^2}E_j}}, \quad (1)$$

bu yerda P_{kr} – erigan gaz ajralishi boshlanadigan kritik absolyut bosim, K_t – manbaga ko'ra tajribaviy aniqlanadigan koeffitsiyent. Bosim yetarlicha pasayganda gaz ta'siriga oid had ustun bo'lishi mumkin. [5] ga ko'ra quyidagi yaqinlashuvni keltirish mumkin:

$$a \approx \sqrt{\frac{E_j/\rho}{K_p\frac{P_{atm}P_{kr}}{P^2}E_j}}. \quad (2)$$

Tajriba natijalariga tayangan holda bosim intervali uchun A koeffitsiyentni kiritish mumkin:

$$K_p\frac{P_{atm}P_{kr}}{P^2}E_j \approx AE_j; \quad (3)$$

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho A}}. \quad (4)$$

Bosim intervallari bo'yicha tajribaviy parametrlar. I interval taxminan 0,75-0,52; II interval 0,52-0,35; III interval 0,35-0,20 ulushlarni qamrab oladi. Ular uchun A mos ravishda $4{,}3031\cdot10^{-5}$; $1{,}03878\cdot10^{-4}$; $3{,}64637\cdot10^{-4}$ va to'lqin tezligi mos ravishda 152,44; 98,1; 52,4 m/s ga teng [5]. Muhandislik ishlarida $a_I\approx150$, $a_{II}\approx100$, $a_{III}\approx50$ m/s qabul qilingan. $P<0{,}2\cdot98{,}1$ kPa bo'lganda $a_{IV}\leq25$ m/s deb qabul qilinadi [5].

Birinchi bosim intervali. Jukovskiy bo'yicha impuls munosabati asosida bosim va oqim tezligi o'zgarishi quyidagicha bog'lanadi [5]:

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.51

$$P_I - P_1^* = \rho a_I (v_I - v_{01}) \quad (5)$$

$$v_{01} = v_0 - \Delta v_1; \qquad \Delta v_1 = \frac{P_{0a} - P_{kr}}{\rho a_x} \quad (6)$$

$$a_x = \frac{\sqrt{E_j/\rho}}{\sqrt{1+\frac{D E_j}{e E_T}}}, \quad (7)$$

$$v_1^* = \frac{P_2^* - P_1^* + \rho a_I v_{01}}{\rho a_I} \quad (8)$$

$v_1^*<0$ bo‘lsa minimal bosim birinchi intervalda baholanadi; aks holda ikkinchi intervalga o‘tiladi.

$$P_{\min,1}^* = P_1^* - \rho a_I v_{01}^*. \quad (9)$$

Ikkinchi bosim intervali.

$$P_{II} - P_2^* = \rho a_{II} (v_{II} - v_1^*) \quad (10)$$

$$v_2^* = \frac{P_3^* - P_2^* + \rho a_{II} v_1^*}{\rho a_{II}} \quad (11)$$

$v_2^* \le 0$ shartida minimal bosim ikkinchi intervalda baholanadi; $v_2^* > 0$ bo‘lsa uchinchi intervalga o‘tiladi.

$$P_{\min,2} = P_2 - \rho a_{II} v_1. \quad (12)$$

Uchinchi bosim intervali.

$$P_{III} - P_3^* = \rho a_{III} (v_{III} - v_2^*), \quad (13)$$

$$v_3^* = \frac{P_{\min}^* - P_3^* + \rho a_{III} v_2^*}{\rho a_{III}} \quad (14)$$

$v_3^* \le 0$ bo‘lganda bosim intervali quyidagicha bo‘ladi:

$$P_{\min,3}^* = P_3^* - \rho a_{III} v_2^* \quad (15)$$

Trozyan formulasi bilan qiyoslash. R.E. Trozyan bo‘yicha quvur devori va suyuqlik deformatsiyasi e’tiborga olinmaydigan yaqinlashuv uchun quyidagini keltirish mumkin:

$$h_{vak} = H_{atm} - H_{kr} \exp\left(-\frac{v_{01}}{A_m}\right), \quad (16)$$

$$H_{kr} = \frac{P_{kr}}{\rho g}; \qquad H_{atm} = \frac{P_{atm}}{\rho g}. \quad (17)$$

Vakuum naporini hisoblash va tekshirish. Bosqichli hisob natijasida aniqlangan minimal absolyut bosim vakuum naporiga aylantiriladi:

$$h_{vak} = H_{atm} - \frac{P_{\min}^*}{\rho g} \approx 10 - \frac{P_{\min}^*}{\rho g}, \quad (18)$$

bu yerda 10 m – atmosfera bosimi naporining manbada yaxlitlangan qiymati. Amaliy hisobda lokal atmosfera bosimidan kelib chiqadigan H_{atm} ishlatilishi maqsadga muvofiq.

Tajriba bazasi va natijalarni baholash. Tajribalar gorizontal po‘lat quvur uzunligi 253,5 m, ichki diametri 70 mm va devor qalinligi 3 mm bo‘lgan qurilmada o‘tkazilgan. Manfiy zarba 0,04-0,09 s davomida tez yopiluvchi kran orqali hosil qilingan. Boshlang‘ich tezlik 0,5-2,5 m/s, napor 10-20 m oralig‘ida o‘zgartirilgan; jami 25 tajriba o‘tkazilgan. Vakuum datchiklari kalibrlangan, diagrammalar asosida tajribaviy vakuum aniqlangan va natijalar taklif etilgan metodika hamda Trozyan formulasi bilan solishtirilgan.

(1)-(18) formulalar bosim intervallari bo‘yicha muhandislik hisoblash ketma-ketligini tiklash imkonini beradi.

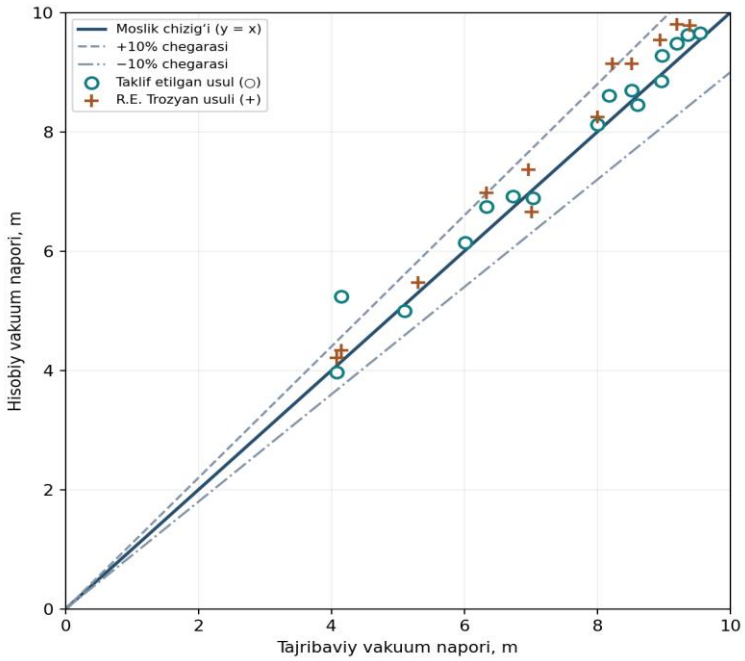
Tahlil va natijalar. Tadqiqotda geodezik napor 10-20 m bo‘lgan sharoitlar uchun hisobiy va tajribaviy vakuum naporlari taqqoslangan. Natijada erigan gazni hisobga oluvchi metodika tajriba bilan qoniqarli mos kelishi qayd etilgan. Quyida 1-jadvalda tajriba natijalari berilgan.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.51

1-jadval

Vakuummetrik napor qiymatlari, m

№	Taklif etilgan usul bo‘yicha (tajribaviy), m (○)	Taklif etilgan usul bo‘yicha (hisobiy), m (○)	R.E. Trozyan bo‘yicha (tajriba), m (+)	R.E. Trozyan bo‘yicha (hisob), m (+)
1	4,1	4,0	4,1	4,2
2	4,2	5,2	4,2	4,3
3	5,1	5,0	5,3	5,5
4	6,0	6,2	6,3	7,0
5	6,3	6,8	7,0	7,4
6	6,7	6,9	7,0	6,7
7	7,0	6,9	8,0	8,2
8	8,0	8,1	8,2	9,2
9	8,2	8,6	8,5	9,2
10	8,5	8,7	8,9	9,5
11	8,6	8,5	9,2	9,8
12	9,0	8,8	9,4	9,8
13	9,0	9,3		
14	9,2	9,5		
15	9,4	9,6		
16	9,6	9,7		



1-rasm. Vakuumning hisobiy va tajribaviy qiymatlarini taqqoslash

Grafikda ideal moslik chizig‘i va ±10% chegaralar ikki yondashuvning tajriba bilan qanchalik yaqin joylashganini ko‘rsatmoqda.

1-jadval ma’lumotlari bo‘yicha taklif etilgan usul uchun (16 juft qiymat) o‘rtacha absolyut xato MAE = 0,26 m, o‘rtacha kvadratik xato RMSE = 0,34 m, o‘rtacha nisbiy xato 4,1 %; R.E. Trozyan formulasi uchun (12 juft qiymat) mos ravishda 0,44 m, 0,52 m va 5,9 % ni tashkil etadi. Ikkala usulda ham eng katta absolyut farq 1,0 m ga teng; taklif etilgan usulda u 2-tajribada (4,2 va 5,2 m, nisbiy farq 23,8 %) kuzatiladi. Demak, grafikdagi ±10 % chiziqlar barcha nuqtalar uchun aniqlik kafolati emas, ammo o‘rtacha xato ko‘rsatkichlari bo‘yicha taklif etilgan metodika tajribaga yaqinroq natija beradi.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.51

Fizik nuqtayi nazardan erigan gaz ajralishi aralashma siqiluvchanligini o‘zgartirishi va bosimning pasayish dinamikasiga ta’sir qilishi mumkin. Biroq kuzatilgan farqlarni faqat erigan gaz hisobiga bog‘lash uchun gaz konsentratsiyasi, quvur xususiyatlari va boshqarish qonunini birgalikda nazorat qiluvchi qo‘shimcha tajribalar zarur.

Muhokama. Manfiy gidravlik zarba vaqtida hisoblashdagi asosiy noaniqliklar: erigan gazning boshlang‘ich konsentratsiyasi, ajralish kinetikasi, pufakchalarning o‘sishi, to‘lqin tezligining faza ulushiga bog‘liqligi va oqim butunligi uzilgandagi chegaraviy shartlardir. Ushbu omillar hisobga olinmasa, oddiy gidravlik zarba modeli birinchi fazadagi minimal bosimni yetarlicha aniq tavsiflamasligi mumkin.

Xulosa va takliflar. 1. Nasos stansiyalarining naporli quvurlarida manfiy gidravlik zarbaning birinchi fazasidagi minimal absolyut bosimni aniqlash muhim muhandislik vazifasidir.

2. Bosim pasayishi suv tarkibidagi erigan gazning ajralishiga sharoit yaratadi; ajralgan gaz aralashma siqiluvchanligi va bosim to‘lqini dinamikasiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

3. Geodezik napori 10-20 m bo‘lgan quvurlar uchun taklif etilgan metodika natijalari tajribaviy ma’lumotlar bilan qoniqarli mos kelishi qayd etilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Арифжонов А.М., Жонкобилов У.У. Гидравлический удар в однородных и газожидкостных напорных трубопроводах: монография. – Ташкент: ТИИИМСХ, 2018. – 142 с.

2. Jonkobilov U., Rajabov U., Jonkobilov B., Ulugmuradov M. Otritsatelnyy gidravlicheskiy udar s razryvom sploshnosti potoka // Iqlim o‘zgarishi va suv resurslari gidrologiyasi. – Toshkent, 2023. – B. 169–176.

3. Жонкобилов У.У. Исследование максимальных напоров при гидравлическом ударе с разрывом сплошности в газожидкостном напорном потоке // Вестник ТашГТУ. – 2018. – № 4. – С. 132–138.

4. Дикаревский В.С., Татура А.Е. О величине вакуума при гидравлических ударах // Гидравлический удар в трубопроводах. – Л.: ЛИИЖТ, 1971. – Вып. 321. – С. 110–124.

5. Jonkobilov U.U. Methodology of calculation and exploration of rupture at hydraulic impact // European Science Review. – 2018. – № 7–8. – P. 215–217.

6. Трозян Р.Е. Исследование гидравлического удара в трубопроводах при понижении давления: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Ереван, 1965. – 24 с.

7. Зуйков А.Л. Гидравлика. – М.: МИСИ–МГСУ, 2014. – 518 с.