

UO‘K: 532.595.2:532.529

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-1.06>

GIDRAVLIK ZARBAGA QARSHI PNEVMOGIDRAVLIK SO‘NDIRGICH

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.** Maqola zarba to‘lqinlari intensivligining favqulodda oqibatlarini kamaytirish uchun bosim quvurining boshida o‘rnatilgan, zarba to‘lqinlari intensivligining politropik jarayonini hisobga olgan holda, bosimni pasaytiradigan gidravlik zarbali pnevmogidravlik so‘ndirgichning asosiy parametrlari va o‘lchamlarini analitik hisoblashga bag‘ishlangan. Taklif qilinayotgan gidravlik so‘ndirgich uchun statsionar bo‘lmagan bosim harakatlarining to‘lqin tenglamalarini analitik tadqiqotlar natijalariga asoslanib, politropik jarayonni hisobga olgan holda bosim tebranishlarining birinchi davridagi zarba paytida maksimal va minimal bosimlarni hisoblash uchun bog‘liqliklar olindi.*

Taklif qilingan bog‘liqliklarning ishonchliligini va so‘ndirgich dizaynining iqtisodiy o‘lchamlarini asoslash uchun analitik tadqiqotlarning eksperimental ma‘lumotlar va boshqa mualliflarning ma‘lumotlari bilan qiyosiy hisob-kitoblari amalga oshirildi. Qiyosiy hisob-kitoblar gidromexanikaning harakat tenglamalari, uzluksizlik va so‘ndirgichdagi havo holatining ma‘lum yechimlarining analitik usuli bilan olingan taklif qilingan bog‘liqliklarning ishonchliligini isbotlaydi.

***Kalit so‘zlar:** nasos stantsiyasi, gidravlik zarba, analitik usul, bosim quvuri, pnevmogidravlik so‘ndirgich, politropik jarayon.*

УДК: 532.595.2:532.529

ПРОТИВОУДАРНЫЙ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ГАСИТЕЛЬ

Жонкобиллов Собир Улугмуродович - доктор философии по техническим наукам, доцент,
Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

***Аннотация.** Статья посвящена аналитическому расчету основных параметров и размеров пневмогидравлического гасителя гидравлического удара с понижением давления, установленным в начале напорного трубопровода для снижения аварийных последствий интенсивности ударных волн с учетом политропного процесса воздуха в гасителе. На основе результатов аналитических исследований волновых уравнений нестационарных напорных движений для предложенного гасителя гидравлического удара получены зависимости для расчета максимального и минимального напоров при ударе на первом периоде колебаний давлений с учетом показателя политропы.*

Для обоснования надежности предложенные зависимости экономических размеров конструкции гасителя выполнены сравнительные расчеты аналитических исследований с опытными данными и данными других авторов. Сопоставительные расчеты доказывают достоверности предлагаемых зависимостей, полученных аналитическим методом решений известных уравнений движений гидромеханики, неразрывности и состояния воздуха в гасителе.

***Ключевые слова:** насосная станция, гидравлический удар, аналитический метод, напорный трубопровод, пневмогидравлический гаситель, показатель политропы.*

UDC: 532.595.2:532.529

SHOCKPROOF PNEUMATIC HYDRAULIC DAMPER

Jonkobilov, Sobir - Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Associate Professor,
Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. *The article is devoted to the analytical calculation of the main parameters and dimensions of a pneumatic-hydraulic damper of hydraulic shock with pressure reduction, installed at the beginning of a pressure pipeline to reduce the emergency consequences of the intensity of shock waves, taking into account the polytropic process of air in the damper. Based on the results of analytical studies of the wave equations of non-stationary pressure movements for the proposed hydraulic shock absorber, dependencies were obtained for calculating the maximum and minimum pressures during an impact in the first period of pressure oscillations, taking into account the polytropic index.*

To substantiate the reliability of the proposed dependencies and economic dimensions of the damper design, comparative calculations of analytical studies with experimental data and data from other authors were performed. Comparative calculations prove the reliability of the proposed dependencies obtained by the analytical method of solutions of known equations of motion of hydromechanics, continuity and the state of air in the damper.

Keywords: *pumping station, hydraulic shock, analytical method, pressure pipeline, pneumatic-hydraulic damper, polytropic index.*

Kirish

Hozirgi kunda uzun bosimli quvurlarda vujudga keladigan gidravlik zarba kuchini so'ndirish uchun pnevmogidravlik so'ndirgichlardan keng foydalaniladi [1,2,3,4,5,6,7]. Bunday zarbaga qarshi qurilmalar (so'ndirgichlar) shuningdek, suv ta'minoti quvurlarini gidravlik zarbadan himoya qilish uchun ham qo'llanilishi mumkin. So'ndirgich nasos stansiyalariga o'rnatilganda ularning o'lchamlari nasoslarni ishga tushirish va to'xtatish sharoitlariga ko'ra belgilanadi [3,4,7,8,9]. Nasoslarni to'xtatish sharoitiga ko'ra so'ndirgichlar turli usullar bilan hisoblanadi, lekin eng keng tarqalgani - so'ndirgich hajmini Evandjelisti grafigi bo'yicha tanlashning sodda usulidir. Bu grafiklar suyuqlikning o'rnatilmagan harakatini chekli farqlar usuli yordamida differensial tenglamalarni taqribiy integrallash natijasida tuzilgan [5]. Biroq, ko'rsatilgan grafiklar gidravlik zarba sodir bo'lganda nasos stansiyalarining bosimli quvurlari uchun asosiy parametrlarning atrof-muhitdagi juda tor oraliqdagi o'zgarishlariga mo'ljallangan. Evandjelisti ishida umumiy yechim mavjud emas, shu sababli ko'plab hollarda aytib o'tilgan usul qo'llanishga kelmaydi [5].

Tadqiqot metodikasi

Quvurlarda gidravlik zarba so'ndirgichlarining asosiy parametr va o'lchamlarini umumiy holda aniqlash masalasini yechishda oqimning buzilish joyida so'ndirgich mavjud bo'lganda quyidagi uchta tenglamadan foydalaniladi [3,7,10,11].

Navye-Stoksnings ma'lum bog'lanishlarini aylantirish (transformatsiya qilish) natijasida olingan va quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan ta'sir etuvchi kuchlar differensial tenglamasi [3,7,10]:

$$-\frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \frac{\beta}{2} \frac{\partial(\vartheta^2)}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} g \pm \frac{\tau_{hy}}{\rho R} = 0 \quad (1)$$

So'ndirgich mavjud bo'lganda oqimning uzluksizlik tenglamasi [3,7,10]:

$$dV_1 = Qdt. \quad (2)$$

So'ndirgichdagi havo hajmining o'zgarish qonunini ifodalovchi tenglama quyidagi ko'rinishga ega [3,7,10]:

$$V = V_r \left(\frac{H_{o-a}}{H} \right)^{1/n} \quad (3)$$

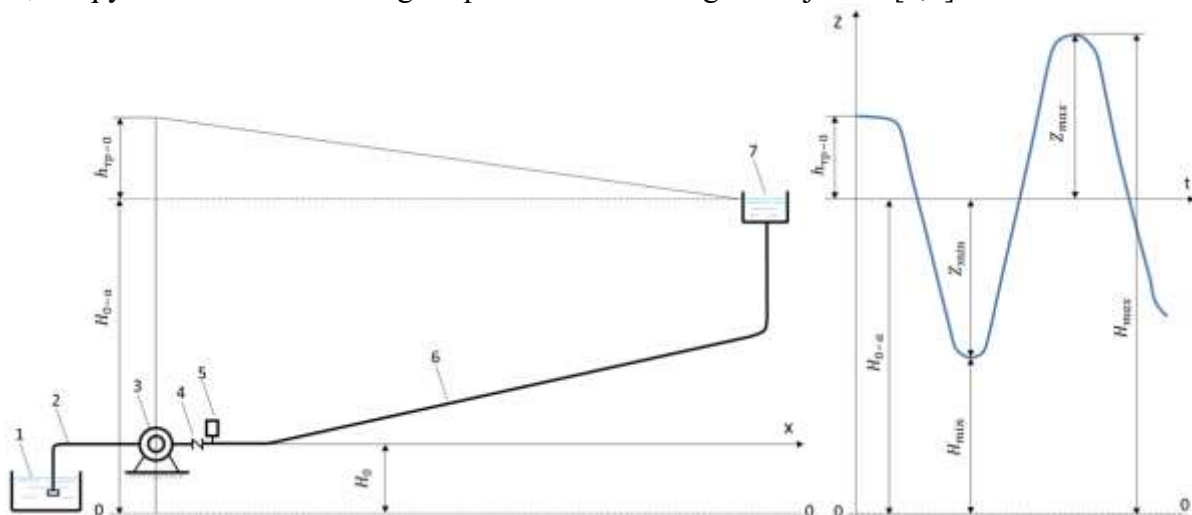
Yuqoridagi tenglamalarda quyidagi belgilashlar qabul qilingan:

ϑ va H - so'ndirgich o'rnatilgan joyda t vaqt momentidagi quvurdagi suyuqlikning oqish tezligi va absolyut bosimi (napor); Q - oqim barqaror harakatlanayotganda suyuqlik sarfi; β - harakat miqdori koeffitsienti; x - quvur uzunligi bo'yicha koordinata; ρ - suyuqlik zichligi; R - quvur gidravlik radiusi; τ_{hy} - oqim barqaror bo'lmagan paytda quvur devoridagi urug'ma (tangensial) kuchlanish; g - erkin tushish tezlanishi (og'irlik kuchi tezlanishi); V - t vaqt momentida so'ndirgichdagi havo hajmi; V_1 -

so'ndirgichdagi havo hajmining o'sishi (o'zgarishi); V_G - absolyut geodezik napor H_{0-a} bo'lganda so'ndirgichdagi havo hajmi (1-rasm); n - politrop ko'rsatkichi [3,4].

Gidravlik zarba so'ndirgichlarini hisoblash aniqligi politrop ko'rsatkichi n ning ishonchli qiymatiga bog'liq [3,4]. Muhandislik amaliyotida havo siqilish-kengayish jarayonini hisobga oluvchi n ko'rsatkichining raqam qiymatini tanlashda muammolar mavjud [3,4]. Masalan, N.Ye. Jukovskiy gidravlik zarba so'ndirgichini hisoblashda havo siqilish-kengayish jarayonini adiabatik deb hisoblab, $n=1,41$ qiymatini qo'llashni tavsiya etgan [1]. Ish [2,3] larda ham mualliflar shu jarayonni adiabatik deb qabul qilishgan. Boshqa tadqiqotchilar esa $n=1,0$ deb olib, havo siqilish-kengayish jarayonini izotermik deb hisoblashgan [5,6,7]. Shu bilan birga, [9,10,11] ishlarida so'ndirgichdagi havo siqilish-kengayish jarayoni politropik qonun bo'yicha sodir bo'ladi, degan fikr ilgari surilgan. Biroq, bu oxirgi fikr hali to'liq ishlab chiqilmagan va chuqur tahlil talab qiladi. Shu sababli, gidravlik zarba sodir bo'lganda so'ndirgichni hisoblashda politrop ko'rsatkichi n ning to'g'ri raqam qiymatini tanlash juda muhimdir [4,12,13,14,15], chunki shu qiymatga so'ndirgichning asosiy iqtisodiy jihatdan samarali o'lchamlarini, shuningdek uning ichidagi minimal va maksimal bosimlarni aniqlashning ishonchligi bog'liq [16,17,18,19,20].

Ushbu ishda havo siqilish-kengayish jarayoni $n=1,2$ bo'lgan politropik jarayon sifatida qabul qilingan, bu qiymat n ko'rsatkichining eksperimental asoslangan natijasidir [3,4].



1 - suv manbai; 2 - so'rish quvuri; 3 - nasos; 4 - teskari klapan; 5 - so'ndirgich; 6 - bosimli quvur; 7 - bosimli hovuz.

1-rasm. Bosimli quvurda barqaror harakatlanish paytida (a) va pnevmogidravlik so'ndirgichda gidravlik zarba sodir bo'lganda (b) naporni (bosim balandligini) o'zgarishi.

(1)-tenglamada, odatda qilinadigani kabi [3,4,6,7], konvektiv tezlanishni ifodalovchi had uning kichikligi sababli e'tiborsiz qoldiriladi. U holda, agar $\tau_{HY} = \lambda_{HY} \rho g^2 / 8$ va $R=D/4$ bo'lsa, quyidagi natija olinadi:

$$-\frac{\partial g}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial x} g \mu \lambda_{HY} \frac{g^2}{2D} = 0, \tag{4}$$

bu yerda λ_{HY} - gidravlik zarba paytida gidravlik qarshilik koeffitsienti; D - bosim quvurining diametri.

Bosimli quvurda suyuqlikning bir o'lchovli oqimi holi uchun:

$$\frac{\partial g}{\partial t} \approx \frac{dg}{dt}. \tag{5}$$

Bir o'lchovli oqim sharoitida $\partial H / \partial x$ qismaniy hosila taqriban hosil qilingan oshishlar nisbati $\Delta H / \Delta l$ bilan almashtiriladi, bu yerda: $\Delta H = H - H_{0-a} = Z$ - gidravlik zarba sodir bo'lganda geodezik napor H_{0-a} ga nisbatan naporning o'zgarishi (1-rasmga qarang); $\Delta l = l_2 - l_1$ - ko'rib chiqilayotgan quvur bo'lagining uzunligi.

Yuqoridagi mulohazalarni hisobga olgan holda, (4) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$z = \frac{l}{g} \frac{d\mathcal{G}}{dt} \pm \lambda_{\text{ny}} \frac{l\mathcal{G}^2}{D2g} = \frac{ld\mathcal{G}}{gdt} \pm h_{\omega}, \quad (6)$$

h_{ω} - gidravlik zarba paytida bosim quvuri uzunligi bo'ylab bosim yo'qotilishi ($h_{\omega}=\alpha\mathcal{G}^2$) [3,4,6,7].

(6) tenglamaning o'ng qismidagi ikkinchi had oldidagi plyus ishorasi suvning ox o'qining musbat yo'nalishida (1-rasmda nasosdan bosimli hovuzga tomon) oqishiga, minus ishorasi esa suvning teskari yo'nalishda harakatlanishiga mos keladi.

Tenglamalar sistemasini (2), (3) va (6) integrallash uchun ularga kiruvchi barcha parametrlar o'lchovsiz kattaliklar ko'rinishida ifodalangan [3,4,6,7]:

$$\bar{z} = \frac{z}{H_{0-a}} \quad \bar{\mathcal{G}} = \frac{\mathcal{G}}{\mathcal{G}_0} \quad \bar{t} = \frac{t}{T} \quad \bar{h}_{mp} = \frac{h_{\omega}}{H_{0-a}} \quad \bar{V}_1 = \frac{V_1}{V_r}.$$

U holda $d\mathcal{G}=\mathcal{G}_0d\bar{\mathcal{G}}$, $dt=Td\bar{t}$ va $dV_1=V_r d\bar{V}_1$,

bu yerda \mathcal{G}_0 - bosimli quvur liniyasida suyuqlikning barqaror holatdagi oqimining tezligi.

So'ndirgichdagi napor tebranishlari davri T ni politropik jarayon hisobga olingan holda quyidagi formula orqali hisoblash mumkin [3,4,6,7]:

$$T = \frac{8,1V_r}{\omega\mathcal{G}_0} \sqrt{\sigma}, \quad (7)$$

bu yerda: ω - bosim quvurining ko'ndalang kesim maydoni; σ - [3,4,6,7] formulasi bilan aniqlanadigan dampning xarakterli parametri.

$$\sigma = \frac{\omega l \mathcal{G}_0^2}{2gH_{0-a}V_r}. \quad (8)$$

Yuqoridagi ifodalarni hisobga olgan holda, (2) tenglama quyidagicha yozilishi mumkin:

$$dV_1 = 8,1\bar{\mathcal{G}}\sqrt{\sigma}dt. \quad (9)$$

Shunga ko'ra, (3) tenglama [3,4,6,7] ko'rinishini oladi:

$$\bar{V} = \left(\frac{1}{1+\bar{z}} \right)^{0,833}. \quad (10)$$

(3) tenglamada u $\bar{V} = V/V_r$ va $H=H_{0-a}+z$ deb belgilanadi.

(6) tenglama ayrim matematik o'zgartirishlardan so'ng quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$d\bar{\mathcal{G}} = \frac{2,62}{\sigma} (\bar{z} \pm \bar{h}_{mp}) d\bar{t}. \quad (11)$$

Suyuqlikning beqaror harakati paytida bosim yo'qotishlari barqaror holat sharoitidagi yo'qotishlar orqali ifodalanadi, [6,7] ishda isbotlanganidek, $\lambda_{\text{ny}}=\lambda$ deb faraz qilinadi, bu yerda λ - barqaror holat sharoitida gidravlik qarshilik koeffitsienti hisoblanadi.

$$\bar{h}_{mp} = \frac{h_{mp0}}{H_{0-a}} \left(\frac{\mathcal{G}}{\mathcal{G}_0} \right)^2 = \bar{h}_{mp0} \bar{\mathcal{G}}^2, \quad (12)$$

bu yerda h_{mp0} va \bar{h}_{mp0} - barqaror holatdagi bosim yo'qotishlari va o'lchovsiz bosim yo'qotishlari.

Ma'lumki [3,4,6,7], gidravlik qarshiliklarga sarflangan napor gidravlik zarba sodir bo'lganda to'liq tiklanmaydi. Bu holatni hisobga olgan holda:

$$\bar{h}_{mp} = \eta \bar{h}_{mp0} \bar{\mathcal{G}}^2 = \bar{h}_n \bar{\mathcal{G}}^2, \quad (13)$$

bu yerda η - bosim yo'qotishlarining tiklanishini hisobga oluvchi koeffitsient ($\eta=0,5\div 0,7$) [6,7];

$$\bar{h}_n = \eta \bar{h}_{mp0}.$$

(13) tenglikni hisobga olgan holda, (11) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$d\bar{\mathcal{G}} = \frac{4,05}{\sqrt{\sigma}} (\bar{z} \pm \eta \bar{h}_{mp0} \bar{\mathcal{G}}^2) d\bar{t}. \quad (14)$$

Tenglama sistemasi (9), (10) va (14) ni integrallashni soddalashtirish maqsadida quyidagi belgilashlar kiritiladi [3,4,6]:

$$L = \frac{4,05}{\sqrt{\sigma}} \eta \bar{h}_{mp0}; \quad M = \frac{4,05}{\sqrt{\sigma}} z; \quad N = 8,1\sqrt{\sigma}.$$

U holda (14) tenglama quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$d\bar{\vartheta} = (M \pm L\bar{\vartheta}^2) d\bar{t}. \quad (15)$$

Mos ravishda, (9) tenglama quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$d\bar{v}_1 = N\bar{\vartheta} d\bar{t}. \quad (16)$$

Avval bosimning o‘zgarish jarayonining birinchi yarim davri ko‘rib chiqiladi. Bu davrda nasos o‘chirilgandan so‘ng suv inersiya ta‘sirida nasosdan bosimli hovuzga qarab (1-rasmga qarang) harakatlanishni davom ettiradi. Quvurga yangi suv porziyasi kirmaydi, shu sababli quvur hamda so‘ndirgichdagi bosim pasayadi. So‘ndirgichdagi suv qisman quvurga qaytib chiqadi va shu orqali naporning pasayishini yumshatadi, bu vaqt ichida so‘ndirgichdagi havo kengayib boradi. Bu jarayonni matematik tahlil qilishda (6) tenglamaning o‘ng qismidagi ikkinchi had oldiga plus ishorasi, (15) tenglama uchun esa mos ravishda minus ishorasi qo‘yiladi. U holda (15) tenglamadan quyidagi natija kelib chiqadi:

$$\int \frac{d\bar{\vartheta}}{ML^{-1} - \bar{\vartheta}^2} = \int L d\bar{t},$$

yoki

$$\operatorname{arth}\bar{\vartheta}\sqrt{LM^{-1}} = (L\bar{t} + C)\sqrt{LM^{-1}} \quad (17)$$

bu yerda C - integrallash doimiysi.

(17) tenglik $\bar{\vartheta} < \sqrt{ML^{-1}}$ sharti bilan olinadi, ammo quyida keltirilgan $\bar{\vartheta}$ ni aniqlashning yakuniy formulasi uchun ham $\bar{\vartheta} \geq \sqrt{ML^{-1}}$ amal qilishini isbotlash mumkin. (17) tenglamadan kelib chiqadi.

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{ML^{-1}} \operatorname{th}(L\bar{t} + C)\sqrt{LM^{-1}} \quad (18)$$

Boshlang‘ich shartlar: $\bar{t}=0, \bar{\vartheta}=\bar{\vartheta}_0$, ya‘ni $\bar{\vartheta}=1$,

u holda

$$C = \sqrt{LM^{-1}} \operatorname{arth}\sqrt{LM^{-1}}$$

Bundan

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{ML^{-1}} \operatorname{th}\left(L\bar{t} + \sqrt{LM^{-1}} \operatorname{arth}\sqrt{LM^{-1}}\right)\sqrt{LM^{-1}}. \quad (19)$$

O‘zgartirishlardan so‘ng (19) formula quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$\bar{\vartheta} = 1 + \frac{(ML^{-1} - 1)e^{2i\sqrt{LM}}}{\sqrt{ML^{-1} - 1} + (\sqrt{ML^{-1} + 1})e^{2i\sqrt{LM}}} - \frac{ML^{-1} - 1}{\sqrt{ML^{-1} - 1}(\sqrt{ML^{-1} + 1})e^{2i\sqrt{LM}}}. \quad (20)$$

(20) ifoda (16) tenglamaga almashtiriladi, u integraldan keyin quyidagicha qayta yoziladi

$$\begin{aligned} \bar{v}_1 &= N\bar{t} + N(ML^{-1} - 1) \int \frac{e^{2i\sqrt{LM}} d\bar{t}}{\sqrt{ML^{-1} - 1} + (\sqrt{ML^{-1} + 1})e^{2i\sqrt{LM}}} - N(ML^{-1} - 1) \int \frac{d\bar{t}}{\sqrt{ML^{-1} - 1} + (\sqrt{ML^{-1} + 1})e^{2i\sqrt{LM}}} + C_1 = \\ &= N\bar{t} + \frac{N(M - L)\ln K}{2L(M + \sqrt{LM})} - \frac{N(M - L)}{L} \left[\frac{\bar{t}}{\sqrt{ML^{-1} - 1}} - \frac{\ln K}{2(M - \sqrt{LM})} \right] + C_1, \end{aligned} \quad (21)$$

bu yerda

$$K = \sqrt{ML^{-1} - 1} + (\sqrt{ML^{-1} + 1})e^{2i\sqrt{LM}}, \quad (22)$$

C_1 - integrallash doimiysi.

C_1 ni aniqlash uchun dastlabki shartlar:

$\bar{t}=0, \bar{v}_1=0$ yoki $K=2\sqrt{ML^{-1}}$ da, keyin (21) dan kelib chiqadi

$$C_1 = \frac{N(M - L)}{2L(M + \sqrt{LM})} \ln 2\sqrt{ML^{-1}} - \frac{N(M - L)}{2L(M - \sqrt{LM})} \ln 2\sqrt{ML^{-1}} = -\frac{N}{L} \ln 2\sqrt{ML^{-1}}. \quad (23)$$

(23) ifoda (21) tenglamaga qo'yilgach, uni aylantirish (matematik o'zgartirish)lardan so'ng quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$\bar{V}_1 = -N\sqrt{MK^{-1}}\bar{t} + \frac{N}{L}\ln K - \frac{N}{L}\ln 2\sqrt{ML^{-1}}. \quad (24)$$

\bar{V}_1 hajmning maksimal o'sishi sodir bo'lgan \bar{t} vaqt momentini aniqlash uchun hosila hisoblanadi $d\bar{V}_1/d\bar{t}$ va nolga tenglashtiriladi, ya'ni

$$\bar{V}_1 = -N\sqrt{\frac{N}{L}} + \frac{N(ML^{-1}+1) \cdot 2\sqrt{LM} e^{2i\sqrt{LM}}}{L[\sqrt{ML^{-1}}-1 + (\sqrt{ML^{-1}}+1)e^{2i\sqrt{LM}}]} = 0, \quad (25)$$

bunda

$$\bar{t} = \frac{1}{2\sqrt{LM}} \ln\left(\frac{\sqrt{M}-\sqrt{L}}{\sqrt{M}+\sqrt{L}}\right). \quad (26)$$

(26) formula (24) ga qo'yiladi, natijada quyidagi hosil bo'ladi:

$$\bar{V}_1 = \frac{N}{2L} \ln(1-LM^{-1}). \quad (27)$$

Bosim pasayganda M qiymati har doim manfiy bo'lgani uchun, demperdagi havo hajmining oshishi har doim musbat bo'ladi.

Sochiluvchi qurilmadagi havo umumiy hajmi (10) formula bo'yicha aniqlanadi; bu formulada $V=V_{\Gamma}+V_1$, $\bar{V} = 1 + \bar{V}_1$ bo'lgani uchun.

U holda (10) formula quyidagicha yoziladi:

$$1 + \bar{V}_1 = \left(\frac{1}{1+z}\right)^{0,833} \quad (28)$$

yoki

$$1 + \frac{N}{2L} \ln(1-LM^{-1}) = \left(\frac{1}{1+z}\right)^{0,833} \quad (29)$$

chunki $N/2L = \sigma/\eta\bar{h}_{mp}$ va $LM^{-1} = \pi\bar{h}_{mp}/z$.

Bunday sharoitlarda (29) tenglama o'zining yakuniy shaklini oladi

$$1 + \frac{\sigma}{\eta\bar{h}_{mp0}} \ln\left(1 - \frac{\eta\bar{h}_{mp0}}{z}\right) = \left(\frac{1}{1+z}\right)^{0,833}. \quad (30)$$

Tadqiqot natijalari

Tenglama (8), (28) va (30) larning birgalikdagi yechimi bizga bosim pasayishini va minimal absolyut bosim $H_{\min}=H_{0-a-z_{\min}}$ ni (1-rasmga qarang), shuningdek, so'ndirgichdagi havoning maksimal hajmi $V=V_{\max}$ ni aniqlash imkonini beradi. Biroq, bu yechim biroz murakkab, chunki z qiymati (30) tenglamaga bilvosita kiritilgan.

Bosim o'zgarishi davrining ikkinchi yarmida suyuqlik bosim rezervuaridan nasosga oqib o'tadi va so'ndirgichdagi havoni siqadi (1-rasmga qarang). Bu holda, yuqorida ko'rsatilganidek, (15) tenglamaga plyus belgisi qo'yiladi va integrallashdan so'ng quyidagi shaklni oladi

$$\int \frac{d\bar{\vartheta}}{\bar{\vartheta}^2 + ML^{-1}} = L \int d\bar{t}, \quad \text{yoki} \quad \sqrt{LM^{-1}} \arctg \frac{\bar{\vartheta}}{\sqrt{ML^{-1}}} = L\bar{t} + C_2, \quad (31)$$

bu yerda C_2 - integrallash doimiysi.

Yuqorida aytilishicha, so'ndirgichdagi havo hajmining maksimal oshishi bilan, ya'ni $\bar{\vartheta}=0$ da, \bar{t} vaqt (26) formula bo'yicha aniqlanadi. (26) dan aniqlangan holda, (31) tenglamaga $\bar{\vartheta}=0$ va \bar{t} ni qo'ygandan so'ng, biz quyidagilarni olamiz

$$C_2 = -L\bar{t} = -\frac{L}{2\sqrt{LM}} \ln\left(\frac{\sqrt{M}-\sqrt{L}}{\sqrt{M}+\sqrt{L}}\right) = -0,5\sqrt{LM^{-1}} \ln \varphi, \quad (32)$$

bu yerda

$$\varphi = \frac{\sqrt{M} - \sqrt{L}}{\sqrt{M} + \sqrt{L}}.$$

(32) ifoda (31) ga qo'yilsa, u holda:

$$\sqrt{LM^{-1}} \operatorname{arctg} \frac{\bar{g}}{\sqrt{ML^{-1}}} = L\bar{t} - 0,5\sqrt{LM^{-1}} \ln \varphi, \quad (33)$$

bundan

$$\bar{g} = \sqrt{ML^{-1}} \operatorname{tg}(\sqrt{LM^{-1}}\bar{t} - 0,5 \ln \varphi). \quad (34)$$

Oxirgi tenglik (16) tenglamaga qo'yiladi, natijada integrallashdan so'ng u quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\bar{V}_1 = -\frac{N}{L} \ln \cos(\sqrt{LM^{-1}}\bar{t} - 0,5 \ln \varphi) + C_3, \quad (35)$$

bu yerda C_3 - integrallash doimiysi;

$\bar{V}_1=0$ da oqim tezligi nasos agregati tomon yo'naltirilgan, ya'ni $\vartheta=-\vartheta_0$ va $\bar{g}=-1$ bo'lsa, (33) tenglamadan biz quyidagilarni olamiz

$$\bar{t} = \frac{0,5}{\sqrt{LM}} \ln \varphi - \frac{1}{\sqrt{LM}} \operatorname{arctg} \sqrt{LM^{-1}}. \quad (36)$$

C_3 ni aniqlash uchun (35) tenglamaga quyidagilar qo'yiladi:

$\bar{V}_1=0$ va (36) formula yordamida hisoblangan vaqt \bar{t} , keyin

$$C_3 = \frac{N}{L} \ln \cos(\operatorname{arctg} \sqrt{LM^{-1}}). \quad (37)$$

Oxirgi ifoda (35) tenglamaga qo'yilganda, natijada:

$$\bar{V}_1 = -\frac{N}{L} \ln \cos(\sqrt{LM^{-1}}\bar{t} - 0,5 \ln \varphi) + \frac{N}{L} \ln \cos \operatorname{arctg} \sqrt{LM^{-1}}. \quad (38)$$

Havo hajmining maksimal ortishi \bar{V}_1 va, demak, sochiluvchi qurilmadagi havo hajmining minimal qiymati V_{\min} quyidagi ifodadan hisoblangan \bar{t} vaqt momentida sodir bo'ladi:

$$\bar{V}_1 = -\frac{N\sqrt{LM}}{L \cos(\sqrt{LM^{-1}}\bar{t} - 0,5 \ln \varphi)} \left[-\sin(\sqrt{LM^{-1}}\bar{t} - 0,5 \ln \varphi) \right] = 0,$$

bundan

$$\bar{t} = \frac{\ln \varphi}{2\sqrt{LM}} \quad (39)$$

Ushbu shartlarda (38) tenglikka almashtirishlar kiritilgandan so'ng quyidagi natija olinadi:

$$\bar{V}_1 = -\frac{N}{L} \ln \sqrt{(L+M)M^{-1}}. \quad (40)$$

$L+M>M$ va $\ln \sqrt{(L+M)M^{-1}}$ har doim musbat bo'lgani uchun, natijada \bar{V}_1 hajmning oshishi har doim manfiy bo'ladi.

(40) formula (28) tenglamaga qo'yiladi, natijada quyidagi hosil bo'ladi:

$$1 - \frac{N}{L} \ln \sqrt{(L+M)M^{-1}} = \left(\frac{1}{1+z} \right)^{0,833} \quad (41)$$

yoki qabul qilingan belgilarni hisobga olgan holda

$$1 - \frac{2\sigma}{\eta h_{mp0}} \ln \sqrt{1 + \frac{\eta h_{mp0}}{z_1}} = \left(\frac{1}{1+z_1} \right)^{0,833}. \quad (42)$$

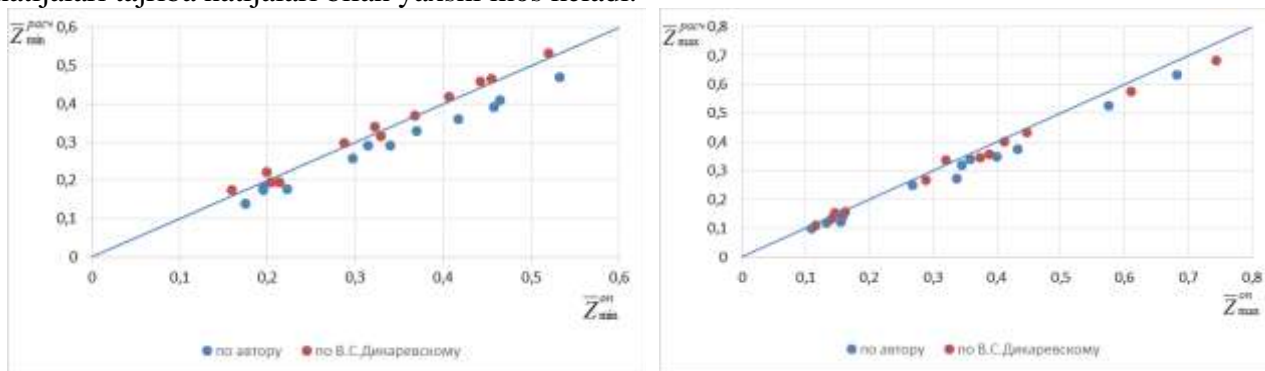
Olingan (8), (28) va (42) tenglamalarni birgalikda yechish orqali bosimning oshishini $z_{\max} = z_1 H_{0-a}$, maksimal absolyut bosim $H_{\max} = H_{0-a} + z_{\max}$ ni (1-rasmga qarang), shuningdek, so'ndirgichdagi minimal havo hajmi $V = V_{\min}$ ni aniqlash mumkin.

Pnevmogidravlik so'ndirgichda o'tkazilgan analitik hisob-kitoblar va tajribalar natijalari 1-jadvalda keltirilgan [3,4]. 1-jadvaldagi ma'lumotlar asosida tajribalar va hisob-kitoblar natijalarini taqqoslaydigan grafiklar tuzildi (2-rasm).

Pnevmogidravlik so'ndirgichni tadqiq qilish va hisoblash natijalari

№	So'ndirgichni tadqiq qilish bo'yicha dastlabki ma'lumotlar va tajriba natijalari							Pnevmogidravlik so'ndirgich hisoblash natijalari			
	g ₀ , m/s	H _{oa} , m	H _{ra} , m	W ₀ , m ³	σ	\bar{h}_{mp0}	$\frac{\bar{Z}_{min}^{on}}{\bar{Z}_{max}^{on}}$	V.S.Dikarevskiy bo'yicha n = 1,0		Muallif bo'yicha n = 1,2	
								$\frac{\bar{Z}_{min}^{pacu}}{\bar{Z}_{max}^{pacu}}$	Xatolar, %	$\frac{\bar{Z}_{min}^{pacu}}{\bar{Z}_{max}^{pacu}}$	Xatolar, %
1	1,42	51,5	40,0	0,0142	0,174	0,288	0,3150	0,2919	17,33	0,3286	- 4,32
							0,3375	0,2728	+ 19,17	0,3197	+ 5,27
2	1,92	59,7		0,0074	0,607	0,492	0,5325	0,4690	+ 11,92	0,5199	+ 2,37
							0,6825	0,6339	+ 7,12	0,7436	- 8,95
3	1,43	51,2		0,0074	0,336	0,280	0,4650	0,4103	+ 11,76	0,4550	+ 2,15
							0,5750	0,5251	+ 8,68	0,6103	- 6,14
4	0,78	43,5		0,0074	0,100	0,088	0,3400	0,2914	+ 14,29	0,3225	+ 5,15
							0,3575	0,3398	+ 4,95	0,3875	- 8,39
5	0,75	43,3		0,0074	0,092	0,082	0,2975	0,2579	+ 13,31	0,2877	+ 3,29
							0,2675	0,2494	+ 6,77	0,2880	- 7,55
6	1,18	47,7		0,0074	0,229	0,192	0,3700	0,3282	+ 11,30	0,3679	+ 0,57
							0,3450	0,3192	+ 7,48	0,3741	- 8,43
7	1,51	52,7	0,0074	0,375	0,318	0,4175	0,3613	+ 13,46	0,4065	+ 2,63	
						0,4000	0,3484	+ 12,90	0,4117	- 2,92	
8	1,92	59,9	0,0074	0,607	0,498	0,4575	0,3920	+ 14,32	0,4422	+ 3,34	
						0,4325	0,3756	+ 13,16	0,4469	- 3,33	
9	1,84	58,5	0,0211	0,196	0,462	0,1950	0,1815	+ 6,92	0,2138	- 9,64	
						0,1550	0,1218	+ 21,42	0,1466	+ 5,42	
10	1,48	52,5	0,0211	0,127	0,312	0,1950	0,1743	+ 10,62	0,2036	- 4,41	
						0,1325	0,1180	+ 10,94	0,1412	- 6,57	
11	0,80	44,1	0,0211	0,037	0,102	0,1750	0,1396	+ 20,23	0,1596	+ 8,80	
						0,1100	0,0985	+ 10,45	0,1157	- 5,18	
12	0,74	43,5	0,0140	0,048	0,088	0,2225	0,1768	+ 20,54	0,1996	+ 10,29	
						0,1575	0,1392	+ 11,62	0,1622	- 2,98	

1-jadval ma'lumotlari va 2-rasmdagi grafiklarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan gazlantirgich hisoblash metodikasi ishonchlidir, chunki ushbu metodika bo'yicha olingan hisoblash natijalari tajriba natijalari bilan yaxshi mos keladi.



2-rasm. So'ndirgich bo'yicha hisoblash natijalarining tajriba ma'lumotlari bilan solishtirilishi.

1-jadvaldagi ma'lumotlar va 2-rasmdagi grafiklar ham politropik ko'rsatkichning qiymati n=1.2 deb qabul qilinishi kerakligini tasdiqlaydi, chunki bu holda hisob-kitoblarda n=1.0 ga qaraganda ma'lum bir xavfsizlik chegarasi mavjud. Ushbu qoida resurslarni tejashni ta'minlaydi. Yuqoridagi (8), (28) va (42) bog'liqliklarning ishonchligini tekshirish uchun eksperimental ma'lumotlar natijalari bilan qiyosiy hisob-kitoblar amalga oshirildi (1-jadval). Tajribalar QarDTuning Gidravlika va MIQ kafedrasi laboratoriyasida o'tkazildi [3,4].

Xulosa

1. Suyuqlikning oʻrnatilmagan harakatini ifodalovchi tenglamalarni integrallash natijasida boshlangʻich parametrlar keng diapazonda oʻzgarganda pnevmogidravlik soʻndirgichning parametrlarini aniqlash imkonini beruvchi analitik bogʻlanishlar olingan.

2. Tajribaviy yoʻl bilan politropik koʻrsatkichning qiymati aniqlangan [3,4] va pnevmogidravlik soʻndirgichni hisoblashda $n=1$ deb qabul qilish tavsiya etilgan.

3. Oʻtkazilgan tajribaviy tadqiqotlar natijalari nasos stansiyasining bosimli quvurining boshida oʻrnatilgan pnevmogidravlik soʻndirgich uchun taklif etilgan analitik hisoblash metodikasining ishonchliligini tasdiqlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. – М., Гостехиздат, 1949, — 104 с.
- [2] Рахматулин Х.А., Мирхамидова Х.Б. Гидравлический удар в трубах круглого сечения при движении многофазных сред. – Изв. АН УзССР, сэр. техн. наук: Механика, 1970, № 5, -С. 27-30.
- [3] Jonkobilov, U., Rajabov, U., & Jonkobilov, S. (2022). Hydraulic shock damper with and without diaphragm. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , 1112(1) doi:10.1088/1755-1315/1112/1/012133.
- [4] Jonkobilov, U., Rajabov, U., & Jonkobilov, S. (2022). Experimental study of the polytropic coefficient for hydraulic shock from a decrease in pressure. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , 1112(1) doi:10.1088/1755-1315/1112/1/012037.
- [5] Evangelisti G. Waterkammer analysis by the Method of characteristics. – L’Energia, Elektrica/ - Milano, 1969, v. 86, № 42, p.839-858.
- [6] Дикаревский В.С. Водоводы. Монография. Труды РААСН. Строительные науки, т.3 –М.: РААСН, 1997. – 200 с.
- [7] Дикаревский В.С., Капинос О.Г. Водоснабжение и водоотведение. -СПб.: ПГУПС, 2005. -155 с.
- [8] Чарний И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. – М., Недра, 1975. – 296 с.
- [9] Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося движения в трубопроводах (пер. с англ.). – М., Энергоиздат, 1981. -247 с.
- [10] Лямаев Б.Ф., Неболсин Г.П., Нелюбов В.А. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. Методы расчета на ЭВМ. – Л., Машиностроение, 1978. -192 с.
- [11] I.Adachi, E. Detournay, A.P. Peirce, Analysis of the classical pseudo-3D model for hydraulic fracture with equilibrium height growth across stress barriers, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 47 (2010) 625-639.
- [12] Ghidawi MS, Zhao M, McInnis DA, Axworthy DH. A review of water hammer theory and practice. Department of Civil Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China. Appl. Mech. Rev.2005;58:49e76.
- [13] Sadafi M, Riasi A, Nourbakhsh SA. Cavitating flow during water hammer using a generalized interface vaporous cavitation model. J Fluids Struct 2012;34:190–201.
- [14] M. Lewandowski, A. Adamkowski, Investigation of hydraulic transients in a pipeline with column separation, J. Hydraul. Eng. ASCE 138 (11) (2012) 935-944.
- [15] H.A. Kaveh, B.O.N. Faig, K.H. Akbar, Some aspects of physical and numerical modeling of water-hammer in pipelines, Nonlinear Dynam. 60 (2010) 677-701.
- [16] W. Wan, W. Huang, C. Li, Sensitivity analysis for the resistance on the performance of a pressure vessel for water hammer protection, J. Pressure Vessel Technol. Trans. ASME 136 (1) (2014) 011303.

- [17] Макиша Е.В., Носорев Е.В. Причины и особенности возникновения гидравлического удара в напорных трубопроводах канализационных насосных станций. Инженерный вестник Дона, №3 (2021).
- [18] Пригожаев С.С., Пыхалов А.А., Бурмакин Н.О. Анализ влияния характеристик гидравлического гасителя колебаний на напряженно-деформированное состояние тележки пассажирского вагона. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 2 (74). – С. 130–141. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.2(74).130-141.
- [19] Головин А.Н. Гаситель колебаний жидкости с поперечно развитой структурой. Авиационная и ракетно-космическая техника. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 20, № 4, 2018. –С. 76-80.
- [20] Исмагилова Д.Ф., Исмагилова Р.Ф., Селищев В.А. Математическое моделирование системы защиты от гидравлического удара. Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18, № 4 (26). С. 72-78.