
2-bob. SUYUQLIK BOSIMINING YUZAGA TA'SIR KUCHI

Amalda suyuqlik muayyan geometrik shakldagi hajmni to'ldiradi va uning sirt yuzasi bilan ta'sirlashib, unga bosim kuchini uzatadi. Sirt yuzasining geometrik shakliga va ta'sir kuchining qanday burchak ostida uzatilishiga qarab, bu bosim kuchining kattaligi turlicha bo'lishi mumkin.

Masalan, sirt tekis va to'g'ri burchakli yoki qiya tekislik, ya'ni burchak ostida joylashgan bo'lishi mumkin. To'g'onlar, kanallar va temir-betonli nov ariqlar (lotoklar)ning ko'pchiligi muayyan burchak ostida quriladi. Suv saqlashga mo'ljallangan katta hajmdagi idishlar, asosan, to'g'ri burchakli qilib yasaladi va quriladi.

2.1. Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim kuchi

Ixtiyoriy shakldagi idishga suyuqlik to'ldirilsa, uning idish devorlariga uzatgan bosim kuchi hamma yo'nalishda bir xil bo'ladi va sirtga tik yo'naladi. Faqat suyuqlikning idish tubiga uzatgan bosim kuchi suyuqlik chuqurligi (qatlam qalinligi)ga bog'liq bo'lsa-da, uning geometrik shakliga bog'liq bo'lmagan g'ayritabiiylik xususiyatiga ega (1.2-rasmga qarang).

Demak, o'rganilayotgan nuqta suyuqlik sirtidan qancha chuqurroqda joylashsa, uning gidrostatik bosimi ham shuncha katta bo'ladi. Istalgan chuqurliklardagi suyuqlik bosimlari quyidagi nisbatda bo'ladi:

$$P_1 = \rho gh_1 < P_2 = \rho gh_2 < P_3 = \rho gh_3 < \dots < P_n = \rho gh_n.$$

Agar suyuqlik berk idishda bo'lganida, ya'ni atmosfera bosimi ta'sir qilmagan holat uchun yuqoridagi nisbat to'g'ri. Aksincha, suyuqlik sirti ochiq bo'lganida, albatta, atmosfera bosimi ta'sirini hisobga olish shart. Unda, bosim atmosfera $P_{atm} = P_o$ va suyuqlik bosimlari yig'indisiga teng bo'ladi:

$$P = P_{atm} + P_s = P_o + \rho gh.$$

Suyuqlik tubiga suyuqlik ustuni uzatgan bosim kuchi shu ta'sirni qabul qiluvchi idish tubining yuzasiga bog'liq bo'ladi, ya'ni

$$F = \rho ghS = \rho gV.$$

Berk idishdagi suyuqlikka uzatilgan tashqi ta'sir kuchi hamma yo'nalishda bir xil kattalikda (o'zgarishsiz) va idishning ichki yuzasiga perpendikular yo'nalgan bo'ladi (Paskal qonuni).

2.2. Qiya devorga suyuqlik uzatgan gidrostatik bosim

Ochiq havzadagi suyuqlik qiya burchak ostida joylashgan qirg'oq sirtiga ta'sir qilayotgan bo'lsin. Sun'iy hosil qilingan gidrotexnik inshootlar (to'g'on, suv omborlari va sh.k.)da bunday sirtlar ko'p uchraydi. Masalan, gorizontga nisbatan α burchak ostida joylashgan qiya devorga suyuqlik bergan bosimni qarab chiqamiz (1.10-rasm). Buning uchun sirtga qo'yilgan bosim kuchini, uning yo'nalishi va qo'yilish nuqtalari joyini aniqlaymiz. Koordinata sistemasining X o'qini S sirtga perpendikular, Y o'qini esa sirt bo'ylab yo'naltiramiz. Shunda koordinata o'qlarining boshi suyuqlikning erkin sirti bilan α burchak ostida yotgan devor sirtining kesishish nuqtasi bo'ladi.

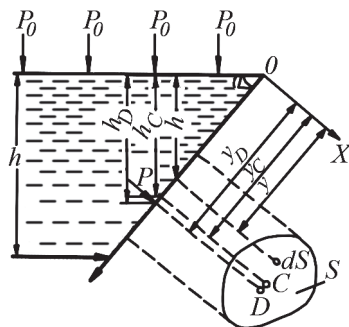
Ma'lumki, gidrostatik bosim sirtga tik yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun devor sirtining istalgan nuqtasidagi ΔS maydonchasiga ta'sir qiluvchi bosim kuchini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Delta P = (p_0 + \rho gh)\Delta S = h_c \Delta S. \quad (1.16)$$

Devorning butun sirtiga suyuqlik tomonidan berilgan bosim kuchi P elementar ΔS maydonchaga ta'sir qiluvchi ΔP kuchlar yig'indisiga teng bo'ladi. Shuning uchun (1.16) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$P = \sum_S \Delta P = \sum_S \rho gh = \sum_S \rho gy \sin \varphi \Delta S = \rho g \sin \varphi \sum_S y \Delta S, \quad (1.17)$$

bu yerda, $\sum_S y \Delta S \Rightarrow s_c$ — suyuqlikning erkin sirti bilan qiya



1.10-rasm. Qiya tekis sirtga ta'sir qiluvchi gidrostatik bosim kuchini aniqlashga doir chizma.

devor tekisligining kesishish nuqtasiga nisbatan maydonchanning statik momenti; $y_c \sin \alpha = h_c$ — suyuqlik joylashgan nuqta chuqurligi.

Unda, yuqoridagilar asosida (1.17) ni qayta yozish mumkin, ya'ni

$$P = p_0 S + \rho g h_c S = (p_0 + \rho g h_c) S = p_c S, \quad (1.18)$$

bu yerda, p_c — o'rganilayotgan shakldagi suyuqlikning og'irlik markazidagi ortiqcha (yoki og'irlik) bosim; p_0 — atmosfera bosimi.

Demak, **istalgan shakldagi qiya devor sirtiga suyuqlik tomonidan uzatgan gidrostatik bosim kuchining kattaligi ho'llangan devor sirti yuzasining og'irlik markazidagi gidrostatik bosim qiymati ko'paytmasiga teng** ekan. Idish tubi bilan o'rganilayotgan tekis sirtning yuqori chegarasining o'rtasi (D nuqta)ni bosim markazi deyiladi. Idish devorining ho'llangan va quruq sirtlarining har ikki tomonidan atmosfera bosimi ta'sir qilayotgan bo'lganida, p_0 e'tiborga olinmaydi. Chunki suyuqlikning erkin sirtiga va yassi devorning ort tomoniga bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan atmosfera bosimi ta'sir qiladi va ular o'zaro kompensatsiyalanadi. Shuning uchun qiya devorga suyuqlik tomonidan uzatilgan bosim kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_{o'n} = \rho g h_c S. \quad (1.19)$$

D nuqtaga ta'sir qiluvchi bosim kattaligini aniqlash uchun teng ta'sir qiluvchi kuchlar momenti teoremasidan foydalalanamiz. Ma'lumki, «ixtiyoriy o'qqa nisbatan teng ta'sir qiluvchi kuchlarning momenti shu o'qqa nisbatan tashkil etuvchi kuchlar momentlarining yig'indisiga teng»ligi asosida bu teoremani x o'qiga nisbatan quyidagicha yozish mumkin:

$$\sum_S \rho g h y \Delta S = \rho g h_c S y_D. \quad (1.19 a)$$

Ma'lumki, $y \sin \alpha = h$ va $y \sin \alpha = h_c$ bo'lgani uchun (1.19 a) ni qayta yozamiz:

$$\sum_S \rho g y^2 \sin \alpha \Delta S = \rho g h_c S y_D \sin \alpha$$

yoki

$$\rho g \sin\varphi \sum_S y^2 \Delta S = \rho g \sin\varphi y_C y_D S. \quad (1.19 \text{ b})$$

(1.19 b) tenglikning har ikki tomonini $\rho g S$ ga bo'lib, qiya devor maydonchasining x o'qiga nisbatan inersiya momentini va D nuqtaning koordinatasini topamiz:

$$\sum_S y^2 \Delta S = y_C y_D S,$$

bu yerda, $\sum_S y^2 \Delta S = I$ bo'lgani uchun $y_C y_D S = I$ bo'ladi va

$$y_D = I / y_C S.$$

Og'irlik markazidan o'tuvchi S maydonchanning inersiya momenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$I = I_C + y_C^2 S.$$

Unda, D nuqtaning koordinatasi quyidagicha ifodalanadi:

$$y_D = (y_C^2 S + I_C) / y_D S = y_D + I_C / y_C S.$$

Demak, **bosim markazi** D nuqta og'irlik markazi y_C dan quyiroqda joylashar ekan. D va S nuqtalar orasidagi bosim $I_C / y_C S$ ga farq qilar ekan.

Suyuqlikning gidrostatik bosimi idishning geometrik shakliga qarab o'zgarishi mumkin. Masalan, idish devori to'g'ri burchakli tik, h balandlikka va b kenglikda bo'lganida ortiqcha bosim quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_{o'rr} = b \rho g h^2 / 2. \quad (1.20)$$

Idish devori gorizontal joylashganida suyuqlikning gidrostatik bosimi suyuqlik balandligiga va idish sirtining yuzasiga bog'liq bo'ladi:

$$P_{o'rr} = \rho g h S. \quad (1.21)$$

Demak, suyuqlikning gidrostatik bosimi suyuqlik turiga, uning balandligiga hamda gorizontal tekis sirt yuzasi kattaligiga bog'liq ekan. Aksincha, gidrostatik paradoks hodisasida faqat bir xil suyuqlik uchun bosim qiymati o'zgarmaydi.

Masalalar

2.1-masala. Suyuqlikning to'g'on devoriga gorizontal ta'sir etuvchi kuchini toping. To'g'onning yuqori byefidagi sath (old tomonidagi) suv balandligi 15 m, uning quyi byefidagi sath balandligi 3 m, to'g'on devorining uzunligini 100 m deb oling.

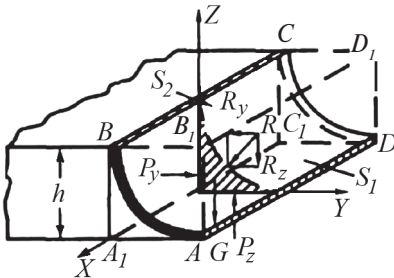
Yechish. To'g'onning yassi devoriga gorizontal yo'nalishda ta'sir etuvchi kuchini quyidagicha yozib va o'rniga qiymatlarini qo'yib hisoblaymiz:

$$P = \rho ghS = \rho g(h_{1.o.t.} S_1 - h_{2.o.t.} S) = (h_1^2 L/2) - (h_2^2 L/2) = \\ = 10^3 \cdot 9,81(225 \cdot 100/2) - (9 \cdot 100/2) = 96,15 \text{ MPa.}$$

2.2-masala. G'avvos 40 m chuqurlikda ishlamoqda. Shu chuqurlikdagi gidrostatik bosimni va g'avvos skafandrining yuzasi 2,7 m² bo'lsa, unga ta'sir qiluvchi bosim kuchini toping. Suv sirtidagi bosim $P_0 = 101325 \text{ Pa}$.

2.3. Silindrik devorga suyuqlik bosimining ta'siri

Amaliyotda suyuq, gaz, bug' holatidagi moddalar kesimi silindrik bo'lgan quvurlar bilan uzatiladi. Suyuqlik silindrik quvur devoriga qanday bosim kuchi bilan ta'sir qilishini qarab chiqamiz. Egri chiziqli sirtga suyuqlikning bergan bosimini aniqlash juda murakkab. Chunki bu teng ta'sir etuvchi kuchning uchta tashkil etuvchilari va uchta momentlar yig'indisini hisoblab topish zarur bo'ladi. Amalda, suyuqlik bosimi ta'siri ostidagi (silindrik idishlar, magistral gaz, suv, neft quvurlari devorlari va sh.k.) turli xil silindrik sirtlarga ta'sir qiluvchi kuchlarni hisoblash ko'proq tarqalgan.



1.11- rasm. Silindrik sirtga suyuqlikning uzatgan bosim kuchini aniqlashga doir chizma.

Ma'lumki, suyuqlik molekullari idish devoriga hamma yo'nalishda tik ta'sir qiladi. Lekin hamma kuchlarning teng ta'sir etuvchisini aniqlash ancha murakkab bo'lgani uchun, avvalo, suyuqlik bosimini simmetriya tekisligida yotgan yagona teng tashkil etuvchiga keltiriladi. Quvurda oqayotgan suyuqlik molekulasiga XYZ yo'nalishida kuchlar ta'sir ko'rsatishi mum-

kin (1.11-rasm). Oqim yoʻnalishi X oʻqiga parallel boʻlgani uchun $P_x = 0$ boʻladi. Unda, P_y , va P_z larning tashkil etuvchisi quyidagiga teng boʻladi:

$$P = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}. \quad (1.22)$$

Tashkil etuvchilarning qiymatlarini topamiz. Buning uchun $ABCD$ nuqtalar bilan chegaralangan silindrik sirt hamda vertikal A_1BCC_1 va gorizontal $AA_1C_1D_1$ sirtlar oraligʻida joylashgan suyuqlik muvozanati shartini aniqlaymiz. Suyuqlikning egri sirtiga gorizontal joylashgan suyuqlik tomonidan taʼsir qiluvchi kuch kattaligi son qiymati jihatidan A_1BCC_1 sirt hosil qilgan bosim kuchiga teng boʻladi:

$$P_y = \rho gh S_1 / 2.$$

Aksincha, gorizontal $A A_1 C_1 D$ sirtga taʼsir qiluvchi bosim kuchini vertikal tashkil etuvchi quyidagiga teng:

$$P_z = \rho gh S_2.$$

Quvurning silindrik devori tomonidan suyuqlik sirt kuchiga qarama-qarshi yoʻnalgan R reaksiya kuchi taʼsir qiladi. Bu kuch R_y va R_z kuchlarning tashkil etuvchisi boʻlgani uchun, ular YZ oʻqlariga qarshi yoʻnalgan. Suyuqlikning ogʻirlik kuchi ham Z oʻqiga teskari yoʻnalgan boʻladi. Unda, bu kuchlar taʼsiridagi suyuqlik muvozanatda boʻla olish shartiga mos keluvchi muvozanat tenglamalarini tuzish mumkin, yaʼni $P_y - R_y = 0$, chunki $\sum Y = 0$, shuning uchun $P_y = R_y$ boʻladi.

$P_z - R_z - G = 0$, chunki $\sum Z = 0$, shuning uchun $R_z = P_z - G$ boʻladi.

Demak, keltirilgan (1.22) tenglik suyuqlikning muvozanatini taʼminlovchi teng taʼsir qiluvchi kuchni ifodalaydi. Unda, P_y va P_z qiymatlari asosida reaksiya kuchi quyidagicha yoziladi:

$$R = \sqrt{R_y^2 + R_z^2}. \quad (1.23)$$

2.4. Quvur devorlariga suyuqlik uzatgan bosim kuchi

Suyuqlik uzluksiz muhit bo‘lgani uchun quvurda harakatlanish jarayonida uning molekularlari bir-birini o‘zaro itarishi natijasida siqilmaydigan bo‘lganidan quvur devorlariga bosim kuchini uzatadi. Quvurning devori yupqa yoki bosim katta bo‘lganida suyuqlik kuchi ta‘siridan yorilishi mumkin. Shuning uchun quvurlar muayyan bosim kuchiga bardosh bera oladigan mustahkamlikka hisoblanadi.

Quvurdagi suyuqlik bosimi P ta‘sirida quvur teng ikkiga yoki uning uzunligi bo‘ylab bir tomonidan gorizontal yo‘nalishda yorilishi mumkin (1.12-rasm).

Quvur ko‘ndalang kesimi bo‘ylab o‘tuvchi X o‘qi ta‘sir yo‘nalishida quvurning avs yoki adc egri sirtiga suyuqlikning gidrostatik bosim kuchi P_x ni aniqlash kerak. Silindrik sirt avs ning vertikal yo‘nalishdagi proyeksiyasiga ta‘sir qiluvchi P_x kuchi bosim kuchiga teng, ya‘ni

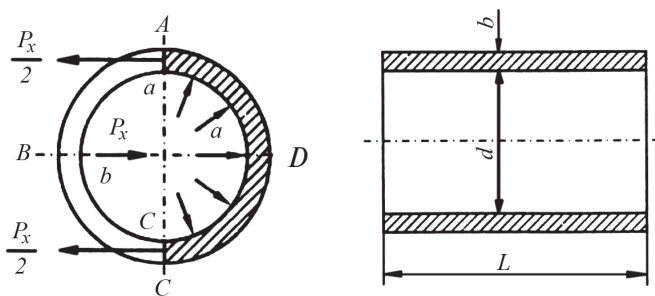
$$P_x = \ell pd, \quad (1.24)$$

bu yerda, p — suyuqlikning gidrostatik bosimi, Pa ; d va ℓ — quvur diametri va uzunligi, m.

Quvur A va C nuqtalaridan ikkiga ajralishini hisoblashda yoruvchi kuch qiymatini $0,5 P_x$ ga teng deb olinadi. Shuning uchun yorilishi mumkin bo‘lgan nuqtadagi kuchlanishni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\sigma_{yo} = \frac{P_x}{2\xi\ell} = \frac{pd\ell}{2\xi\ell} = \frac{pd}{2\xi}, \quad (1.25)$$

bu yerda, ξ — quvur devorining qalinligi.



1.12-rasm. Quvurning ichki sirtiga ta‘sir qiluvchi gidrostatik kuchi. Arximed kuchini aniqlashga doir chizma. (Bunda C nuqta ABC konturning ko‘rinmas tomonidagi nuqta).

Quvur devori yorilmasligi uchun, uning ruxsat etilgan kuchlanganlik chegarasi $|\sigma_{yo}|$ haqiqiy kuchlanganlik δ_{yo} dan kichik bo'lmashligi uchun $|\sigma_{yo}| \geq \sigma_{yo}$ shart bajarilishi kerak. Unda, quvur devorining qalinligi quyidagi shartdan topiladi:

$$\xi \geq \frac{pd}{2|\sigma_{yo}|}. \quad (1.26)$$

Quvur metalining hamma mexanik tavsiflarini nazariy jihatdan qamrab olish qiyin bo'lgani uchun amalda katta bosimli quvurlarning mustahkamlik zaxirasini orttirish maqsadida (1.26) ifodaga qo'shimcha koeffitsiyent ($\alpha = 3 \div 1 \text{ mm}$) qo'shiladi, ya'ni

$$\xi_a = \xi + \alpha.$$

Masalalar

2.3- masala. Sho'rtan — Samarqand gaz quvuridagi bosim 4 MPa bo'lishi uchun po'latdan tayyorlangan quvur devorining qalinligi qancha bo'ladi? Quvurning diametrini $d = 800 \text{ mm}$, ruxsat etilgan kuchlanganlikni $|\sigma_{yo}| = 180 \text{ MPa}$, mustahkamlikning zaxira koeffitsiyentini $\alpha = 5 \text{ mm}$ deb oling.

Yechish. Quvur devorining qalinligini topish ucluin (1.26) formuladan foydalanamiz va topilgan natijaga $\alpha = 5 \text{ mm}$.ni qo'shamiz:

$$\xi = \frac{pd}{2|\sigma_{yo}|} = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot 0,8}{2 \cdot 180 \cdot 10^6} = 0,0088 \text{ m.}$$

$$\xi_a = \xi + \alpha = 0,0088 + 0,003 = 0,0118 \text{ m} = 11,8 \text{ mm.}$$

Gaz quvuri devorining qalinligi aniq bo'lgandan so'ng davlat standartlari bo'yicha ishlab chiqariladigan quvur markasi maxsus katalog va jadvallardan topiladi.

Nazorat savollari

1. Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim kuchi haqida nima bilasiz?
2. Qiya devorga suyuqlik uzatgan gidrostatik bosim nima?
3. Silindrik devorga suyuqlik bosimining ta'siri qanday bo'ladi?
4. Quvur devorlariga suyuqlik uzatgan bosim kuchi haqida nima bilasiz?