მარინე თოფურია, ავთანდილ გოგოლაძე,
აზა სურმავა

პრაქტიკუმისათვის ჰიდრავლიკის ზოგად კურსში

მეთოდიკური მითითებები

საგამომცემლო სახლი
„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მარინე თოფურია, ავთანდილ გოგოლაძე,
აზა სურმავა

პრაქტიკუმისათვის ჰიდრავლიკის ზოგად კურსში

მეთოდიკური მითითებები

დამტკიცებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო-სამეცნიერო ლიტერატურის დარგობრივი კომისიის № 2, აქტი № 6, 15 ივლისი 2019 წ.

მეორე შევსებით განახლებული გამოცემა

თბილისი
2020

უაკ 532

სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის სპეციალობის სტუდენტები ასრულებენ ორ საშინაო დავალებას; პირველი ეხება ჰიდროსტატიკას და მოიცავს წნევის ძალების სიდიდისა და წნევის ცენტრების მდებარეობის განსაზღვრის საკითხებს სხვადასხვა ფორმის შედგენილ ზედაპირებზე, ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურების აგებას აღნიშნულ ზედაპირებზე და სხვ. მეორე დავალება ეხება ჰიდროდინამიკას და მასში განიხილება ცვლადი კვეთის მარტივი მილსადენების გაანგარიშების საკითხები როგორც თავისუფალი, ისე არათავისუფალი გამოდინებისას. ამ დავალებაში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა დაწნევის დანაკარგების განსაზღვრას სხვადასხვა სახის ჰიდრავლიკურ წინაღობათა დაძლევისას და ბერნულის განტოლების პრაქტიკულ გამოყენებას.

პრაქტიკუმი განკუთვნილია სამშენებლო და სატრანსპორტო ფაკულტეტის ბაკალავრებისათვის.

რეცენზენტები: პროფესორი, ემერიტუსი ***ზ. დანელია***

პროფესორი, ***ა. საყვარელიძე***

ნაწილი პირველი

ჰიდროსტატიკა

საშინაო დავალება 1 ტიპი (სითხის ცალმხრივი წნევა)

1. ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის სიდიდისა და წნევის ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრა შედგენილ ზედაპირზე (სურ. 1).

მოცემულია: შედგენილი *abcd* ზედაპირი (კედელი), რომელიც განიცდის H სიღრმის წყლის წნევას (სურ. 1 ა) ზედაპირის ცალკეული ნაწილების (უბნების) სიმაღლეებია $h_1 = 2{,}5$ მ, $h_1 = R = 2{,}0$ მ და $h_3 = 1{,}5$ მ; ზედაპირის სიგანე ნახაზის სიბრტყის მართობული მიმართულებით B=1,0 მ; ზედაპირის *cd* ნაწილის ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხე $\alpha = 30°$ და წყლის კუთრი წონა $\gamma = 1{,}0 \ \frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^3}$.

განვსაზღვროთ: I – ზედაპირის ცალკეულ ნაწილებზე მოქმედი ჭარბი – წონითი ჰიდროსტატიკური წნევის ძალების სიდიდეები და სათანადო წნევის ცენტრების, ე.ი. ამ ძალების მოდების წერტილების, მდებარეობა (ანალიზური ხერხით); II – შედგენილ ზედაპირზე მოქმედი ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის (ტოლქმედი ძალის) სიდიდე და მიმართულება (გარფიკული ხერხით, შემდგენ ძალთა პარალელოგრამის მიმდევრობის აგებით ან უშუალოდ ძალთა მრავალგვერდიდან); III – შემდგენელი ზედაპირის ჯამური წნევის ცენტრის (ტოლქმედი ძალის მოდების წერტილის) მდებარეობა (გრაფიკული

გზით, შემდგენ ძალთა პარალელოგრამების მიმდევრობითი აგებით ან ე.წ. „თოკის მრავალგვერდის“ ხერხით); IV – შედგენილი ზედაპირის ცალკეული ნაწილებისთვის (უბნებისთვის) აიგოს ჭარბი წონითი ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურები (სასურველია შედგენილი ზედაპირის ბრტყელი უბნებისთვის აგებული წნევის ეპიურების მიხედვით შემოწმდეს ანალიზური ხერხით განსაზღვრული სათანადო ძალების სიდიდეები და წნევის ცენტრების მდებარეობა).

ამოხსნა: მოცემული ზედაპირის კონტური უნდა გამოისახოს მილიმეტრიან ქაღალდზე (1/6 ფორმატის ზომით) გარკვეულ ხაზოვან მასშტაბში $\left(M_l = \frac{1}{50}, \frac{1}{100}, \frac{1}{200} \ldots\right)$. განსახილველი ზედაპირისთვის და წყლის სათანადო სიღრმეებისთვის მივიღოთ: $M_l = 1100$ (სურ.1, ა) უნდა შევარჩიოთ აგრეთვე ძალოვანი მასშტაბი ზედაპირის ცალკეულ ნაწილებზე მოქმედი ძალებისთვის იმის გათვალისწინებით, რომ მათი გეომეტრიული შეკრების შემდეგ ჯამური P ძალის ვექტორი, რომელიც მოდებულია წნევის ცენტრში, არ გასცდეს ნახაზის ფარგლებს $M_p = \frac{1}{5}$ ტძ, $\frac{1}{10}$ ტძ, $\frac{1}{20}$ ტძ და ა.შ. განსახილველი შემთხვევისთვის მივიღოთ $M_p = \frac{1}{5}$ ტძ, ე.ი. სქემაზე 1 სმ-ს შეესაბამება 5 ტძ. მოსახერხებელია ხაზოვანი და ძალოვანი მასშტაბების შეთავსებული გამოსახვა (სურ. 1).

1. **ზედაპირის ცალკეულ ნაწილებზე მოქმედი ჭარბი-წონითი ჰიდროსტატიკური წნევის ცენტრების მდგომარეობის განსაზღვრა ანალიზური ხერხით (სურ. 1 ა).**

1) ზედაპირის *ab* ნაწილზე (h_1 სიმაღლისა და B სიგანის ვერტიკალურ მართკუთხა ბრტყელ ზედაპირზე). მოქმედი ჭარბი-წონითი წნევის ძალის სიდიდე გამოითვლება ცნობილი ფორმულით:

$$P_{ab} = \gamma h_c \omega = \gamma h_{c1} \omega_{ab}, \tag{1.1}$$

სადაც h_{c1} მართკუთხა *ab* ზედაპირის სიმძიმის ცენტრის ჩაძირვის სიღრმეა – $h_{c1} = \frac{h_1}{2}$; ამ ზედაპირის ფართობი – ω_{ab} ამ ზედაპირის ფართობი – $\omega_{ab} = h_1 \cdot B$.

(1.1) ფორმულაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით, მივიღებთ:

$$P_{ab} = \gamma \frac{h_1}{2} h_1 B = \frac{\gamma h_1^2}{2} B = \frac{1,0 \cdot 2,5^2}{2} \cdot 1,0 = 3,125 \text{ ტძ.}$$

მანძილი წნევის d_1 ცენრტიდან *ab* კვალის წყლის თავისუფალ ზედაპირთან გადაკვეთის *a* წერტილამდე (Y_{d_1} ორდინატა) განისაზღვრება ფორმულით:

$$Y_{d_1} = Y_{c_1} + \frac{I_0^{(ab)}}{Y_{c_1} \omega_{ab}}, \tag{1.2}$$

სადაც Y_{c_1} მანძილია *ab* ზედაპირის სიმძიმის ცენტრიდან c_1 ცენტრიდან გადაკვეთის *a* წერტილამდე – $Y_{c_1} = \frac{h_1}{2}$ (განსახილველ შემთხვევაში ეს მანძილი c_1 ცენტრის ჩაძირვის სიღრმის ტოლია, ე.ი. $Y_{c_1} = h_{c_1}$) $I_0^{(ab)} - B$ სიგანისა და h_1 სიმაღლის მართ-

კუთხა ab ფართობის (ზედაპირის) ცენტრალური ინერციის მომენტი – $I_0^{(ab)} = \frac{Bh_1^3}{12}$, ω_{ab} – ამ ზედაპირის ფართობი $\omega_{ab} = h_1 B$.

(1.2) განტოლებაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით მივიღებთ

$$Y_{d_1} = \frac{h_1}{2} + \frac{\frac{Bh_1^3}{12}}{\frac{h_1}{2} \cdot h_1 \cdot B} = \frac{2}{3} h_1 = \frac{2}{3} 2,5 = 1,67 \text{ მ.}$$

ab ზედაპირისადმი მართობული P_{ab} ძალის ვექტორი და წნევის d_1 ცენტრი დავიტანოთ სქემაზე (სათანადო ძალოვან და ხაზოვან მასშტაბებში).

2) ზედაპირის *bc* ცილინდრულ ნაწილზე მოქმედი P_{bc} წნევის ძალის სიდიდის განსაზღვრისთვის წინასწარ უნდა დავადგინოთ ამ ძალის ჰორიზონტული P_x და ვერტიკალური P_z შემდგენების სიდიდეები.

P_x შემდგენის დასადგენად უნდა განისაზღვროს წყლის წნევის ძალის სიდიდე წრიული მოხაზულობის bc ცილინდრული ზედაპირის ვერტიკალურ გეგმილზე (h_2 სიმაღლისა და B სიგანის მქონე ვერტიკალურ მართკუთხა ბრტყელ ზედაპირზე) ცნობილი ფორმულით:

$$P_x = \gamma h_c' \omega_z, \tag{1.3}$$

სადაც h_c' არის bc ცილინდრული ზედაპირის ვერტიკალური გეგმილის სიმძიმის ცენტრის ჩაძირვის სიღრმე წყლის თავისუ-

ფალი ზედაპირიდან – $h'_c = h_2 + \frac{h_1}{2}$; ω_z – აღნიშნული ვერტიკალური გეგმილის ფართობი – $\omega_z = h_2 B$.

(1.3) გამოსახულებაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით მივიღებთ:

$$P_x = \gamma\left(h_1 + \frac{h_1}{2}\right)h_1 B = 1,0\left(2,5 + \frac{2,0}{2}\right)\cdot 2,0\cdot 1,0 = 7,0 \text{ ტძ.}$$

ვერტიკალური P_z შემდგენის სიდიდე წყლით შევსებული ე.წ. „წნევის სხეულის" წონის ტოლია:

$$P_z = G_{\text{წს}} = \gamma W_{\text{წს}}, \tag{1.4}$$

სადაც $G_{\text{წს}}$ და $W_{\text{წს}}$ არის შესაბამისად „წნევის სხეულის" წონა და მოცულობა (γ წყლის კუთრი წონაა), როგორც ცნობილია, „წნევის სხეულის" ქვედა ფუძე არის თვით განსახილველი ცილინდრული ზედაპირი (მისი ფართობი ტოლია R რადიუსიანი bc რკალის ნამრავლისა ცილინდრული ზედაპირის B სიგანეზე ანუ ზედაპირის ჰორიზონტული მსახველის B სიგრძეზე), ხოლო ზედა ფუძეს – bc ცილინდრული ზედაპირის გეგმილი სითხის თავისუფალ ზედაპირზე (განსხვავებულ შემთხვევაში ეს გეგმილი არის წყლის თავისუფალ ზედაპირზე მდებარე aa' სიგრძისა და B სიგანის მართკუთხედი). იმ შემთხვევაში, როცა „წნევის სხეული" თავსდება სითხის ფარგლებს გარეთ, ზედა ფუძედ უნდა მივიჩნიოთ ცილინდრული ზედაპირის გეგმილი სითხის (წყლის) თავისუფალი ზედაპირის გაგრძელებაზე.

„წნევის სხეულის" ვერტიკალური განივი ჭრილის ფართობი გამოისახება $aa'bc$ ნაკვთით (სქემაზე ეს ჭრილი დაშტრიხულია

პუნქტირით). აღნიშნული ჭრილის ფართობისთვის სქემაზე მითითებულია აღნიშვნა – $\Omega_{\text{წ.ს}}$, მაშინ „წნევის სხეულის“ მოცულობა

$$W_{\text{წ.ს}} = \Omega_{\text{წ.ს}} \cdot B = \text{ფ} \cdot \left(aa'bc\right) \cdot B .$$

განსახილველ შემთხვევაში „წნევის სხეული“ შევსებულია წყლით, იგი ითვლება დადებითად და P_z შემდგენი მიმართულია ქვემოთ. თუ განიხილება შემთხვევა, როცა „წნევის სხეული“ არ არის შევსებული წყლით, მაშინ P_z შემდგენი მიმართულია ზემოთ („წნევის სხეული“ ითვლება უარყოფითად).

ამრიგად, ზემოაღნიშნულის საფუძველზე P_z შემდგენისთვის, (1.4) გამოსახულების შესაბამისა, გვექნება

$$P_z = G_{\text{წ.ს}} = \gamma W_{\text{წ.ს}} = \gamma \Omega_{\text{წ.ს}} \cdot B = \gamma B \cdot \text{ფ} \cdot \left(aa'cb\right) =$$

$$= \gamma B\left[\left(h_1 + h_2\right) \cdot \mathrm{R} - \frac{\pi \mathrm{R}^{\,2}}{4}\right] =$$

$$= 1,0 \cdot 1,0\left[\left(2,5 + 2,0\right) \cdot 2,0 - \frac{3,14 \cdot 2,0^2}{4}\right] = 5,86 \text{ ტძ.}$$

P_x და P_z შემდგენების მიხედვით განისაზღვრება (იხ. სათანადო ძალთა სამკუთხედი 1 ა სურათზე) შედგენილი ზედაპირის bc ცილინდრულ ნაწილზე მოქმედი ჯამური წნევის ძალის სიდიდე

$$P_{bc} = \sqrt{P_x^{\,2} + P_z^{\,2}} = \sqrt{7,0^2 + 5,86^2} = 9,129 \text{ ტძ.} \qquad (1.5)$$

ახლა განვსაზღვროთ P_{bc} ძალის მოდების წერტილის ანუ წნევის d_2 ცენტრის მდებარეობა ანალიზური ხერხით. ამ მიზნით ავირჩიოთ მართკუთხა კოორდინატთა xOz სისტემა ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 1-ელ ნახაზზე (კოორდინატთა სათავეს ვირჩევთ bc რკალის სიმრუდის O ცენტრში, ხოლო Oz ღერძს

მივმართავთ ვერტიკალურად ზემოთ) და შევადგინოთ P_{bc} ძალის მოქმედების წირისა და R-რადიუსიანი bc რკალის (კვალის) განტოლებები; მიღებული სისტემის ამოხსნით გან-ისაზღვრება ამ წირების გადაკვეთის წერტილის, ე.ი. წნევის d_2 ცენტრის x და z კოორდინატები $\left[d_2(x,z)\right]$.

აღნიშნული სისტემა ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} z = x \cdot tg\alpha_1 \\ z^2 + x^2 = R^2. \end{cases} \tag{1.6}$$

ამ სისტემის პირველი განტოლება გამოსახავს კოორდინატთა სათავეზე გატარებული P_{bc} ძალის მოქმედების (წრფის) განტო-ლებას, ხოლო მეორე განტოლება – R-რადიუსიანი bc რკალის განტოლებას. (1.6) სისტემის ამოხსნის მიზნით განვსაზღვროთ P_{bc} ძალის მოქმედების წირის ჰორიზონტისადმი დახრის α_1 კუთხის ტანგენსი

$$tg\alpha_1 = \frac{P_z}{P_x}.$$

ამის შემდეგ, (1.6) სისტემა ადვილად ამოიხსნება და განისაზღვრება წნევის d_2 ცენტრის კოორდინატები: $x = 1,54$ მ და $z = 1,29$ მ. ამ კოორდინატების მიხედვით არჩეულ ხაზოვან მასშტაბში, სქემაზე უნდა დავიტანოთ წნევის d_2 ცენტრი (სურ.1 ა), ვინაიდან d_2 ცენტრი მოთავსდა bc რკალზე, უნდა ვიგულის-ხმოთ, რომ P_x და P_z შემდგენლების სიდიდეები და d_2 ცენტრის მდებარეობა განსაზღვრულია სწორად, წინააღმდეგ შემთხვევა-ში, შეცდომა უნდა ვეძიოთ P_x და P_z შემდგელებისა და $tg\alpha_1$ სიდიდეთა მნიშვნელობებში.

წნევის d_2 ცენტრში მოდებულ P_{bc} ძალის ვექტორი დავიტანოთ სქემაზე (ძალურ მასშტაბში); ცხადია P_{bc} ძალის ვექტორს ექნება რადიალური მიმართულება, ე.ი. მისი მოქმედების წირი გაივლის წრიული მოხაზულობის bc ცილინდრული ზედაპირის სიმრუდის O ცენტრში (სურ. 1,ა).

3) ზედაპირის cd ნაწილზე მოქმედი P_{cd} წნევის ძალის სიდიდე განისაზღვრება (1.1) ფორმულის მიხედვით:

$$P_{\text{cd}} = \gamma h_{\text{c3}} \omega_{\text{cd}} ,$$

სადაც h_{c3} – არის ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილი მართკუთხა cd ბრტყელი ზედაპირის სიმძიმის ცენტრის ჩაძირვის სიღრმე

$$h_{\text{c3}} = h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2};$$

ω_{cd} – ზედაპირის cd ნაწილის ფართობი $\omega_{\text{cd}} = \dfrac{h_3}{\sin\alpha \cdot B}$ (1.1)

განტოლებაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით მივიღებთ:

$$P_{\text{cd}} = \gamma \left(h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2} \right) \frac{h_3}{\sin\alpha} \cdot B = 1,0 \left(2,5 + 2,0 + \frac{1,5}{2} \right) \times$$

$$\times \frac{1,5}{\sin 30^\circ} \cdot 1,0 = 15,75 \text{ ტძ.}$$

Y_{d_3} მანძილი P_{cd} ძალის მოდების წერტილიდან, ე.ი. წნევის d_3 ცენტრიდან, სითხის თავისუფალი ზედაპირისა და cd უბნის გაგრძელებათა გადაკვეთის K წერტილამდე (სურ. 1 ა) განისაზღვრება (1.2) ფორმულის მიხედვით:

$$Y_{d_3} = Y_{\text{c}_3} + \frac{I_0^{(cd)}}{Y_{\text{c}_3} \omega_{\text{cd}}} = \frac{h_1 + h_2 + \dfrac{h_3}{2}}{\sin\alpha} + B \cdot \frac{\dfrac{\left(\dfrac{h_3}{\sin\alpha} \right)^3}{12}}{\dfrac{h_1 + h_2 + \dfrac{h_3}{2}}{\sin\alpha} \cdot B \cdot \dfrac{h_3}{\sin\alpha}} =$$

$$=\frac{2,5+2,0+\frac{1,5}{2}}{\sin 30^\circ}+\frac{\frac{\left(\frac{1,5}{\sin 30^\circ}\right)^2}{12}}{\frac{2,5+2,0+\frac{1,5}{2}}{\sin 30^\circ}}=10,5+0,071=10,571 \text{ მ.}$$

ე.ი. მანძილი cd ზედაპირის სიმძიმისა და წნევის ცენტრებს შორის

$$\delta = Y_{d_3} - Y_{c_3} = 10{,}571 - 10{,}5 = 0{,}071 \text{ მ} = 7{,}1 \text{ სმ.}$$

შედგენილი ზედაპირის cd ნაწილზე მოქმედი P_{cd} ძალის ვექტორს, რომელიც მიმართულია cd ზედაპირისადმი შიგა ნორმალის გასწვრივ და წნევის d_3 ცენტრს, რომლის მდებარეობა განისაზღვრება Y_{d_3} მანძილით (ორდინატით), დავიტანთ სქემაზე სათანადო მასშტაბებში.

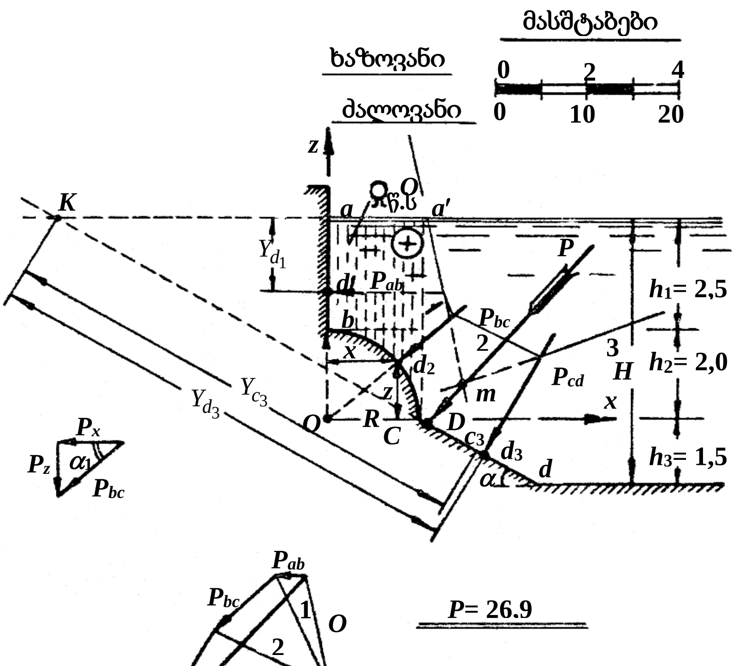
II. შედგენილ ზედაპირზე მოქმედი ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის სიდიდისა და მიმართულების განსაზღვრა გრაფიკული ხერხით (გეომეტრიული შეკრებით შემდგენ ძალთა მრავალგვერდიდან)

ჯამური ძალის (ტოლქმედის) სიდიდისა და მიმართულების განსაზღვრისათვის ავაგოთ შედგენილი ზედაპირის ცალკეულ უბნებზე მოქმედი წნევის ძალების მრავალგვერდი (ძალოვან მასშტაბში) აღნიშნული ძალების მიმართულების და მიმდევ–რობის დაცვით (სურ. 1,ზ). ამ მრავალგვერდის „შემკვრელი“ გრაფიკულად გამოსახავს ჯამური P ძალის სიდიდეს და მის მიმართულებას.

ძალური მასშტაბის მიხედვით ვადგენთ ჯამური ძალის სიდიდეს P=26,9 ტძ = 26 900 კგძ.

III. შედგენილი ზედაპირის ჯამური წნევის P ცენტრის (ტოლქმედი ძალის მოდების D წერტილის) მდებარეობის განსაზღვრა გრაფიკული ხერხით (სურ. 1).

ჯამური წნევის ცენტრის განსაზღვრის მიზნით გამოვიყენოთ ე.წ. „თოკის მრავალგვერდის“ ხერხი: ნებისმიერად შერჩეული P წერტილიდან (პოლუსიდან) გავატაროთ სხივები 0, 1, 2 და 3 ძალთა მრავალგვერდის გარდატეხის წერტილამდე ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 1, ბ სურათზე. აღნიშნული სხივები უნდა გადავიტანოთ ძირითად სქემაზე თავიანთი მიმართულებების დაცვით სათანადო ძალების (ან მათი მოქმედების წირების) გადაკვეთამდე (სურ. 1,ა); კიდური სხივების 0 და 3 გაგრძელებათა გადაკვეთის m წერტილზე გაივლის ჯამური P ძალის მოქმედების წირი, ხოლო ამ წირისა და abcd ზედაპირის კვალის გადაკვეთის წერტილით განისაზღვრება ჯამური წნევის საძიებელი D ცენტრი.



სურ. 1

ძირითად სქემაზე (სურ. 1, ბ) დავიტანოთ ჯამური P ძალის ვექტორი ძალური მასშტაბის მიხედვით, რომელიც მოდებული უნდა იყოს წნევის D ცენტრში; P ძალის მიმართულება განსაზღვრულია ძალთა მრავალგვერდიდან (სურ. 1,ბ).

IV. ჭარბი წონითი ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურების აგება abcd შედგენილი ზედაპირის (კედლის) ცალკეული ნაწილებისთვის (სურ. 2)

გავიხსენოთ, რომ ზედაპირის გასწვრივ სითხის წნევის განაწილების კანონზომიერების გრაფიკულ გამოსახულებას **ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურა** ეწოდება.

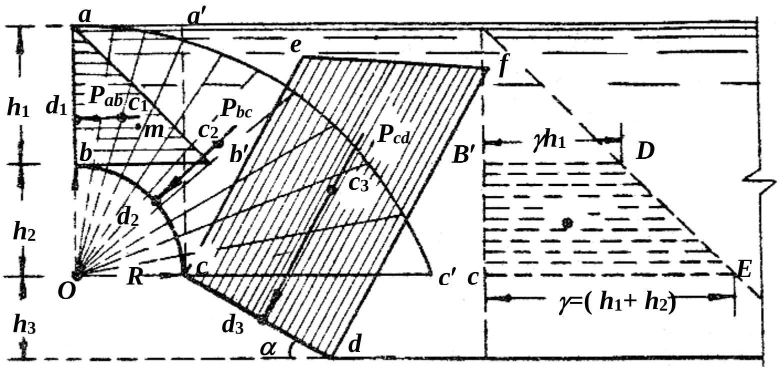
ჭარბი წონითი წნევის განტოლება $P=\gamma h$ გამოისახება კოორდინატთა სათავეზე გამავალი წრფით (h – განსახილველი წერტილის სითხეში ჩაძირვის სიღრმეა) $P = f(h)$ დამოკიდებულება წრფივი ფუნქციაა, რის გამოც ბრტყელი ზედაპირის კონტურის გასწვრივ წრფის ეპიურის ასაგებად საკმარისია განისაზღვროს წნევის მნიშვნელობები მის ორ განაპირა წერტილში და წნევის ეს სიდიდეები გამოვსახოთ გარკვეულ მასშტაბში წრფივი მონაკვეთებით. ბრტყელი ზედაპირის მართობულად გადაზომილი ამ მონაკვეთების ბოლოების

წრფით შეერთების შედეგად მივიღებთ წნევის ეპიურის შემომსაზღვრელ წირს (ე.ი. აიგება სათანადო წნევის ეპიური). თვალსაჩინოებისთვის მიზანშეწონილია წნევის მასშტაბი შეუ-თავსდეს სქემის ხაზოვან მასშტაბს, რისთვისაც წნევის სიდი-დეები უნდა გამოისახოს წყლის სვეტის სიმაღლეებით (მაგალითად, თუ განიხილება $\gamma = 1 \ \frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^3}$ კუთრი წონის წყალი, მაშინ ზედაპირიდან h სიმაღლეზე მდებარე წერტილში ჭარბი წნევა $P = \gamma h = 1 \cdot h \ \frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^2}$ გამოისახება ხაზოვან მასშტაბში გადაზო-მილი h მონაკვეთით: თუ განიხილება $\gamma_{\text{ვ.წ.}} = 13,6 \frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^3}$ კუთრი წონის ვერცხლისწყალი, მაშინ ზედაპირიდან h სიღრმეზე მდებარე წერტილში ჭარბი წნევა $P = \gamma_{\text{ვ.წ.}} \cdot h = 13,6h \ \frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^2}$ გამოისა-ხება ხაზოვან მასშტაბში გადაზომილი $13,6 \cdot h$ მონაკვეთით).

მრუდწირული ზედაპირისთვის წნევის ეპიურების ფორმა უფრო რთულია, ვიდრე ბრტყელი ზედაპირისთვის. ეს სირ-თულე მდგომარეობს იმაში, რომ ნებისმიერ წერტილში ჰიდ-როსტატიკური წნევა ნორმალურია (მართობულია) მრუდწი-რული ზედაპირისადმი, ე.ი. წნევის მოქმედების წირი ნების-მიერ წერტილში გაივლის ზედაპირის სიმრუდის ცენტრში (ცილინდრული ზედაპირის შემთხვევაში წნევას ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში ექნება რადიალური მიმართულება). ეპიური შემოიფარგლება მრუდი წირით, რომლის ასაგებად ორი წერტილი უკვე აღარ არის საკმარისი.

ცილინდრულ ზედაპირზე წყლის ჭარბი წნევითი ეპიურის ასაგებად ამ ზედაპირის კვალი (რკალი) უნდა დაიყოს ტოლ ნაწილებად (მაგალითად, 10 ტოლ ნაწილად); დაყოფის წერტილიდან რადიალური მიმართულებით უნდა გადაიზომოს თითოეული მათგანის ჩაძირვის სიმაღლეების ტოლი მონაკვეთები ($\gamma = 1\ \frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^3}$) და ამ მონაკვეთების ბოლოების მრუდი წირით შეერთებით, მივიღებთ ჭარბი წნევის მრუდწირული ეპიურის შემომსაზღვრელ წირს (ე.ი. აიგება სათანადო წნევის ეპიური).

ახლა კვლავ დავუბრუნდეთ განსახილველ შედგენილ abcd ზედაპირს; ab ნაწილზე ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიური გამოისახება ტოლფერდა სამკუთხედით (სურ. 2) bb' გამოსახავს γh_1 წნევას (b წერტილში ab კვალის მართობულად გადაზომილია h_1 მონაკვეთი მოცემულ ხაზოვან მასშტაბში).



სურ. 2

ზედაპირის ცილინდრულ bc ნაწილზე წნევის ეპიური გამოისახება ac′cb ნაკვეთით; c წერტილში რადიალური მიმართულებით გადაზომილია cc' მონაკვეთი, რომელიც გამოსახავს

$\gamma\left(h_1+h_2\right)$ წნევის (ე.ი. გადაზომილია h_1+h_2 მონაკვეთი), ხოლო b წერტილში ანალოგიურად აღმართულია ba მონაკვეთი, რომელიც გამოსახავს γh_1 წნევას (ე.ი. გადაზომილია h_1 ვერტიკალური მონაკვეთი, რომლის ბოლო მოთავსებულია წყლის თავისუფალ ზედაპირზე a წერტილში).

ზედაპირის cd ნაწილზე (დახრილ ბრტყელ cd ზედაპირზე) წნევის ეპიური გამოისახება *cefd* ტრაპეციით. *c* წერტილში *cd* ზედაპირის მართობულად გადაზომილია *ce* მონაკვეთი, რომელიც გამოსახავს $\gamma(h_1+h_2)$ ჭარბი წონით წნევას, ხოლო *d* წერტილში, აგრეთვე მართობული მიმართულებით, გადაზომილია *df* მონაკვეთი, რომელიც გამოსახავს $\gamma(h_1+h_2+h_3)$ წნევას (ე.ი. ტრაპეციული ეპიურის ქვედა ფუძე $h_1+h_2+h_3$ მონაკვეთის ტოლია).

ახლა გავიხსენოთ წნევის ეპიურის შემდეგი თვისებები: 1) მუდმივი სიგანის ნებისმიერი მოხაზულობის ზედაპირზე მოქმედი ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის სიდიდე შესაბამისი წნევის ეპიურის ფართობის ამ ზედაპირის სიგანეზე ნამრავლის ტოლია $(P=\Omega_{\text{ეპ}}\cdot b)$; 2) მუდმივი სიგანისა და ნებისმიერი ფორმის ზედაპირზე მოქმედი ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის მოქმედების წირი გაივლის შესაბამისი წნევის ეპიურის სიმძიმის ცენტრზე, რითაც განისაზღვრება ამ ძალის მოდების წერტილის, ე.ი. წნევის ცენტრის მდებარეობა.

შემოწმებისთვის მიზანშეწონილია ანალიზური ხერხით დადგენილი P_{ab}, P_{bc} და P_{cd} ძალების სიდიდეები განვსაზღვროთ აგრეთვე გრაფიკულ-ანალიზური ხერხით სათანადო

წნევის ეპიურების მიხედვით (ეპიურის პირველი თვისების გამოყენებით).

ზედაპირის ab ნაწილის შესაბამისი სამკუთხა ეპიურის ფუძე, ე.ი. bb' მონაკვეთი, γh_1 სიდიდის ტოლია, სიმაღლე – h_1 სიღრმის, მაშინ

$$\Omega_{ეპ}^{abb'}=\frac{1}{2}[bb']\cdot[ab]\frac{1}{2}\gamma h_1\cdot h_1=\frac{\gamma h_1^2}{2} \text{ და } P_{ab}=\Omega_{ეპ}^{abb'}\cdot B=\frac{\gamma h_1^2}{2}\cdot B .$$

ე.ი. მივიღეთ იგივე შედეგი რაც ანალიზური (1.1) ფორმულით.

ზედაპირის cd ნაწილის შესაბამისი ტრაპეციული ფორმის ეპიურის ზედა ფუძის, ე.ი. ce მონაკვეთის სიგრძე ტოლია $\gamma(h_1+h_2)$ სიდიდის, ხოლო ქვედა ფუძის სიგრძე $\gamma(h_1+h_2+h_3)$ სიდიდის, მაშინ

$$\Omega_{ეპ}^{(cefd)}=\frac{1}{2}\left[\gamma\left(h_1+h_2\right)+\gamma\left(h_1+h_2+h_3\right)\right]\cdot\frac{h_3}{\sin\alpha}=$$
$$=\gamma\left(h_1+h_2+\frac{h_3}{2}\right)\cdot\frac{h_3}{\sin\alpha}$$

და

$$P_{bc}=\Omega_{ეპ}^{(cefd)}\cdot B=\gamma\left(h_1+h_2+\frac{h_3}{2}\right)\cdot\frac{h_3}{\sin\alpha}\cdot B .$$

ე.ი. მივიღეთ იგივე შედეგი რაც ანალიზური (1.1) ფორმულით.

ზედაპირის bc ცილინდრულ ნაწილზე წნევის ძალის სიდიდე შესაბამისი მრუდწირული ac′cb ეპიურის ფართობის ზედაპირის სიგანეზე ნამრავლის ტოლია $\left(P_{bc}=\Omega_{ეპ}^{(cefd)}\cdot B\right)$, მაგრამ აღნიშნული ფართობის დადგენა დიდ სირთულეს წარმოად-გენს და ამიტომ გრაფიკულ-ანალიზური გზით უნდა განი-საზღვროს P_{bc} ძალის ჰორიზონტალური P_x და ვერტიკალური P_z შემდგენები. P_x შემდგენის სიდიდე შეიძლება განისაზღ-

ვროს bc ცილინდრული ზედაპირის ვერტიკალური გეგმილის-თვის აგებული $B'DEC$ ტრაპეციული ფორმის ეპიურის ფართო-ბით (სურ. 2):

$$\Omega_{\text{ეპ}}^{(B'DEC)} = \frac{1}{2}\left[\gamma h_1 + \gamma\left(h_1 + h_2\right)\right]\cdot h_2 = \gamma\left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right)\cdot h_2$$

და

$$P_x = \Omega_{\text{ეპ}}^{(B'DEC)}\cdot B = \gamma\left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right)\cdot h_2\cdot B\ .$$

ე.ი. მივიღეთ იგივე რაც ანალიზური (1.3) ფორმულით.

P_z შემდგენის განსაზღვრის წესი განხილულია 1 პუნქტში; მისი სიდიდე გამოითვლება (1.4) გამოსახულების მიხედვით aa'cb ნაკვეთის ფართობით.

წნევის ეპიურების მეორე თვისების თანახმად P_{ab} ძალის მოქმედების წირი გაივლის abb' ეპიურის სიმძიმის c_1 ცენტრში და მას ექნება ab ზედაპირისადმი მართობული მიმართულება (ე.ი. გრაფიკულად განისაზღვრება d_1 წნევის ცენტრის მდება-რეობა): P_{bc} ძალის მოქმედების წირი გაივლის ac′cb მრუდწი-რული ეპიურის სიმძიმის c_2 ცენტრში და მას ექნება ზედაპი-რისადმი რადიკალური მიმართულება: მაგრამ c_2 ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრა დიდ სირთულეს წარმოადგენს და ამიტომ უმჯობესია დავადგინოთ P_x და P_z შემდგენი ძალების მოქმედების წირების ორიენტირება: P_x შემდგენის მოქმედების წირი გაივლის ჰორიზონტული წნევის შესაბამისი $B'DEC$ ეპიური სიმძიმის n ცენტრში და მას მას ექნება ჰორიზონტული მიმარ-თულება; P_z შემდგენის მოქმედების წირი გაივლის წნევის სხეულის ვერტიკალური განივი ჭრილის ფართობის სიმძიმის

m ცენტრში, ე.ი. $abca'$ ნაკვთის სიმძიმის ცენტრში და მას ექნება ვერტიკალური მიმართულება P_{bc} ძალის მოქმედების წირი კი გაივლის P_x და P_z შემდგენების მოქმედების წირების გადაკვეთის წერტილში და მას ექნება რადიალური მიმართულება; ცხადია, ამ უკანასკნელის გადაკვეთით bc ზედაპირთან განისაზღვრება წნევის d_2 ცენტრი (ნახ. 1,ა). აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ სიმძიმის m ცენტრის მდებარეობის პოვნა სირთულეს წარმოადგენს და ამიტომ წნევის d_2 ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრა მიზანშეწონილია ჩავატაროთ 1 პუნქტში განხილული ანალოგიური ხერხით, ე.ი. (1.6) სისტემის ამოხსნით.

P_{cd} ძალის მოქმედების წირი გაივლის ტრაპეციული ფორმის $cefd$ ეპიურის სიმძიმის c_3 ცენტრზე და მას ექნება cd ზედაპირისადმი მართობული მიმართულება (ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრის გრაფიკული განსაზღვრა სირთულეს არ წარმოადგენს). P_{cd} ძალის მოქმედების წირის გადაკვეთით cd ზედაპირთან განისაზღვრება წნევის d_3 ცენტრი.

2. ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის სიდიდისა და წნევის ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრა სხვადასხვაგვარად ორიენტირებულ ცილინდრულ ზედაპირზე (სურ. 3)

მოცემულია: წრიული მოხაზულობის ჰორიზონტალურ მსახველიანი ცილინდრული bc ზედაპირის ორიენტირების ორი ვარიანტი (სურ. 3 ა,ბ); ა სქემაზე გამოსახული bc ზედაპირი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ე.წ. სექტორული საკეტის სადაწნეო ზედაპირად, ხოლო ბ სქემაზე გამოსახულების ე.წ. სეგმენტური

საკეტის სადაწნეო ზედაპირად. ნახაზის ორივე სქემისთვის მოცემულია შემდეგი ზომები: წყლის სიღრმეები $h_1 = 1{,}5$ მ და $h_2 = 2{,}0$ მ, ცილინდრული *bc* ზედაპირების სიმრუდის რადიუსი $R = 2{,}3$ მ, ცენტრალური კუთხე $\varphi = 60^\circ$ და ჰორიზონტული მსახველების სიგრძე (ზედაპირების სიგანე ნახაზის სიბრტყის მართობული მიმართულებით) *B*=4,0 მ.

განვსაზღვროთ: განსახილველ ცილინდრულ *bc* ზედაპირზე (ა და ბ სქემები) მოქმედი ჭარბი წონითი ჰიდროსტატიკური წნევის P_{cd} ძალების სიდიდეები, მათი მიმართულებები და *d* ცენტრების მდებარეობა (წნევის ცენტრის მდებარეობა განვსაზ-ღვროთ ანალიზური ხერხით).

ამოხსნა. როგორც ვიცით, ცილინდრულ ზედაპირზე მოქ-მედი წნევის P_{cd} ძალის ვერტიკალური P_x შემდგენის სიდიდე ამ ზედაპირის ვერტიკალურ გეგმილზე მოქმედი ჭარბი წონითი წნევის ძალის სიდიდის ტოლია. ორივე განსახილველი სქემის-თვის *bc* ზედაპირების ვერტიკალური გეგმილების ფართობები ერთმანეთის ტოლია და წარმოადგენს h_2 სიმაღლისა და *B* სიგანის ვერტიკალურ მართკუთხედებს, ე.ი. მათი ფართობები ტოლია $\omega_2 = h_2 B$; აღნიშნული ვერტიკალური გეგმილების სიმძიმის ცენტრების სითხეში (წყალში) ჩაძირვის სიღრმეები იქნება $h'_c = h_1 + \dfrac{h_2}{2}$; ამიტომ ორივე სქემისთვის P_x შემდგენის სიდიდე (1.3) ფორმულის თანახმად

$$P_x = \gamma h'_c \omega_2 = \gamma\left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right)h_2 B = 1{,}0\left(1{,}5 + \frac{2{,}0}{2}\right)\cdot 2{,}0\cdot 4{,}0 = 20 \text{ ტძ.}$$

ახლა გავიხსენოთ, რომ წნევის P_{cd} ძალის ვერტიკალური P_z შემდგენის სიდიდე ე.წ. „წნევის სხეულის“ შესაბამისი $W_{\text{წ.ს.}}$ მოცულობის მქონე წყლის $G_{\text{წ.ს.}}$ წონის ტოლია. წნევის სხეულის ქვედა ფუძეს ორივე სქემისთვის არის თვით ცილინდრული bc ზედაპირი (სურ. 3), ხოლო მის ზედა ფუძეს ა-სქემისთვის არის bc ზედაპირის გეგმილი სითხის თავისუფალ ზედაპირზე (ჰორიზონტული მართკუთხედი $(|aa'|\cdot B)$; ბ – სქემისთვის კი – bc ზედაპირის გეგმილი წყლის თავისუფალი ზედაპირის გაგრძელებაზე $(|aa'|\cdot B)$. ორივე სქემაზე სათანადო წნევის სხეულების განივი ჭრილების ფართობები $(\Omega_{\text{წ.ს}}=\Omega^{abca'}_{\text{წ.ს}})$ დაშტრიხულია ვერტიკალურად ა –სქემაზე წნევის სხეული შევსებულია წყლით და ამიტომ P_z მდგენელი მიმართულია ქვემოთ, ხოლო ბ სქემის შემთხვევაში, წნევის სხეული ცარიელია (მოთავსებულია სითხის ფარგლებს გარეთ) და ამიტომ P_z მდგენელი მიმართულია ვერტიკალურად ზემოთ. (4) ფორმულით განვსაზღვროთ ჯამური ძალის ვერტიკალური P_z მდგენელი. ა – სქემისათვის წნევის სხეული დადებითია.

$$P_z=G_{\text{წ.ს}}=\gamma W_{\text{წ.ს}}=\gamma\Omega^{abca'}_{\text{წ.ს}}\cdot B=\gamma B\Big[\text{ფ}\cdot\left(abb'a'\right)_{\text{მართკ}}+$$

$$\text{ფ}\cdot\left(bb'0c\right)_{\text{ტრაპ}}-\text{ფ}\cdot\left(b'0c\right)_{\text{სექტ}}\Big]=$$

$$=\gamma\cdot B\left[h_1\left(R-R\cos\varphi\right)+\frac{\left(R-R\cos\varphi\right)+R}{2}h_2-\frac{\pi R^2}{360}\varphi\right]=$$

$$=1,0\cdot4,0[1,5(2,3-2,3\cos60°)+\frac{(2,3-2,3\cos60°)+2,4}{2}\cdot2,0-$$

$$\left.-\frac{3,14\cdot2,3^2}{360}60\right]=9,626\text{ ტძ.}$$

bc ზედაპირზე რადიალური მიმართულებით მოქმედი ჯამური P_{cd} წნევის ძალის სიდიდე ა – სქემისთვის გამოითვლება (1.5) გამოსახულებით:

$$P_{cd} = \sqrt{{P_x}^2 + {P_z}^2} = \sqrt{20^2 + 9,626^2} = 22,195 \text{ ტძ.}$$

ამ ძალის მოდების წერტილის ე.ი. წნევის d ცენტრის მდებარეობისთვის კოორდინატთა სათავე ავირჩიოთ bc ცილინდრული ზედაპირის სიმრუდის O ცენტრში, ხოლო X და Z ღერძები მივმართოთ ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-3 სურათის ა – სქემაზე. ამის შემდეგ, შევადგინოთ (1.6) განტოლებათა სისტემა და განვსაზღვროთ წნევის d ცენტრის კოორდინატები (ანალიზური ხერხით):

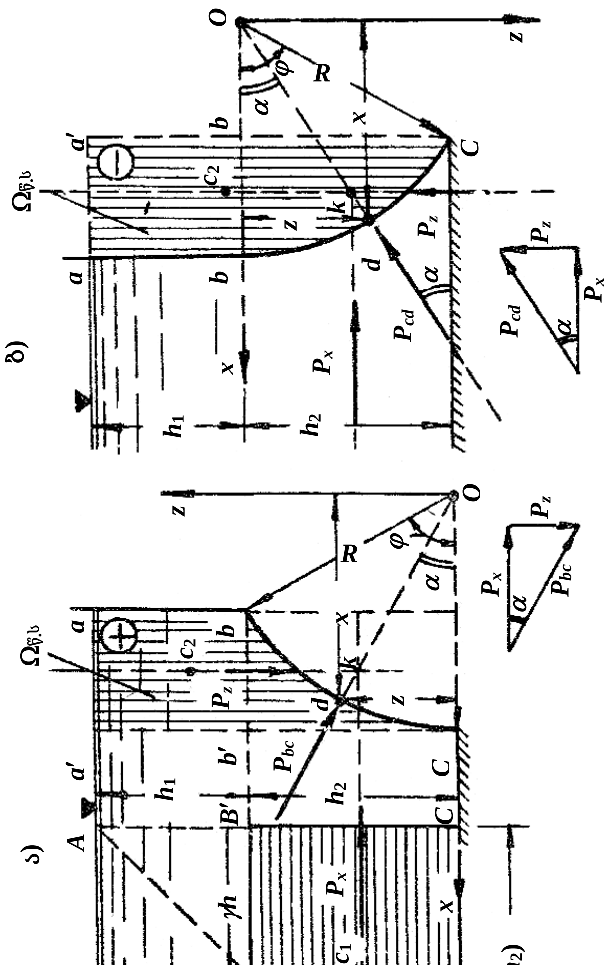
$$\begin{cases} x^2 + z^2 = R^2 \\ z = xtg\alpha \end{cases}, \quad tg\alpha = \frac{P_z}{P_x} = \frac{9,626}{20,0} = 0,4813.$$

ამიტომ $x^2 + \left(x \cdot 0,4813\right)^2 = 2,3^2$, საიდანაც $x = 2,072$ მ $\approx 2,1$ მ და $z = 2,072 \cdot 0,4813 = 0,997$მ$\approx 1$ მ. ვინაიდან წნევის d ცენტრი, რომლის კოორდინატებია $x = 2,1$ მ და $z = 1,0$ მ, საკმაო სიზუსტით თავსდება bc რკალზე (სურ. 3, ა), ვრწმუნდებით ჩატარებული გაანგარიშების სისწორეში. ცხადია P_{bc} ძალა მიმართულია წნევის d ცენტრში გატარებული მხებისადმი მართობულად, ე.ი. რადიალური მიმართულებისაა და მისი მოქმედების წირი გაივლის სიმრუდის O ცენტრში.

მეორე მხრივ გავიხსენოთ, რომ ჯამური P_{bc} ძალის ჰორიზონტული P_x მდგენელის მოქმედების წირი გაივლის ჰორიზონტული წნევის გამომსახველი $B'CDE$ ეპიურის (ე.ი. bc ზედაპირის ვერტიკალური გეგმილისთვის აგებული ეპიურის) სიმძიმის c_1 ცენტრში (სურ. 3 ა); P_z მდგენელის მოქმედების

წირი – „წნევის სხეულის“ ვერტიკალური განივი ჭრილის ფართობის ($\Omega^{abca}_{\text{წ.ს}}$) სიმძიმის c_1 ცენტრში, ხოლო ჯამური P_{bc} ძალის მოქმედების წირი $-P_x$-სა და P_z მდგენელების მოქმედების წირის გადაკვეთის K წერტილში (ამ უკანასკნელს ექნება რადიალური მიმართულება, რითაც განისაზღვრება წნევის d ცენტრის მდებარეობა).

წნევის ცენტრის განსაზღვრის განხილული გრაფიკული ხერხი მართებულია ცილინდრული ზედაპირის ორიენტირების ნებისმიერი ვარიანტისათვის.



სურ. 3

მე-3 სურათზე გამოსახული ბ სქემის შემთხვევაში P_z მდგენელი განისაზღვრება უარყოფითი ნიშნების მქონე წნევის სხეულის წონით, ე.ი. P_z მდგენელი მიმართული იქნება ვერტიკალურად ზემოთ და მისი სიდიდე ტოლია

$$P_z = G_{\text{წ.ს}} = \gamma W_{\text{წ.ს}} = \gamma \Omega_{\text{წ.ს}}^{(abca')} \cdot B = \gamma B \Big[\text{ფ} \cdot \left(abb'a'\right)_{\text{მართკ}} +$$

$$\text{ფ} \cdot \left(bb'0c\right)_{\text{სექტ}} - \text{ფ} \cdot \left(b'0c\right)_{\text{სამკ}} \Big] =$$

$$= \gamma \cdot B \left[h_1 \left(R - R\cos\varphi\right) + \frac{\pi R^2}{360}\varphi - \frac{1}{2} h_2 R \cos\varphi \right] =$$

$$= 1,0 \cdot 4,0 \Big[1,5(2,3 - 2,3\cos 60°) + \frac{3.14 \cdot 2.3^2}{360} 60 -$$

$$- \frac{1}{2} 2,0 \cdot 2,3\cos 60° \Big] = 13,374 \text{ ტძ.}$$

ჯამური P_{bc} ძალის სიდიდე (5) გამოსახულების მიხედვით

$$P_{bc} = \sqrt{P_x^{\,2} + P_z^{\,2}} = \sqrt{20^2 + 13,374^2} = 24,09 \approx 24,1 \text{ ტძ.}$$

წნევის d ცენტრის მდებარეობა განსახილველ შემთხვევაში (სურ. 3, ბ) განისაზღვრება ზემოთ განხილული ა სქემის ანალოგი-

ურად; კოორდინატთა სათავეს ვირჩევთ *bc* ზედაპირის სიმრუდის *O* ცენტრში, ხოლო *X* და *Z* ღერძებს მივმართავთ ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია ბ სქემაზე; (6) სისტემის საფუძველზე გვექნება

$$x^2 + z^2 = 2,3^2 ,$$

$$z = xtg\alpha = x\frac{P_z}{P_x} = x\frac{13,374}{20,0} = x \cdot 0,6687 . \qquad (b)$$

ამიტომ $x^2 + \left(x \cdot 0,6687\right)^2 = 2,3^2$, საიდანაც $x = 1,91$ მ და $z = 1,91 \cdot 0,6687 = 1,28$ მ, ვინაიდან წნევის *d* ცენტრი, რომლის კოორდინატებია $x = 1,91$ მ და $z = 1,28$ მ, ზუსტად თავსდება *bc* ზედაპირის სიმრუდის *O* ცენტრში.

სქემების გამოხაზვის მიზნით უნდა შეირჩეს ხაზოვანი და ძალოვანი მასშტაბი $\left(M_1 = \frac{1}{50}; M_p = \frac{1}{5} \text{ ტძ}\right)$.

საშინაო დავალების II ტიპის (სითხის ორმხრივი წნევა)

3. ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის სიდიდისა და წნევის ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრის მეთოდიკა სითხის ორმხრივი წნევისას ნებისმიერად ორიენტირებულ ბრტყელ ზედაპირზე (სურ. 4).

მოცემულია ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილი ბრტყელი მართკუთხა AB ზედაპირი, ზედაპირის *b* სიგანე (სურათის სიბრტყის მართობული მიმართულებით), წყლის სიღრმე ზედაპირის წინ (ზედა ბიეფში) – H_1 მათ უკან (ქვედა ბიეფში) – H_2 (ნახ. 4) და წყლის კუთრი წონა $\gamma = 1,0\frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^3}$.

განვსაზღვროთ: ზედაპირზე მოქმედი ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის P ძალის სიდიდე და შესაბამისი წნევის d ცენტრის (ამ ძალის მოდების წერტილის) მდებარეობა.

ამოხსნა: ზედაპირის წინ H_1 წყლის სიღრმით გამოწვეული ჭარბი წონითი P_1 წნევის ძალის სიდიდე გამოვთვალოთ (1.1) ფორმულის მიხედვით:

$$P_1 = \gamma h_{c1} \cdot \omega_1 = \gamma \frac{H_1}{2} \frac{H_1}{\sin\alpha} \cdot b = \frac{\gamma H_1^2}{2\sin\alpha} \cdot b \ (\text{ტმ}), \qquad (a)$$

სადაც $\omega_1 = \dfrac{H_1}{\sin\alpha} \cdot b$ არის AB მართკუთხა ზედაპირის ფართობი.

ანალოგიურად განისაზღვრება წყლის H_2 სიღრმით გამოწვეული P_2 წნევის ძალის სიდიდე ზედაპირის მარჯვენა მხარეზე (ქვედა ბიეფიდან):

$$P_2 = \frac{\gamma H_2^2}{2\sin\alpha} \cdot b\,. \qquad (a')$$

AB ზედაპირზე წყლის ორმხრივი წნევის შედეგად მოქმედი ჯამური (ტოლქმედი) P ძალის სიდიდე განისაზღვრება როგორც საწინააღმდეგოდ მიმართული პარალელური P_1 და P_2 ალგებრული ჯამი:

$$P = P_1 - P_2 = \frac{\gamma H_1^2}{2\sin\alpha} \cdot b - \frac{\gamma H_2^2}{2\sin\alpha} \cdot b = \frac{\gamma \left(H_1^2 - H_2^2\right)}{2\sin\alpha} b\,,$$

ე.ი.

$$P = \frac{\gamma (H_1^2 - H_2^2) b}{2\sin\alpha}\,. \qquad (1.7)$$

AB ზედაპირზე ორმხრივი წნევის შედეგად მოქმედი ძალის ორიენტირების დადგენის მიზნით განვსაზღვროთ P_1, P_2 და

ტოლქმედი (ჯამური) P ძალების სათანადო d_1, d_2 და d წნევის ცენტრების მდებარეობა (ამ ძალების მოდების წერტილების მდებარეობა) ანალიზური ხერხით (სურ. 4).

d_1 წნევის ცენტრის Y_{d_1} ორდინატა (მანძილი გადაკვეთის A წერტილიდან d_1 წერტილამდე) შეიძლება გავიანგარიშოთ (1.2) გამოსახულების მიხედვით:

$$Y_{d_1} = Y_{c_1} + \frac{I_0^{AB}}{Y_{c_1} \cdot \omega_1}, \qquad (b)$$

სადაც Y_{c_1} არის AB ზედაპირის c_1 სიმძიმის ცენტრის ორდინატა ანუ მანძილი A წერტილიდან AB ზედაპირის სიმძიმის c_1 ცენტრამდე (c_1 წერტილი სქემაზე არ არის ნაჩვენები)

$$Y_{c_1} = \frac{1}{2}|AB| = \frac{1}{2}\frac{H_1}{\sin\alpha}.$$

I_0^{AB} – განსახილველი AB ზედაპირის ინერციის მომენტი ცენტრალური ღერძის მიმართ

$$I_0^{AB} = \frac{b|AB|^3}{12} = \frac{b\left(\frac{H_1}{\sin\alpha}\right)^3}{12}, \qquad (b)$$

$\omega_1 - AB$ ზედაპირის ფართობი $- \omega_1 = b|AB| = b\frac{H_1}{\sin\alpha}$, მაშასადამე

$$Y_{d_1} = \frac{H_1}{2\sin\alpha} + \frac{b\left(\frac{H_1}{\sin\alpha}\right)^3}{12 \cdot \frac{H_1}{2\sin\alpha} \cdot \frac{H_1}{\sin\alpha} \cdot b} = \frac{2}{3}\frac{H_1}{\sin\alpha}. \qquad (c)$$

ანალოგიურად დავადგენთ P_2 წნევის ძალის Y_{d_2} ორდინატას:

$$Y_{d_2} = \frac{2}{3}\frac{H_2}{\sin\alpha}.$$

P_1 და P_2 ძალების სათანადო L_{d_1} და L_{d_2} მხები B წერტილის მიმართ (მანძილები d_1 და d_2 ცენტრიდან B წერტილამდე)

$$L_{d_1} = |AB| - Y_{d_1} = \frac{H_1}{\sin\alpha} - \frac{2}{3}\frac{H_1}{\sin\alpha} = \frac{1}{3}\frac{H_1}{\sin\alpha}. \qquad (d)$$

ანალოგიურად

$$L_{d_2} = |EB| - Y_{d_2} = \frac{H_2}{\sin\alpha} - \frac{2}{3}\frac{H_2}{\sin\alpha} = \frac{1}{3}\frac{H_2}{\sin\alpha}. \qquad (d')$$

ჯამური P ძალის წნევის d ცენტრის მდებარეობა (P ძალის L_D მხარი) შეიძლება განვსაზღვროთ მომენტთა განტოლებიდან B წერტილის მიმართ:

$$P \cdot L_d = P_1 \cdot L_{d_1} - P_2 \cdot L_{d_2}$$

ან

$$L_d = \frac{P_1 \cdot L_{d_1} - P_2 \cdot L_{d_2}}{P}. \qquad (e)$$

(e) გამოსახულებაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით მივიღებთ

$$L_d = \frac{\gamma\dfrac{H_1^2}{2\sin\alpha}b\dfrac{H_1}{3\sin\alpha} - \gamma\dfrac{H_2^2}{2\sin\alpha}b\dfrac{H_2}{3\sin\alpha}}{\dfrac{\gamma\left(H_1^2 - H_2^2\right)b}{2\sin\alpha}} \; L_d = \frac{H_1^3 - H_2^3}{3\sin\alpha\left(H_1^2 - H_2^2\right)}$$

ე.ი

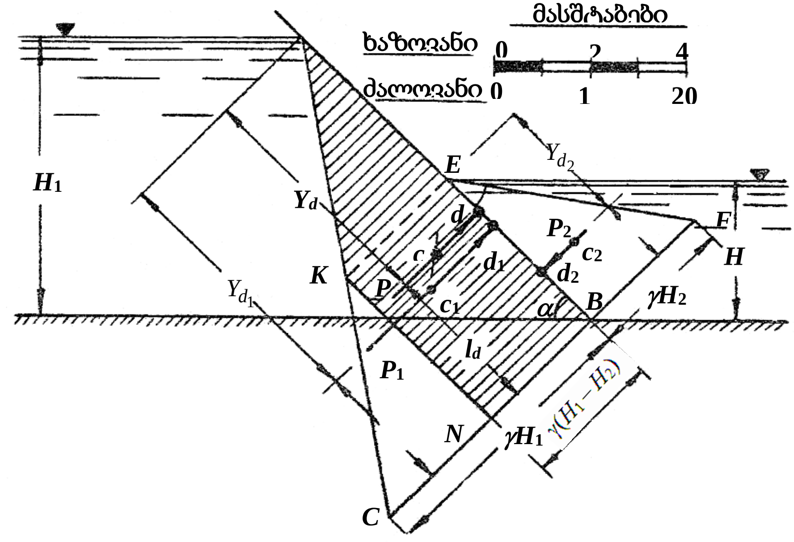
$$L_d = \frac{H_1^3 - H_2^3}{3\sin\alpha\left(H_1^2 - H_2^2\right)}. \qquad (1.8)$$

ცხადია, წნევის d ცენტრში მოდებულ ჯამურ P ძალას (AB ზედაპირზე მოქმედი ორმხრივი წნევის ტოლქმედ P ძალას) ექნება AB ზედაპირისადმი მართობული მიმართულება და ამ ზედაპირზე იმოქმედებს ზედა მხრიდან (სურ. 4).

უნდა აღინიშნოს, რომ P_1 და P_2 წნევის ძალების სიდიდეები, სათანადო წნევის d_1 და d_2 ცენტრების მდებარეობა და ჯამური (ტოლქმედი) P ძალის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს გრაფიკული ხერხითაც, თუ გამოვიყენებთ ჰიდროსტატიკური წნევის თვისებებს.

წყლის H_1 სიღრმით გამოწვეული ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიური AB ზედაპირის გასწვრივ (ზედა მხრიდან) გამოისახება ABC სამკუთხედით (B წერტილში AB ზედაპირის მართობულად უნდა გადავზომოთ H_1 სიღრმე, ვინაიდან $\gamma_{\text{წყ}} = 1\frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^3}) \cdot P_1$ ძალის სიდიდე ტოლია ABC ეპიურის $\Omega_{\text{ეპ}}^{(ABC)}$ ფართობის ნამრავლისა ზედაპირის b სიგანეზე

$$P_1 = \Omega_{\text{ეპ}}^{(ABC)} \cdot b = \frac{1}{2}\gamma H_1 \cdot |AB| \cdot b = \frac{1}{2}\gamma H_1 \frac{H_1}{\sin\alpha} b = \gamma \frac{H_1^2}{2\sin\alpha} b .$$



სურ. 4

ე.ი. მივიღეთ იგივე (a) გამოსახულება. P_1 ძალის მოქმედების წირი გაივლის ABC სამკუთხა ეპიურის სიმძიმის c_1 ცენტრში, რითაც განისაზღვრება წნევის d_1 ცენტრის მდებარეობა და Y_{d_1} ორდინატი (მხარი $L_{d_1} = |AB| - Y_{d_1}$).

ანალოგიურად განისაზღვრება ზედაპირის ქვედა მხრიდან წყლის H_2 სიღრმით გამოწვეული P_2 წნევის ძალის სიდიდე:

$$P_2 = \Omega_{\text{ეპ}}^{(EBF)} \cdot b = \frac{1}{2}\gamma H_2 \cdot |EB| \cdot b = \frac{1}{2}\gamma H_2 \frac{H_2}{\sin\alpha} b = \gamma \frac{H_2^2}{2\sin\alpha} b\,;$$

ე.ი. ვღებულობთ იგივე (a') გამოსახულებას. P_2 ძალის მოქმედების წირი გაივლის EBF სამკუთხა ეპიურის სიმძიმის c_2 ცენტრში, რითაც განისაზღვრება წნევის d_2 ცენტრის მდებარეობა და Y_{d_2} ორდინატი (მხარი $L_{d_2} = |AB| - Y_{d_2}$).

ჯამური $P = P_1 - P_2$ ძალის სიდიდეს ადვილად გავიგებთ, გრაფიკულად თუ ავაგებთ ორმხრივი წნევის შემაჯამებელ $ABNK$ ეპიურს. მას აქვს ტრაპეციული ფორმა და მიიღება ABC სამკუთხა ეპიურის განმტვირთავი (საწინააღმდეგოდ მიმართული) წნევის EBF ეპიურის ტოლი KNC სამკუთხედის ჩამოჭრით.

$ABNK$ ტრაპეციის სიმაღლე $\gamma(H_1 - H_2)$ სიდიდის ტოლია, ე.ი. $(H_1 - H_2)$ მონაკვეთის ($\gamma_{\text{წყ}} = 1$). ზემო მხრიდან წნევა განუწყვეტლივ იზრდება ზედაპირის E წერტილამდე, ხოლო მის ქვემოთ, H_2 სიღრმის მქონე წყლის განმტვირთავი მოქმედების გამო, წნევა რჩება უცვლელი $P = \gamma(H_1 - H_2) = const$.

ამრიგად ჯამური წნევის სიდიდე

$$P = \Omega_{\text{ეპ}}^{(ABNK)} \cdot b = \frac{|AB| + |KN|}{2}\gamma\left(H_1 - H_2\right) \cdot b =$$

$$= \frac{\frac{H_1}{\sin\alpha} + \frac{H_2}{\sin\alpha}}{2} \gamma\left(H_1 - H_2\right) \cdot b =$$

$$= \frac{\gamma(H_1 + H_2)(H_1 - H_2)}{2\sin\alpha} b = \frac{\gamma\left(H_1^2 - H_2^2\right)b}{2\sin\alpha}.$$

ე.ი.

$$P = \frac{\gamma\left(H_1^2 - H_2^2\right)b}{2\sin\alpha}.$$

როგორც ვხედავთ, ეს შედეგი ზუსტად ემთხვევა ანალიზური გზით მიღებულ (7) გამოსახულებას.

ცხადია P ძალის მოქმედების წირი გაივლის $ABNK$ ეპიურის სიმძიმის c ცენტრში, რითაც განისაზღვრება ჯამური წნევის d ცენტრის მდებარეობა (სურ. 4).

ნაწილი მეორე

ჰიდროდინამიკა

საშინაო დავალება I ტიპი

(სითხის გამოდინება მილსადენიდან ატმოსფეროში)

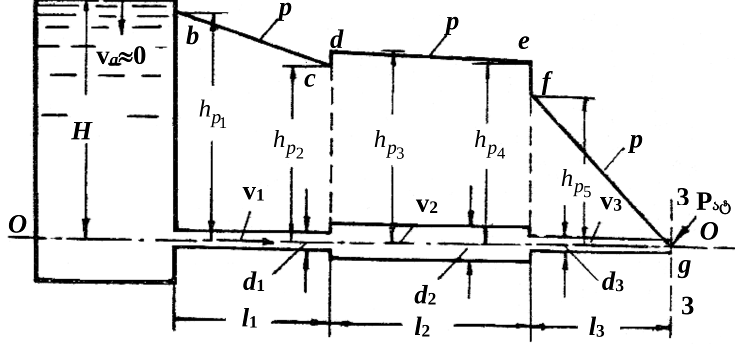
1. ცვლადი კვეთის მილსადენის ჰიდრავლიკური გაანგარი-შება თავისუფალი გამოდინებისას (სურ. 5).

მოცემულია: სამი სხვადასხვა დიამეტრის მქონე უბნისგან შედგენილი ჰორიზონტალური თუჯის მილსადენი, რომელიც სათავეს იღებს (გამოდის) ღია რეზერვუარიდან; წყლის დონე რეზერვუარში მუდმივია და დაწნევა მილსადენის 0-0 ღერძის მიმართ (რეზერვუარის მხრიდან) H=7,0 მ; მილსადენის ცალკეული უბნების სიგრძეები – $l_1 = 40$ მ, $l_2 = 50$ მ და $l_3 = 35$ მ; ამ უბნების შესაბამისი დიამეტრები – $d_1 = 0{,}08$ მ, $d_2 = 0{,}2$ მ და $d_3 = 0{,}06$ მ; წყლის გამოდინება ხდება ატმოსფეროში (სურ. 5).

განვსაზღვროთ: მილსადენიდან წყლის გამოდინების სიჩქარე, ხარჯი და ჭარბი – მანომეტრული წნევის განაწილება ამ მილსადენის გასწვრივ (ე.ი. აიგოს პიეზომეტრული $P-P$ წირი მილსადენის გასწვრივ).

ამოხსნა. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად უნდა შევადგინოთ სითხის მოძრაობის ძირითადი განტოლება, ე.ი. ბერნულის განტოლება მილსადენის (სისტემის) ორი მახასიათებელი კვეთისთვის სათანადოდ შერჩეული ათვლის სიბრტყის მიმართ. გაანგარიშების გასაადვილებლად ხელსაყრელია ორი ისეთი კვეთის შერჩევა, რომლებშიც აბსოლუტური წნევა ტოლია; მიზანშეწონილია აგრეთვე საფარდი სიბრტყის გატარება ერთ-ერთი საანგარიშო კვეთის სიმძიმის ცენტრზე (მაშინ, ამ კვეთის ცენტრის მდებარეობის Z სიმაღლე ათვლის სიბრტყის მიმართ ნულის ტოლი იქნება).

განსხვავებულ შემთხვევაში საანგარიშო კვეთად ავირჩიოთ წყლის თავისუფალი ზედაპირი რეზერვუარში, ე.ი. $a-a$ ჰორიზონტული კვეთი და მილსადენის მესამე უბნის გამოსასვლელი 3-3 კვეთი; ათვლის 0-0 სიბრტყე შევუთავსოთ ჰორიზონტული მილსადენის ღერძს, ე.ი იგი გაივლის 3-3 კვეთის ცენტრზე (სურ. 5).



სურ. 5

ნაკადის ორი განსახილველი კვეთისთვის ბერნულის განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + \sum h_\omega ,$$

სადაც $\sum h_\omega$ არის ყველა სახის ადგილობრივი და სადინარის სიგრძეზე დაწნევის (კუთრი ენერგიის) დანაკარგების ჯამი $\sum h_\omega = \sum h_{\omega_1} + \sum h_{\omega_{\text{ადგ}}}$; P_1 და P_2 – აბსოლუტური წნევის სიდიდეები განსახილველ კვეთებში (ამ კვეთების ცენტრში); V_1 და V_2 - ნაკადის საშუალო სიჩქარეები იგივე კვეთებში; $\frac{a_1 v_1^2}{2g}$ და $\frac{a_2 v_2^2}{2g}$ – სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები (კუთრი კინეტიკური ენერგიები) სათანადო კვეთებში; z_1 და z_2 – სათანადო კვეთების ცენტრების გეომეტრიული სიმაღლეები ათვლის 0-0 სიბრტყის მიმართ.

გავარკვიოთ (2.1) განტოლების თითოეული წევრის მნიშვნელობა: $z_1 = z_a = \text{H}$; $v_1 = v_a \approx 0$; $p_1 = p_{\text{ატ}}$; $p_2 = p_3 = p_{\text{ატ}}$; $z_2 = z_3 = 0$; $v_2 = v_3$ და $\alpha_2 = \alpha_3 \approx 1{,}0$. ამ მნიშვნელობათა შეტანით (2.1) განტოლებაში მივიღებთ

$$\text{H} = \frac{v_3^2}{2g} + \sum h_\omega . \qquad (2.2)$$

ამ ძირითადი განტოლების საფუძველზე უნდა გავიანგარიშოთ განსახილველი მილსადენი.

განვსაზღვროთ ყველა სახის დაწნევის (კუთრი ენერგიის) დანაკარგი ცვლადი კვეთის განსახილველ მილსადენში.

დაწნევის (კუთრი ენერგიის) დანაკარგები გამოვსახოთ მილსადენიდან გამოდინების v_3 საშუალო სიჩქარის შესაბამისი სიჩქარითი დაწნევით, რისთვისაც ვისარგებლოთ სითხის უწყვეტობის ჰიდრავლიკური განტოლებით: $\mathrm{v}_1\omega_1 = \mathrm{v}_3\omega_3$, საიდანაც $\mathrm{v}_1 = \dfrac{\mathrm{v}_3\omega_3}{\omega_1}$ და $\dfrac{\mathrm{v}_1^2}{2g} = \left(\dfrac{\omega_3}{\omega_1}\right)^2 \cdot \dfrac{\mathrm{v}_3^2}{2g}$;ანალოგიურად $\dfrac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = \left(\dfrac{\omega_3}{\omega_2}\right)^2 \cdot \dfrac{\mathrm{v}_3^2}{2g}$

.

წინაღობის λ კოეფიციენტი, გაანგარიშების გაადვილების მიზნით, განვსაზღვროთ დარსის მიახლოებითი ფორმულით:

$$\lambda = 0,02\left(1 + \frac{1}{40d}\right). \qquad (2.3)$$

დაწნევის დანაკარგები მილსადენის თითოეული უბნის სიგრძეზე განვსაზღვროთ დარსი-ვეისბახის ფორმულით:

$$h_{\omega_l} = \lambda \frac{l}{d}\frac{\mathrm{v}^2}{2g}\,, \qquad (2.4)$$

სადაც l განსხვავებული უბნის სიგრძეა; d – დიამეტრი; v – საშუალო სიჩქარე ამ უბანზე.

დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგები უნდა განვსაზღვროთ ვეისბახის ფორმულით:

$$h_{\omega_{\text{ადგ}}} = \xi_{\text{ადგ}} \cdot \frac{\mathrm{v}^2}{2g}\,, \qquad (2.5)$$

სადაც $\xi_{ადგ}$ არის ე.წ. ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტი (ვეისბახის კოეფიციენტი).

წინასწარ გამოვთვალოთ მილსადენის ცალკეული უბნების ცოცხალი კვეთის ფართობები:

$$\omega_1 = \pi \frac{d_1^2}{4} = 3{,}14 \cdot \frac{0{,}08^2}{4} = 0{,}005 \text{ მ}^2;$$

$$\omega_2 = 3{,}14 \frac{0{,}2^2}{4} = 0{,}0314 \text{ მ}^2;$$

და

$$\omega_3 = 3{,}14 \frac{0{,}06^2}{4} = 0{,}0028 \text{ მ}^2.$$

გაანგარიშება დავიწყოთ ცალკეული უბნების სიგრძეზე დანაკარგების განსაზღვრით, შემდეგ კი გავიანგარიშოთ დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგები; ადგილობრივ წინაღობებს განვიხილავთ მილსადენის შესასვლელი კვეთიდან წყლის მოძრაობის მიმართულებით:

1) მილსადენის დანაკარგები მილსადენის პირველი უბნის l_1 სიგრძეზე

$$h_{\omega_{l_1}} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{\text{v}_1^2}{2g} = 0{,}026 \frac{40}{0{,}08} \frac{\text{v}_1^2}{2g} = 13{,}0 \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 \frac{\text{v}_3^2}{2g} =$$

$$= 13{,}0 \left(\frac{0{,}0028}{0{,}005} \right)^2 \frac{\text{v}_3^2}{2g} = 4{,}08 \frac{\text{v}_3^2}{2g}.$$

აქ λ_1 კოეფიციენტი განვსაზღვრეთ (2.3) ფორმულით:

$$\lambda_1 = 0{,}02 \left(1 + \frac{1}{40 \cdot d_1} \right) = 0{,}02 \left(1 + \frac{1}{40 \cdot 0{,}08} \right) = 0{,}026;$$

2) დაწნევის დანაკარგი მილსადენის მეორე უბნის l_2 სიგრძეზე (დარსის ფორმულიდან $\lambda_2 = 0{,}0225$)

$$h_{\omega_{l_2}} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 0,0225 \frac{50}{0,2} \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 5,625 \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} =$$

$$= 5,625 \left(\frac{0,0028}{0,005} \right)^2 \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 0,0447 \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} .$$

3) დაწნევის დანაკარგი მილსადენის მესამე უბნის l_3 სიგრძე ($\lambda_3 = 0{,}028$)

$$h_{\omega_{l_3}} = \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 0,028 \frac{35}{0,06} \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 16,33 \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} .$$

4) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი წყლის შესვლაზე რეზერვუარიდან მილსადენში ($\xi_{\text{შეს}} = 0{,}5$)

$$h_{\omega_{\text{შეს}}} = \xi_{\text{შეს}} \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} = 0,5 \left(\frac{0,0028}{0,005} \right)^2 \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 0,1568 \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} .$$

$\xi_{\text{შეს}}$ კოეფიციენტის მნიშვნელობა განვსაზღვროთ [1]-ის IV დანართიდან;

5) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი უეცარ გაფართოება-ზე მილსადენის პირველი უბნიდან მეორეზე გადასვლისას ($\xi''_{\text{უ.გ.}}$ განისაზღვრება ბორდას ფორმულის მიხედვით, შესწორე-ბის გარეშე)

$$h_{\omega_{e\&u}} = \xi''_{\text{უ.გ.}} \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} =$$

$$= \left(\frac{0,0314}{0,005} - 1 \right)^2 \cdot \left(\frac{0,0028}{0,0314} \right)^2 \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 0,2217 \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} .$$

6) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი უეცარ შევიწროებაზე მილსადენის მეორე უბნიდან მესამეზე გადასვლისას

$$h_{\omega_{\text{უ.შ.}}} = \xi''_{\text{უ.შ.}} \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 0,5\left(1 - \frac{\omega_3}{\omega_2}\right)\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} =$$

$$= 0,5\left(1 - \frac{0,0028}{0,0314}\right)\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 0,4550\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g}\,.$$

აქ უეცარ შევიწროებაზე დანაკარგის კოეფიციენტი ($\xi''_{\text{უ.შ.}}$) განსაზღვრეთ ფორმულით

$$\xi''_{\text{უ.შ.}} = 0,5\left(1 - \frac{\omega_3}{\omega_2}\right). \qquad (2.6)$$

ყველა სახის დანაკარგის ჯამი:

$$\sum h_{\omega} = \xi_{\text{სისტ}} \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = (4,08 + 0,0447 + 16,33 +$$

$$+0,1568 + 0,2217 + 0,4550)\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 21,2882\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g}\,. \qquad (2.7)$$

აქ სისტემის წინაღობის კოეფიციენტი $\xi_{\text{სისტ}} = 21,2882$ განსაზღვრული მილსადენიდან გამოდინების v_3 სიჩქარის მიხედვით.

(2.7) გამოსახულების შეტანით ძირითად (2.2) განტოლებაში გვექნება:

$$\mathrm{H} = \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} + 21,2882\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} = 22,2882\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g}\,,$$

ანუ

$$\mathrm{H} = \left(1 + \xi_{\text{სისტ}}\right)\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g}\,. \qquad (2.8)$$

აქედან ატმოსფეროში გამოდინების v_3 სიჩქარისთვის მივიღებთ შემდეგ ფორმულას:

$$v_3 = \frac{1}{\sqrt{1+\xi_{\text{სისტ}}}}\sqrt{2g\text{H}} = \varphi_{\text{სისტ}}\sqrt{2g\text{H}}\ . \qquad (2.9)$$

აქ $\varphi_{\text{სისტ}} = \dfrac{1}{\sqrt{1+\xi_{\text{სისტ}}}}$ არის ე.წ. სისტემის სიჩქარის კოეფიციენტი (იგი მილსადენთა სისტემის ხარჯის $\mu_{\text{სისტ}}$ კოეფიციენტის ტოლია)

$$\varphi_{\text{სისტ}} = \frac{1}{\sqrt{1+21,2882}} = 0,2118\ .$$

ამრიგად,

$$v_3 = \varphi_{\text{სისტ}}\sqrt{2g\text{H}} = 0,2118\sqrt{19,62\cdot 7,0} = 2,4834\,\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}\ .$$

მილსადენში გადინებული წყლის ხარჯისთვის მივიღებთ ფორმულას:

$$Q = v_3\omega_3 = \omega_3\mu_{\text{სისტ}}\sqrt{2g\text{H}}\ . \qquad (2.10)$$

ე.ი. მივიღეთ ხარჯის ფორმულა მილსადენიდან ატმოსფეროში გამოდინებისას (თავისუფალი გამოდინება); როგორც აღინიშნა, განსახილველ შემთხვევაში $\mu_{\text{სისტ}} = \varphi_{\text{სისტ}}$.

ამრიგად, წყლის ხარჯისთვის გვექნება:

$$Q = v_3\omega_3 = 2,4834\cdot 0,0028 = 0,00695\ \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} = 6,75\,\frac{\text{ლ}}{\text{წმ}}\ .$$

ან რაც იგივეა, (2.10) ფორმულით:

$$Q = 0,0028\cdot 0,2118\sqrt{19,62\cdot 7,0} = 0,00695\ \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} = 6,75\,\frac{\text{ლ}}{\text{წმ}}\ .$$

მილსადენის გასწვრივ ჭარბი – მანომეტრული წნევის განაწილების დადგენის მიზნით ავაგოთ პიეზომეტრული $P-P$ წირი (სურ. 5).

წინასწარ განვსაზღვროთ სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები მილსადენის ცალკეულ უბნებზე:

$$\frac{v_3^2}{2g} = \frac{2,4834^2}{19,62} = 0,314 \text{ მ;}$$

$$\frac{v_1^2}{2g} = \left(\frac{\omega_3}{\omega_1}\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = \left(\frac{0,0028}{0,005}\right)^2 \cdot 0,314 = 0,0985 \text{ მ;}$$

$$\frac{v_1^2}{2g} = \left(\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = \left(\frac{0,0028}{0,0314}\right)^2 \cdot 0,314 = 0,0025 \text{ მ.}$$

ახლა შეგვიძლია განვსაზღვროთ ცალკეული სახეობების დაწნევის დანაკარგების რიცხვითი მნიშვნელობები:

1. $h_{\omega_{\text{შეს}}} = 0,5\frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \cdot 0,0985 = 0,04925 \text{ მ;}$

2. $h_{\omega_{l_1}} = 13,0\frac{v_1^2}{2g} = 13.0 \cdot 0,0985 = 1,2805 \text{ მ;}$

3. $h_{\omega_{\text{უ.გ.}}} = \left(\frac{0,0314}{0,005} - 1\right)\frac{v_2^2}{2g} = 27,8784 \cdot 0,0025 = 0,0696 \text{ მ;}$

4. $h_{\omega_{l_2}} = 5,625\frac{v_2^2}{2g} = 5,625 \cdot 0,0025 = 0,0141 \text{ მ;}$

5. $h_{\omega_{\text{უ.შ.}}} = 0,4550 \cdot 0,314 = 0,1429 \text{ მ;}$

6. $h_{\omega_{l_3}} = 16,33\frac{v_3^2}{2g} = 16,33 \cdot 0,314 = 5,1276 \text{ მ.}$

ყველა სახის დაწნევის დანაკარგის ჯამი ტოლია

$$\sum h_\omega = 6,6840 \text{ მ.}$$

ჩატარებული გაანგარიშების სისწორე შევამოწმოთ ძირითადი (2.2) განტოლებით; მხედველობაში მივიღოთ, რომ $H = 7,0$ მ (მილსადენის სრული დაწნევა) მოცემული სიდიდეა:

$$\mathrm{H}=\frac{\mathrm{v}_3^2}{2g}+\sum h_\omega=0,314+6,6840=6,998\approx 7,0\ \text{მ}.$$

ამრიგად, ვრწმუნდებით, რომ გაანგარიშება ჩატარებულია საკმაო სიზუსტით, ვინაიდან ცდომილების სიდიდე ძალზე მცირეა ($\Delta_{\text{ცდ}}=0,002$ მ = 2 მმ , შეადგენს 0,03%).

პიეზომეტრული $P-P$ წირის ასაგებად დავადგინოთ პიეზომეტრული სიმაღლის სიდიდეები მილსადენის სათანადო კვეთებში. ამ მიზნით მივმართოთ ბერნულის განტოლების გეომეტრიულ ინტერპრეტაციას (ე.წ. „ბერნულის განტოლების დიაგრამას"), რომელიც განხილულია [1]-ის 4.4 პარაგრაფში.

1. პიეზომეტრული h_{P_1} სიმაღლე მილსადენის შესასვლელ კვეთში

$$h_{P_1}=\frac{P_{1(\text{მან})}}{\gamma}=\frac{P_{1(\text{აბს})}-P_{\text{ატ}}}{\gamma}=\mathrm{H}-\frac{\mathrm{v}_1^2}{2g}-h_{\omega_{\text{შეს}}}=$$

$$=7,0-0,0985-0,04925=6,852\ \text{მ};$$

2. პირველი უბნის ბოლო კვეთში

$$h_{P_2}=h_{P_1}-h_{\omega_{l_1}}=6,852-1,2805=5,572\ \text{მ};$$

3. მეორე უბნის საწყის კვეთში (იგი შეთავსებულია პირველი უბნის ბოლო კვეთთან)

$$h_{P_3}=\mathrm{H}-\frac{\mathrm{v}_2^2}{2g}-h_{\omega_{\text{შეს}}}-h_{\omega_{l_1}}-h_{\omega_{\text{უ.გ}}}=$$

$$=7,0-0,0025-0,0425-1,2805-0,0696=5,598\ \text{მ};$$

4. მეორე უბნის ბოლო კვეთში

$$h_{P_4}=h_{P_3}-h_{\omega_{l_2}}=5,598-0,0141=5,584\ \text{მ};$$

5. მესამე უბნის საწყის კვეთში

$$h_{P_5} = \mathrm{H} - \frac{\mathrm{v}_3^2}{2g} - h_{\omega_{შეს}} - h_{\omega_{l_1}} - h_{\omega_{უ.გ}} - h_{\omega_{l_2}} - h_{\omega_{უ.შ}} = 7,0 -$$

$$-0,314 - 0,04925 - 1,2805 - 0,0696 - 0,0141 - 0,1429 = 5,13 \text{ მ};$$

6. მესამე უბნის ბოლო (გამოსასვლელ) კვეთში

$$h_{P_6} = h_{P_5} - h_{\omega_{l_3}} = 5,13 - 5,128 = 0,002 \text{ მ} \approx 0.$$

უკანასკნელი შედეგი აგრეთვე ადასტურებს ჩატარებული გაანგარიშების სიზუსტეს. ცდომილების სიდიდე იგივეა, რაც ძირითადი (2.2) განტოლებით შემოწმებისას ($\Delta_{ცდ} = 0,002$ მ).

პიეზომეტრული P- P წირი გამოსახულია მე-5 სურათზე (abcdefg ტეხილი წირი).

უნდა აღვნიშნოთ, რომ მე-5 სურათი შესრულებულია უმასშტაბოდ. საშინაო დავალების შესრულებისას მიზანშეწონილია ჰორიზონტული და ვერტიკალური ხაზოვანი მასშტაბები იყოს განსხვავებული. განსახილველი შემთხვევისთვის მოსახერხებელია ვერტიკალური ხაზოვანი მასშტაბი მივიღოთ $M_{ვერტ} = \frac{1}{100}$ -ის ან $\frac{1}{50}$, ხოლო ჰორიზონტალური ხაზოვანი მასშტაბი – $M_{ჰორ} = \frac{1}{1000}$ -ის ტოლი.

$P - P$ წირი გვიჩვენებს, რომ მილსადენის გაფართოებისას წნევა იზრდება მიუხედავად დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგისა უეცარ გაფართოებაზე (ეს ხდება სათანადო სიჩქარითი დაწნევის შემცირების ხარჯზე). ვხედავთ, აგრეთვე, რომ მილსადენის შევიწროებით წნევა (პიეზომეტრული სიმაღლე) ეცემა.

ჰიდროდინამიკური დაწნევის $H - H$ წირის ასაგებად საკმარისია პიეზომეტრული P- P წირის ზემოთ გადავზომოთ

სათანადო სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები (I უბანზე – $\frac{v_1^2}{2g}$, II უბანზე – $\frac{v_2^2}{2g}$; III უბანზე – $\frac{v_3^2}{2g}$).

საშინაო დავალება II ტიპი
(სითხის გამოდინება მილსადენის დონის ქვეშ)

2. ცვლადი კვეთის მარტივი მილსადენის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება არათავისუფალი გამოდინებისას (სურ. 6).

მოცემულია: მიმდევრობით შეერთებული ორი სხვადასხვა დიამეტრის მქონე ჰორიზონტული თუჯის მილსადენი, რომელიც წყალს აწვდის სადაწნეო A რეზერვუარიდან ღია B რეზერ-ვუარში (გამოდინება დონის ქვეშ), ამ რეზერვუარში შენარჩუ-ნებულია წყლის მუდმივი დონეები (სურ. 6) წყლის დაწნევა (სიღრმე) სადაწნეო A რეზერვუარში მილსადენების ჰორიზონ-ტული S-S ღერძის მიმართ $H_A = 2{,}0$ მ; აბსოლუტური წნევა A რეზერვუარში წყლის თავისუფალ ზედაპირზე $P_1 = 2{,}4$ ატ; წყლის დაწნევა (სიღრმე) ღია B რეზერვუარში (S-S ღერძის მიმართ) $H_B = 6{,}0$ მ; პირველი მილსადენის სიგრძე (ანუ შედგე-ნილი მილსადენის პირველი უბნის სიგრძე) l_1= 30 მ და დიამეტრი $d_1 = 0{,}15$ მ, ხოლო მეორე მილსადენის (მეორე უბნის) სიგრძე $l_2 = 40$ მ და დიამეტრი $d_2 = 0{,}3$ მ; განსახილველი ცვლადი კვეთის თუჯის მილსადენი დიდი ხანია ექსპლუატაციაში.

განვსაზღვროთ: შედგენილი მილსადენის წყლის Q ხარჯი და ავაგოთ ჰიდროდინამიკური დაწნევის (სრული დაწნევის)

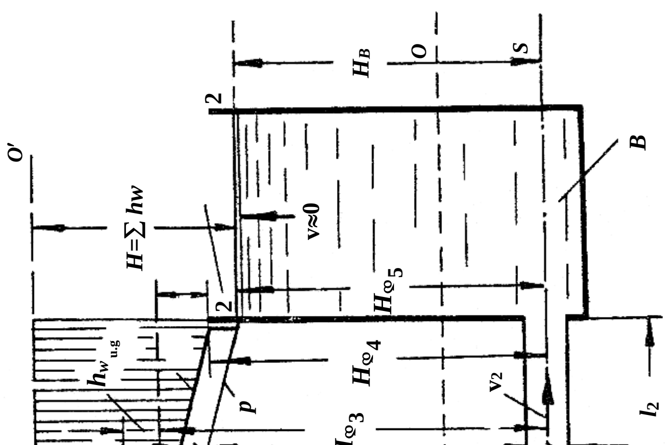
$H-H$ და პიეზომეტრული $P-P$ წირები განსხვავებული მილსადენის გასწვრივ.

ამოხსნა: ამ ამოცანის გადასაწყვეტად უნდა შევადგინოთ ბერნულის განტოლება (სითხის მოძრაობის ძირითადი განტოლება) სისტემის (რეზერვუარები – შედგენილი მილსადენი) ორი მახასიათებელი კვეთისთვის სათანადოდ შერჩეული ათვლის სიბრტყის მიმართ. განსახილველ შემთხვევაში მიზანშეწონილია საანგარიშო კვეთებად, შესაბამისად, ავირჩიოთ A და B რეზერვუარებში წყლის თავისუფალ ზედაპირთან შეთავსებული 1-1 და 2-2 კვეთები. ათვლის 0-0 სიბრტყის მაღლივი მდებარეობა შევუთავსოთ A რეზერვუარში წყლის თავისუფალ ზედაპირს (დონეს), ე.ი იგი გავატაროთ 1-1 კვეთზე (ნახ. 6).

ბერნულის განტოლება აღნიშნული კვეთებისთვის (1-1 და 2-2) ათვლის 0-0 სიბრტყის მიმართ ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{a_1 \mathrm{v}_1^2}{2g}=z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{a_2 \mathrm{v}_2^2}{2g}+\sum h_\omega\,, \qquad (2.11)$$

სადაც $\sum h_\omega$ არის ყველა სახის ადგილობრივი და სადინარის სიგრძეზე დაწნევის (კუთრი ენერგიის) დანაკარგების ჯამი



$$(\sum h_\omega = \sum h_{\omega_1} + h_{\omega_{ადგ}});$$

P_1 და P_2 –აბსოლუტური წნევის სიდიდეები განსახილველ კვეთებში;

V_1 და V_2 – ნაკადის საშუალო სიჩქარეები იგივე კვეთებში;

$\frac{a_1 v_1^2}{2g}$ და $\frac{a_2 v_2^2}{2g}$ –სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები (კუთრი კინეტიკური ენერგიები) სათანადო კვეთებში;

z_1 და z_2 –სათანადო კვეთების ცენტრების გეომეტრიული სიმაღლეები ათვლის 0-0 სიბრტყის მიმართ.

დავადგინოთ (2.11) განტოლების თითოეული წნევის მნიშვნელობა $z_1 = 0$; $\dfrac{p_1}{\gamma} = \dfrac{2,4\left(\text{კგძ}/\text{სმ}^2\right)}{0,001\left(\text{კგძ}/\text{სმ}^3\right)}$ =2400 სმ = 24 მ; მოძრაობის სიჩქარეები 1-1 და 2-2 კვეთში (A და B რეზერვუარებში წყლის თავისუფალ ზედაპირზე) $v_1 = v_A \approx 0$ და $v_1 = v_B \approx 0$, ამიტომ შეიძლება მივიღოთ $\dfrac{a_1 v_1^2}{2g} = 0$ და $\dfrac{a_2 v_2^2}{2g} = 0$, $z_2 = H_B - H_A$ და $\dfrac{p_2}{\gamma} = \dfrac{p_{\text{ატ}}}{\gamma}\,\dfrac{2,4\left(\text{ტძ}/\text{მ}^2\right)}{0,001\left(\text{ტძ}/\text{მ}^3\right)} = 10$ მ.

ამ მნიშვნელობათა შეტანით (2.11) განტოლებაში მივიღებთ

$$\frac{p_1}{\gamma} = (H_B - H_A) + \frac{p_{\text{ატ}}}{\gamma} + \sum h_\omega ,$$

ან

$$\left(H_A + \frac{P_1 - P_{\text{ატ}}}{\gamma}\right) - H_B = \sum h_\omega .$$

მაგრამ მე–6 სურათიდან

$$\left(H_A + \frac{P_1 - P_{\text{ატ}}}{\gamma}\right) - H_B = H ,$$

სადაც H არის პიეზომეტრული H_{P_A} და H_{P_B} დაწნევათა სხვაობა A და B რეზერვუარებს შორის მილსადენის S-S ღერძთან შეთავსებული ათვლის სიბრტყის მიმართ, $\mathrm{H} = H_{P_\mathrm{A}} - H_{P_\mathrm{B}}$, სადაც $H_{P_B} = H_B$.

ამრიგად, (2.11) განტოლებიდან საბოლოოდ მივიღებთ შემდეგ ძირითად საანგარიშო ფორმულას:

$$\mathrm{H} = \sum h_{\omega} \qquad (2.12)$$

დაწნევათა სხვაობა (მოქმედი დაწნევა A და B რეზერვუარებს შორის)

$$\mathrm{H} = H_{P_\mathrm{A}} - H_{P_\mathrm{B}} = \left(H_A + \frac{P_1 - P_{\text{ატ}}}{\gamma} \right) - H_B = \left(\frac{24 - 10}{1{,}0} + 2{,}0 \right) - 6{,}0 = 10 \text{ მ.}$$

ე.ი. $\mathrm{H} = 10$ მ.

(აქ მივიღებთ რომ $P_1 = 10\frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^2}$, $P_{\text{ატ}} = 10\frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^2}$ და $\gamma = 10\frac{\text{ტძ}}{\text{მ}^2}$).

ძირითადი (2.12) განტოლება გვიჩვენებს, რომ დაწნევათა H სხვაობა (მოქმედი დაწნევა) მთლიანად იხარჯება ჰიდრავლიკურ წინაღობათა დაძლევაზე მილსადენში წყლის მოძრაობისას A-დან B რეზერვუარამდე.

ახლა განვსაზღვროთ ყველა სახის დანაწნევის დანაკარგი განსახილველ მილსადენში (შედგენილი მილსადენის ორივე უბანზე). დაწნევის დანაკარგები გამოვსახოთ მილსადენის მეორე უბანზე (როგორც წესი – ბოლო უბანზე) მოძრაობის საშუალო v_2 სიჩქარით სითხის „უწყვეტობის“ ჰიდრავლიკური განტოლების გათვალისწინებით:

$$\frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g}$$

აქ ω_1 და ω_2-ით აღნიშნულია მილსადენის შესაბამისი უბნების ცოცხალი კვეთის ფართობები $\left(\omega_1 = \frac{\pi {d_1}^2}{4} \text{ და } \omega_2 = \frac{\pi {d_2}^2}{4} \right)$.

წინაღობის λ კოეფიციენტი (დარსის კოეფიციენტი) გაანგარიშების გაადვილების მიზნით განვსაზღვროთ დარსის მიახლოებითი ფორმულით (თუჯის მილებისთვის)

$$\lambda = 0,02\left(1 + \frac{1}{40d}\right). \tag{2.13}$$

დაწნევის დანაკარგი მილსადენის თითოეული უბნის სიგრძეზე განვსაზღვროთ დარსი-ვეისბახის ცნობილი ფორმულით:

$$h_{\omega_l} = \lambda \frac{l}{d}\frac{\mathrm{v}^2}{2g}, \tag{2.14}$$

სადაც l არის განსხვავებული უბნის სიგრძე;

d – დიამეტრი;

v – საშუალო სიჩქარე ამ უბანზე.

დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგები განისაზღვრება ვეისბახის ფორმულით:

$$h_{\omega_{ადგ}} = \xi_{ადგ}\frac{\mathrm{v}^2}{2g}, \tag{2.15}$$

სადაც $\xi_{ადგ}$ ე.წ. ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტია (ვეისბახის კოეფიციენტი).

გაანგარიშება დავიწყოთ ცალკეული უბნების სიგრძეზე დაწნევის დანაკარგების განსაზღვრით, ხოლო შემდგომ გავიანგარიშოთ დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგები. ადგილობრივ წინაღობებს განვიხილავთ მილსადენის შესასვლელი კვეთიდან – წყლის მოძრაობის მიმართულებით:

1) დაწნევის დანაკარგი მილსადენის პირველი უბნის l_1 სიგრძეზე

$$h_{\omega_{l_1}} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} = 0,023 \frac{30}{0,15} \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} = 4,60 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} =$$

$$= 4,60 \left(\frac{0,3}{0,15} \right)^4 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 73,60 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g}$$

აქ λ_1 კოეფიციენტი განვსაზღვროთ (2.13) ფორმულით:

$$\lambda_1 = 0,02 \left(1 + \frac{1}{40 \cdot 0,15} \right) = 0,023 \;;$$

2) დაწნევის დანაკარგი მილსადენის მეორე უბნის l_2 სიგრძეზე ($\lambda_1 = 0,022$)

$$h_{\omega_{l_2}} = 0,022 \frac{40}{0,3} \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 2,93 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} \;;$$

3) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი A რეზერვუარიდან ნაკადის მილსადენში შესვლაზე $(\xi_{\text{შეს}} = 0,5)$

$$h_{\omega_{\text{შეს}}} = \xi_{\text{შეს}} \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 0,5 \cdot 16,0 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 8,0 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} \;;$$

4) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი უეცარ გაფართო-ვებაზე მილსადენის პირველი უბნიდან მეორეზე გადასვლისას (კოეფიციენტი $\xi''_{\text{უ.გ.}}$ განისაზღვრება ბორდას ფორმულით):

$$h_{\omega_{\text{უ.გ.}}} = \xi''_{\text{უ.გ.}} \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = \left[\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right]^2 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} =$$

$$= \left[\left(\frac{0,30}{0,15} \right)^2 - 1 \right]^2 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 9,0 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} \,.$$

5) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი ნაკადის გამოსვლაზე მილსადენის მეორე უბნიდან B რეზერვუარში ($\xi_{\text{ადგ}} = 1,0$)

$$h_{\omega_{გამ}} = \xi_{გამ}\frac{v_2^2}{2g} = 1,0\frac{v_2^2}{2g}.$$

ყველა სახის დაწნევის დანაკარგის ჯამი

$$\sum h_\omega = \xi_{სისტ}\frac{v_2^2}{2g} = \left(73,60+2,93+8,0+9,0+1,0\right)\frac{v_2^2}{2g} = 94,53\frac{v_2^2}{2g}. \quad (2.16)$$

აქ სისტემის წინაღობის კოეფიციენტი $\xi_{სისტ.} = 94,53$ განსაზღვრულია მილსადენის მეორე უბანზე (საერთოდ – ბოლო უბანზე) მოძრაობის საშუალო v_2 სიჩქარით (შესაბამისი სიჩქარითი დაწნევის მიხედვით)

(2.12) განტოლება გადავწეროთ (2.16)-ის გათვალისწინებით, გვექნება

$$H = \xi_{სისტ}\frac{v_2^2}{2g}.$$

აქედან განისაზღვრება მილსადენის მეორე უბანზე ნაკადის v_2 სიჩქარე (მეორე უბნიდან B რეზერვუარის დონის ქვეშ გამოდინების v_2 სიჩქარე)

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{\xi_{სისტ}}}\sqrt{2gH} = \varphi_{სისტ}\sqrt{2gH}. \quad (2.17)$$

აქ $\varphi_{სისტ} = \frac{1}{\sqrt{\xi_{სისტ}}}$ ე.წ. სისტემის სიჩქარის კოეფიციენტია (იგი ამ სისტემის ხარჯის $\mu_{სისტ}$ კოეფიციენტის ტოლია).

(2.17) გამოსახულებაში შევიტანოთ სიდიდეთა სათანადო მნიშვნელობები, მივიღებთ:

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{94,53}}\sqrt{19,62\cdot 10,0} = 1,44 \text{ მ/წმ}.$$

მილსადენის წყლის ხარჯი

$$Q = \mathrm{v}_2\omega_2 = \omega_2\mu_{\text{სისტ}}\sqrt{2g\mathrm{H}}\ . \qquad (2.18)$$

ე.ი. მივიღეთ ხარჯის ფორმულა მილსადენიდან წყლის (სითხის) დონის ქვეშ გამოდინების შემთხვევისთვის; ამრიგად,

$$Q = \mathrm{v}_2\omega_2 = 1,441\frac{3,14\cdot 0,3^2}{4} = 1,441\cdot 0,07065 =$$

$$= 0,102\,\frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} = 102\,\frac{\text{ლ}}{\text{წმ}}\ .$$

ჰიდროდინამიკური დაწნევის $H-H$ წირის აგების მიზნით განვსაზღვროთ სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები მილსადენის ორივე უბნისთვის და ცალკეული დაწნევის დანაკარგების რიცხვითი მნიშვნელობები.

სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები იქნება:

$$\frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = \frac{1,441^2}{19,62} = 0,106\ \text{მ};$$

$$\frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4\frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 16,0\cdot 0,106 = 1,69\ .$$

ცალკეული სახის დაწნევის დანაკარგების (კუთრი ენერგიის დანაკარგების) რიცხვითი მნიშვნელობები:

1) $h_{\omega_{l_1}} = 73,60\dfrac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 73,60\cdot 0,106 = 7,802$ მ;

2) $h_{\omega_{l_2}} = 2,93\dfrac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 2,93\cdot 0,106 = 0,311$ მ;

3) $h_{\omega_{\text{შეს}}} = 8,0\dfrac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 8,0\cdot 0,106 = 0,848$;

4) $h_{\omega_{\text{უ.გ.}}} = 9,0\dfrac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 9,0\cdot 0,106 = 0,954$;

5) $h_{\omega_{გამ}} = 1,0\dfrac{v_2^2}{2g} = 1,0 \cdot 0,106 = 0,106$.

ყველა სახის დაწნევის დანაკარგის ჯამი

$$\sum h_\omega = 10,021.$$

ჩატარებული გაანგარიშების სისწორე შევამოწმოთ ძირითადი (2.12) განტოლებით, რისთვისაც მხედველობაში მივიღოთ, რომ პიეზომეტრულ დაწნევათა სხვაობა (მოქმედი დაწნევა) განსახილველ რეზერვუარებს შორის ($H = 10$ მ) მოცემული სიდიდეა. ამრიგად (2.12) გამოსახულების მიხედვით

$$H = \sum h_\omega = 10,021 \approx 10 \text{ მ.}$$

შემოწმებამ გვიჩვენა, რომ გაანგარიშება ჩატარებულია საკმაო პრაქტიკული სიზუსტით, ვინაიდან ცდომილება $\Delta_{ცდ} = 0,021$ მ = 2,1 სმ ძალზე მცირე სიდიდისაა (0,21%).

ჰიდროდინამიკური დაწნევის $H - H$ წირის ასაგებად განვსაზღვროთ ჰიდროდინამიკური $H_{დ}$ დაწნევის სიდიდეები ცვლადი დიამეტრის მქონე მილსადენის სათანადო კვეთებში. ამ მიზნით ვიხელმძღვანელოთ ბერნულის განტოლების გეომეტრიული ინტერპრეტაციით (ე.წ. „ბერნულის განტოლების დიაგრამით“), რომელიც განხილულია [1]-ის 4.4 პარაგრაფში.

1) ჰიდროდინამიკური დაწნევა მილსადენის შესასვლელ კვეთში მილსადენის S-S ღერძის მიმართ (ამ ღერძთან შეთავსებული საფარდი სიბრტყის მიმართ)

$$H_{დ1} = H_{P_A} - h_{\omega_{შეს}} = \left(H_A + \frac{P_1 - P_{ატ}}{\gamma} \right) - h_{\omega_{შეს}} =$$

$$= \left(2,0 + \frac{24 - 10}{1,0} \right) - 0,848 = 16,0 - 0,848 = 15,152 \text{ მ.}$$

2) დაწნევა მილსადენის პირველი უბნის ბოლო კვეთში

$$\text{H}_{\text{დ}2} = \text{H}_{\text{დ}1} - h_{\omega_{l_2}} = 15{,}152 = 7{,}802 = 7{,}35 \text{ მ.}$$

3) დაწნევა მილსადენის მეორე უბნის საწყის კვეთში

$$\text{H}_{\text{დ}3} = \text{H}_{\text{დ}2} - h_{\omega_{\text{უ.გ}}} = 7{,}350 - 0{,}954 = 6{,}396 \text{ მ.}$$

4) დაწნევა მილსადენის მეორე უბნის ბოლო (გამოსასვლელ) კვეთში რეზერვუარის მხრიდან

$$\text{H}_{\text{დ}4} = \text{H}_{\text{დ}3} - h_{\omega_{l_2}} = 6{,}396 - 0{,}311 = 6{,}085 \text{ მ.}$$

5) დაწნევა მილსადენის მეორე უბნის გამოსასვლელ კვეთში B რეზერვუარის მხრიდან

$$\text{H}_{\text{დ}5} = \text{H}_{\text{დ}4} - h_{\omega_{\text{გამ}}} = 6{,}085 - 0{,}106 = 5{,}979 \approx H_B = 6{,}0 \text{ მ.}$$

ე.ი. მივიღეთ იგივე ცდომილება ($\Delta_{\text{ცდ}} = 0{,}021$ მ), რაც (2.12) განტოლების მიხედვით ზემოთ ჩატარებული შემოწმებისას (ვინაიდან $H_B = 6{,}0$ მ მოცემული სიდიდეა).

ჰიდროდინამიკური დაწნევის $H - H$ ტეხილი წირი გამოსახულია მე-6 სურათზე (ეს სურათი შესრულებულია უმასშტაბოდ). საშინაო დავალების შესრულებისას ამ ნახაზისთვის უნდა შევარჩიოთ სათანადო ხაზოვანი მასშტაბი; მიზანშეწონილია ავირჩიოთ ერთმანეთისგან განსხვავებული ვერტიკალური ($\text{H}_{\text{დ}}$, H და h_P სიმაღლეებისთვის) და ჰორიზონტული (უბნების 1 სიგრძეებისთვის) ხაზოვანი მასშტაბები, მაგალითად, $M_{\text{ვერტ}} = \dfrac{1}{100}$ და $M_{\text{ჰორ}} = \dfrac{1}{500}$.

პიეზომეტრული $P - P$ წირის ასაგებად განვსაზღვროთ მილსადენის S-S ღერძის მიმართ პიეზომეტრული სიმაღლეები სათანადო კვეთაში:

1) $\mathrm{h}_{P1} = \mathrm{H}_{\text{დ}1} - \dfrac{\mathrm{v}_1^2}{2g} = 15,152 - 1,69 = 13,462$ მ;

2) $\mathrm{h}_{P2} = \mathrm{H}_{\text{დ}2} - \dfrac{\mathrm{v}_1^2}{2g} = 7,350 - 1,69 = 5,660$ მ;

3) $\mathrm{h}_{P3} = \mathrm{H}_{\text{დ}3} - \dfrac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 6,396 - 1,106 = 6,290$;

4) $\mathrm{h}_{P4} = \mathrm{H}_{\text{დ}4} - \dfrac{\mathrm{v}_2^2}{2g} = 6,085 - 1,106 = 5,979\,\text{მ} \approx H_B = 6,0$ მ.

პიეზომეტრული $P - P$ ტეხილი წირი გამოსახულია მე-6 სურათზე. იგი გვიჩვენებს, რომ მილსადენის გაფართოებისას წნევა იზრდება მიუხედავად დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგისა უეცარ გაფართოებაზე (ეს ხდება სათანადო სიჩქარითი დაწნევის მნიშვნელოვანი შემცირების გამო).

ლიტერატურა

1. ნ. ქუთათელაძე. ჰიდრავლიკის საფუძვლები. თბილისი, განათლება, 1981. – 366 გვ.
2. Прозоров И.В., Николадзе Г.И., Минаев А.В. Гидравлика. водоснабжение и канализация городов. М.: „Высщая школа“, 1975. – 422 с.
3. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. – 672 с.
4. Большаков В.А. и др. Сборник задач по гидравлике. Киев: Будильник, 1964. – 292 с.
5. Богомолов А.И. и др. Примеры гидравлических расчетов. М.: „Транспорт“, 1977. – 526 с.

სარჩევი