საქ. სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სამინისტრო
საქართველოს ვ. ი. ლენინის სახელობის პოლიტექნიკური ინსტიტუტი

მეთოდური მითითებები საშინაო დავალებების შესასრულებლად ჰიდრავლიკის საფუძვლებში სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის სპეციალობის სტუდენტებისათვის

თბილისი—1985

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური
განათლების სამინისტრო

საქართველოს ვ.ი.ლენინის სახელობის პოლიტექნიკური
ინსტიტუტი

მეთოდური მითითებები საშინაო დავალებების შესასრულებლად ჰიდრავლიკის საფუძვლები სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის სპეციალობის სტუდენტებისათვის

დამტკიცებულია ფაკულტეტის საბჭოს
მიერ მეთოდურ მითითებად

თბილისი - 1985

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 ლსადენების გაანგარიშების საკითხები როგორც თავისუფალი, არათავისუფალი გამოდინებისას. ამ დავალებაში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა დაწნევის დანაკარგების განსაზღვრას სხვადასხვა სახის ჰიდრავლიკურ წინაღობათა დაძლევისას და ბერნულის განტოლების პრაქტიკულ გამოყენებას.

შემდგენლები: ნ.ქუთათელაძე, ა.პაპაშვილი,
რ.ჯგერენაია

რეცენზენტი დოც. კ. გრიგოლაშვილი

23/85

§ 1,2; 1,3, 1,4; 1,5:
§ 2,1; 2,5, 2,6; 2,8; 2,9, 2,10
§ 3,1; 3,5; 3,7, 3,15, 3,17, 3,20
§ 4-1; 4-2; 4-3, 4-9, 4-10
§ 5-1, 5-2
§ 6-1; 6-6
§ 12-1, 12-2

ნაწილი პირველი - ჰ ი დ რ ო ს ტ ა ტ ი კ ა

საშინაო დავალების I ტიპი (სითხის ცალმხრივი წნევა)

1. ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის სიდიდისა და წნევის ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრა ბრტყელ ზედაპირზე (ნახ.1)

მ ო ც ე მ უ ლ ი ა: ბრტყელი $abcd$ ზედაპირი (კედელი), რომელიც განიცდის H სიღრმის წყლის წნევას (ნახ.1,ა); ზედაპირის ცალკეული ნაწილების (უბნების) სიმაღლეები - $h_1=2.5$ მ, $h_2=R=2.0$ მ და $h_3=1.5$ მ; ზედაპირის სიგანე ნახაზის სიბრტყის მართობული მიმართულებით - $B=1.0$ მ; ზედაპირის cd ნაწილის ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხე $\alpha=30^\circ$ და წყლის კუთრი წონა - $\gamma=1.0$ ტძ/მ^3.

გ ა ნ ს ა ზ ღ ვ რ ე თ: 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 - ბრტყელ ზედაპირზე მოქმედი ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის (ტოლქმედი ძალის) სიდიდე და მიმართულება (გრაფიკული ხერხით, მოცემულ ძალთა ვექტორების მიმდევრობითი აგებით ან უშუალოდ ძალთა მრავალკუთხედიდან); III - ბრტყელი ზედაპირის ჯამური წნევის ცენტრის (ტოლქმედი ძალის მოდების წერტილის) მდებარეობა (გრაფიკული გზით, მოცემულ ძალთა პარალელოგრამების მიმდევრობითი აგებით ან "თოკის მრავალკუთხედის" ხერხით); IV - ბრტყელი ზედაპირის ცალკეულ ნაწილებისათვის (უბნებისათვის) სიღრმის ჭარბი-წონითი ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურები (სასურველია ბრტყელი ზედაპირის ბრტყელი უბნებისათვის აგებული წნევის ეპიურების მიხედვით განისაზღვროს ანალიზური ხერხით განსაზღვრული სათანადო ძალების სიდიდეები და წნევის ცენტრების მდებარეობა).

ა მ ო ხ ს ნ ა. მოცემული ზედაპირის კონტური უნდა გადაიხაზოს მილიმეტრიან ქაღალდზე (1/6 ფორმატის ზომით) გარკვეულ ხაზოვან მასშტაბში ($M_\ell=1/50,\ 1/100,\ 1/200 \ldots$). განსახილველი ზედაპირისათვის და წყლის სათანადო სიღრმეებისათვის მივიღოთ: $M_\ell=1/100$ (ნახ.1,ა). უნდა შევარჩიოთ აგრეთვე ძალთა მასშტაბი ზედაპირის ცალკეულ ნაწილებზე მოქმედი ძალებისათვის იმის გათვალისწინებ-

1 მოდ. 3-დან — 19-მდე.

2 მოდ. 24 — 31 -)

ით, რომ მათი გეომეტრიული შეკრების შემდეგ ჯამური P ძალის ვექტორი, რომელიც მოდებულია წნევის ცენტრში, არ გასცდეს ნახაზის ჩარჩოებს ($M_p = 1/5$ ტძ, $1/10$ ტძ, $1/20$ ტძ და ა.შ.) განსახილველი შემთხვევისათვის მივიღოთ $M_p = 1/5$ ტძ, ე.ი. სქემაზე 1სმ-ს შეესაბამება 5 ტძ. მოსახერხებელია ხაზოვანი და ძალოვანი მასშტაბების შეთავსებული გამოსახვა (ნახ.1).

1. ზედაპირის ცალკეულ ნაწილებზე მოქმედი ჭარბი-წონითი-ჰიდროსტატიკური წნევის ძალების სიდიდეებისა და სათანადო წნევის ცენტრების მდებარეობის განსაზღვრა ანალიზური ხერხით (ნახ.1,ა).

1) ზ ე დ ა პ ი რ ი ს ab ნ ა წ ი ლ ზ ე (h_1 სიმაღლისა და B სიგანის ვერტიკალურ მართკუთხა ბრტყელ ზედაპირზე) მოქმედი ჭარბი-წონითი წნევის ძალის სიდიდე გამოითვლება ცნობილი ფორმულით

$$P_{ab} = \gamma h_c \omega = \gamma h_{c_1} \omega_{ab}, \qquad (1)$$

სადაც h_{c_1} არის მართკუთხა ab ზედაპირის სიმძიმის ცენტრის ჩაძირვის სიღრმე - $h_{c_1} = h_1/2$;

ω_{ab} - ამ ზედაპირის ფართობი - $\omega_{ab} = h_1 B$.

(1) ფორმულაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით მივიღებთ:

$$P_{ab} = \gamma \frac{h_1}{2} h_1 B = \frac{\gamma h_1^2}{2} B = \frac{1.0 \cdot 2{,}5^2}{2} 1{,}0 = 3{,}125 \text{ ტძ}.$$

მანძილი წნევის d_1 ცენტრიდან ab კვალის წყლის თავისუფალ ზედაპირთან გადაკვეთის a წერტილამდე (y_{d_1} ორდინატა) განისაზღვრება ფორმულით

$$y_{d_1} = y_{c_1} + \frac{J_0^{(ab)}}{y_{c_1} \omega_{ab}}, \qquad (2)$$

სადაც y_{c_1} არის მანძილი ab ზედაპირის სიმძიმის C_1 ცენტრიდან გადაკვეთის a წერტილამდე - $y_{c_1} = h_1/2$ (განსახილველ შემთხვევაში ეს მანძილი C_1 ცენტრის ჩაძირვის სიღრმის ტოლია, ე.ი. $y_{c_1} = h_{c_1}$).

$J_0^{(ab)}$ - B სიგანისა და h_1 სიმაღლის მართკუთხა ab ფართობის (ზედაპირის) ცენტრალური ინერციის მომენტი - $J_0^{(ab)} = Bh_1^3/12$;

ω_{ab} - ამ ზედაპირის ფართობი - $\omega_{ab} = h_1 \cdot B$.

(2) განტოლებაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით მივიღებთ

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

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

2) ზ ე დ ა პ ი რ ი ს bc ც ი ლ ი ნ დ რ უ ლ ნ ა წ ი ლ ზ ე მოქმედი P_{bc} წნევის ძალის სიდიდის განსაზღვრისათვის წინასწარ უნდა დავადგინოთ ამ ძალის ჰორიზონტალური P_x და ვერტიკალური P_z მდგენელების სიდიდეები.

P_x მდგენელის 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

$$P_x = \gamma h_c' \omega_z\ , \qquad (3)$$

სადაც h_c' არის bc ცილინდრული ზედაპირის ვერტიკალური გეგმილის სიმძიმის ცენტრის ჩაძირვის სიღრმე წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან - $h_c' = h_1 + h_2/2$;

ω_z - აღნიშნული ვერტიკალური გეგმილის ფართობი - $\omega_z = h_2 B$.

(3) გამოსახულებაში სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმით მივიღებთ

$$P_x = \gamma(h_1 + h_2/2)h_2 B = 1,0(2,5 + 2,0/2)2,0\cdot 1,0 = 7,0\ ტძ.$$

ვერტიკალური P_z მდგენელის სიდიდე წყლით ნავსებული ე.წ. "წნევის სხეულის" წონის ტოლია

$$P_z = G_{წ.ს} = \gamma W_{წ.ს}\ , \qquad (4)$$

სადაც $G_{წ.ს}$ და $W_{წ.ს}$ არის შესაბამისად "წნევის სხეულის" წონა და მოცულობა (γ წყლის კუთრი წონა).

როგორც ცნობილია, წნევის სხეულის ქვედა ფუძეს წარმოადგენს თვით განსახილველი ცილინდრული ზედაპირი (მისი ფართობი ტოლია R რადიუსიანი bc რკალის ნამრავლისა ცილინდრული ზედაპირის B სიგანეზე ანუ ზედაპირის ჰორიზონტალური მსახველის B სიგრძეზე), ხოლო ზედა ფუძეს - bc ცილინდრული ზედაპირის გეგმილი სითხის თავისუფალ ზედაპირზე (განსახილველ შემთხვევაში ეს გეგმილი წარმოადგენს წყლის თავისუფალ ზედაპირზე მდებარე aa' სიგრძისა და B სიგანის მართკუთხედს). ამ შემთხვევაში, როცა "წნე-

ვის სხეული" თავსდება სითხის ფარგლებს გარეთ, ზემო ფუძედ უნდა მივიჩნიოთ ცილინდრული ზედაპირის გეგმილი სითხის (წყლის) თავისუფალი ზედაპირის გაგრძელებაზე.

წნევის სხეულის ვერტიკალური განივი ჭრილის ფართობი გამოისახება $aa'c\text{ბ}$ ნაკვეთით (სქემაზე ეს ჭრილი დაშტრიხულია პუნქტირით). აღნიშნული ჭრილის ფართობისათვის სქემაზე მიღებულია აღნიშვნა – $\Omega_{\text{წ.ს}}$; მაშინ წნევის სხეულის მოცულობა – $W_{\text{წ.ს}}=\Omega_{\text{წ.ს}}\cdot B= =\text{ფ}\cdot(aa'c\text{ბ})\cdot B$.

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

ამრიგად, ზემოაღნიშნულის საფუძველზე P_z მდგენელისათვის, (4) გამოსახულების შესაბამისად, გვექნება

$$P_z=G_{\text{წ.ს}}=\gamma W_{\text{წ.ს}}=\gamma\,\Omega_{\text{წ.ს}}\cdot B=\gamma B\,\text{ფ}\cdot(aa'c\text{ბ})=$$
$$=\gamma B\left[(h_1+h_2)R-\frac{\pi R^2}{4}\right]=1.0\cdot 1.0\left[(2,5+2.0)\cdot 2.0-\frac{3.14\cdot 2.0^2}{4}\right]=$$
$$=5.86\ \text{ტძ}.$$

P_x და P_z მდგენელების მიხედვით განისაზღვრება (იხ. სათანადო ძალთა სამკუთხედი 1,ა ნახაზზე) შედგენილი ზედაპირის $\overset{\frown}{\text{ბ}c}$ ცილინდრულ ნაწილზე მოქმედი ჯამური წნევის ძალის სიდიდე

$$P_{\text{ბ}c}=\sqrt{P_x^2+P_z^2}=\sqrt{7.0^2+5.86^2}=9{;}129\ \text{ტძ}. \quad (5)$$

ახლა განვსაზღვროთ $P_{\text{ბ}c}$ 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 $\overset{\frown}{\text{ბ}c}$ რკალის სიმრუდის O ცენტრში, ხოლო Oz ღერძს მივმართავთ ვერტიკალურად ზემოთ) და შევადგინოთ $P_{\text{ბ}c}$ ძალის მოქმედების წირისა და R-რადიუსიანი $\overset{\frown}{\text{ბ}c}$ რკალის (კვალის) განტოლებები; მიღებული სისტემის ამოხსნით განისაზღვრება ამ წირების გადაკვეთის წერტილის, ე.ი. წნევის d_2 ცენტრის x და z კოორდინატები $[d_2\,(x,z)]$.

აღნიშნული სისტემა ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\left.\begin{aligned} z &= x\, tg\alpha_1\,, \\ z^2 + x^2 &= R^2; \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

ამ სისტემის პირველი განტოლება გამოსახავს კოორდინატთა სათავეზე გატარებული P_{bc} ძალის მოქმედების წირის (წრფის) განტოლებას, ხოლო მეორე განტოლება – R რადიუსიანი $\breve{b}c$ რკალის განტოლებას.

(6) სისტემის ამოხსნის მიზნით განვსაზღვროთ P_{bc} ძალის მოქმედების წირის ჰორიზონტისადმი დახრის α_1 კუთხის ტანგენსი მდგენელ ძალთა სამკუთხედიდან (ნახ.1,ა):

$$tg\alpha_1 = \frac{P_z}{P_x} = \frac{5,86}{7,00} = 0,8371.$$

ამის შემდეგ (6) სისტემა ამოიხსნება ადვილად 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 (ნახ.1,ა). ვინაიდან d_2 ცენტრი მოთავსდა $\breve{b}c$ რკალზე, უნდა ვიგულისხმოთ, რომ P_x და P_z მდგენელების სიდიდეები და d_2 ცენტრის მდებარეობა განსაზღვრულია სწორად; წინააღმდეგ შემთხვევაში, შეცდომა უნდა ვეძიოთ P_x და P_z მდგენელებისა და $tg\alpha_1$ სიდიდეთა მნიშვნელობებში.

წნევის d_2 ცენტრში მოდებული P_{bc} ძალის ვექტორი დავიტანოთ სქემაზე (ძალოვან მასშტაბში); ცხადია, P_{bc} ძალის ვექტორს ექნება რადიალური მიმართულება, ე.ი. მისი მოქმედების წირი გაივლის წრიული მოხაზულობის $\breve{b}c$ ცილინდრული ზედაპირის სიმრუდის O ცენტრში (ნახ.1,ა).

3) ზედაპირის cd ნაწილზე მოქმედი P_{bc} წნევის ძალის სიდიდე განისაზღვრება (1) ფორმულის მიხედვით . P_{cd}.

$$P_{cd} = \gamma h_{c_3} \omega\,, \qquad (1^1)$$

სადაც h_{c_3} არის ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილი მართკუთხა cd ბრტყელი ზედაპირის სიმძიმის ცენტრის ჩაძირვის სიღრმე – $h_{c_3} = h_1 + h_2 + h_3/2$;

ω_{cd} – ზედაპირის cd ნაწილის ფართობი – $\omega_{cd} = h_3/\sin\alpha \cdot B$.

(1^1) განტოლებაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით მივიღებთ

$$P_{cd} = \gamma(h_1 + h_2 + h_3/2)\, h_3/\sin\alpha \cdot B =$$
$$= 1,0\,(2,5 + 2,0 + 1,5/2)\, 1.5/\sin 30° \cdot 1,0 = 15,75 \text{ ტძ}.$$

y_{d_3} მანძილი $P_{\text{წc}}$ ძალის მოდების წერტილიდან, ე.ი. წნევის d_3 ცენტრიდან, სითხის თავისუფალი ზედაპირისა და cd უბნის გაგრძელების გადაკვეთის K წერტილამდე (ნახ.1,ა), განისაზღვრება (2) ფორმულის მიხედვით

$$y_{d_3}=y_{c_3}+\frac{J_0^{(cd)}}{y_{c_3}\,\omega_{cd}}=\frac{h_1+h_2+h_3/2}{\sin\alpha}+\frac{B\cdot(h_3/\sin\alpha)^3/12}{\frac{h_1+h_2+h_3/2}{\sin\alpha}\,B\,h_3/\sin\alpha}=$$

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

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.

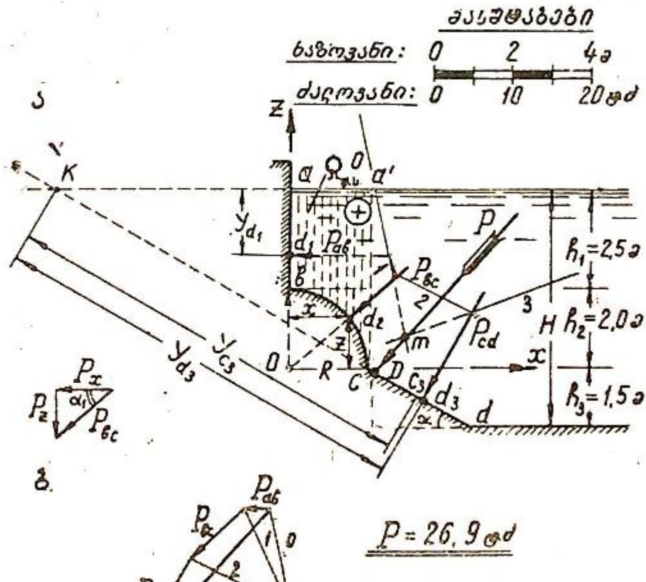
II. შედგენილ ზედაპირზე მოქმედი ჯამური ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის სიდიდისა და მიმართულების განსაზღვრა გრაფიკული ხერხით (გეომეტრიული შეკრებით ბრტყელ ძალთა მრავალკუთხედიდან)

ჯამური ძალის (ტოლქმედის) სიდიდისა და მიმართულების განსაზღვრისათვის ავაგოთ შედგენილი ზედაპირის ცალკეულ უბნებზე მოქმედი წნევის ძალების მრავალკუთხედი (ძალოვან მასშტაბში) აღნიშნული ძალების მიმართულებათა და მიმდევრობის დაცვით (ნახ.1,ბ). ამ მრავალკუთხედის "შემკვრელი" გრაფიკულად გამოსახავს ჯამური P ძალის სიდიდეს და მის მიმართულებას.

ძალოვანი მასშტაბის მიხედვით ვადგენთ ჯამური ძალის სიდიდეს $P = 26,9\ \text{ტძ} = 26\,900\ \text{კგძ}$.

III. მრუდწირული ზედაპირის ჯამური წნევის D ცენტრის (ტოლქმედი ძალის მოდების D წერტილის) მდებარეობის განსაზღვრა გრაფიკული ხერხით (ნახ.1)

ჯამური წნევის ცენტრის განსაზღვრის მიზნით გამოვიყენოთ ე.წ. "თოკის მრავალკუთხედის" ხერხი: ნებისმიერად შერჩეულ P წერტილიდან (პოლუსიდან) გავატაროთ 0,1,2 და 3 სხივები ძალთა მრავალკუთხედის



ნახ. 1

გადაჭრების წერტილებამდე ისე,როგორც ეს ნაჩვენებია 1,ბ ნახაზზე. აღნიშნული ხაზები უნდა გადავიტანოთ ძირითად სქემაზე თავიანთი მიმართულების დაცვით სათანადო ძალების (ან მათი მოქმედების წირების) გადაკვეთამდე (ნახ.1,ა); კიდურა 0 და 3 ხაზების 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.

ძირითად სქემაზე (ნახ.1,ბ) დავიტანოთ ჯამური P ძალის ვექტორი ძალოვანი მასშტაბის მიხედვით,რომელიც უნდა იყოს მოდებული წნევის D ცენტრში;

P ძალის მიმართულება განსაზღვრულია ძალთა მრავალკუთხედიდან (ნახ.1,ბ).

IV. ჭარბი-წონითი ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურების აგება $abcd$ შედგენილი ზედაპირის (კედლის) ცალკეული ნაწილებისათვის (ნახ.2)

გავიხსენოთ,რომ ზედაპირის გასწვრივ სითხის წნევის განაწილების კანონზომიერების გრაფიკულ გამოსახულებას ჰ ი დ რ ო ს ტ ა - ტ ი კ უ რ ი   წ ნ ე ვ ი ს   ე პ ი უ რ ა   ეწოდება.

ჭარბი-წონითი წნევის განტოლება $P=\gamma h$ გამოისახება კოორდინატთა სათავეზე გამავალი წრფით (h - განსახილველი წერტილის ჩაძირვის სიღრმეა სითხეში); დამოკიდებულება $P=f(h)$ არის წრფივი ფუნქცია,რის გამოც ბრტყელი ზედაპირის კონტურის გასწვრივ წნევის 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 ეპიურა). თვალსაჩინოებისათვის მიზანშეწონილია წნევის მასშტაბი შევუთავსოთ სქემის ხაზოვან მასშტაბს, რისთვისაც წნევის სიდიდეები უნდა გამოისახოს წყლის სვეტის სიმაღლეებით (მაგალითად, თუ განიხილება $\gamma = 1$ ტ/მ^3 კუთრი წონის წყალი,მაშინ ზედაპირიდან h სიღრმეზე მდებარე წერტილში ჭარბი

წნევა $P=\gamma h=1\cdot h$ ტ/მ² გამოისახება ხაზოვან მასშტაბში გადაზომილი h მონაკვეთით; თუ განიხილება $\gamma_{ვ.წყ}=13,6$ ტ/მ³ კუთრი წონის ვერცხლისწყალი, მაშინ ზედაპირიდან h სიღრმეზე მდებარე წერტილში ჭარბი წნევა $P=\gamma_{ვ.წყ}\cdot h=13,6h$ ტ/მ² გამოისახება ხაზოვან მასშტაბში გადაზომილი $13,6\,h$ მონაკვეთით).

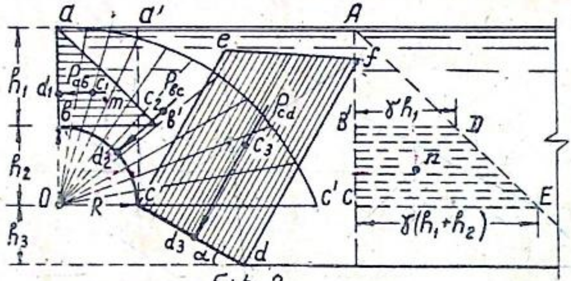
2 · [მრუდწირულ ზედაპირებისათვის წნევის ეპიურების ფორმა უფრო რთულია, ვიდრე ბრტყელი ზედაპირებისათვის.] ეს სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ ნებისმიერ წერტილში ჰიდროსტატიკური წნევა ნორმალურია (მართობულია) მრუდწირული ზედაპირისადმი, ე.ი. [წნევის მოქმედების წირი ნებისმიერ წერტილში გაივლის ზედაპირის სიმრუდის ცენტრში (ცილინდრული ზედაპირის შემთხვევაში წნევას ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში ექნება რადიალური მიმართულება). ეპიურა შემოიფარგლება მრუდი წირით, რომლის ასაგებად ორი წერტილი უკვე აღარ არის საკმარისი.

2 - [ცილინდრულ ზედაპირზე წყლის ჭარბი-წონითი წნევის ეპიურის ასაგებად ამ ზედაპირის კვალი (რკალი) უნდა დაიყოს ტოლ ნაწილებად (მაგალითად, 10 ტოლ ნაწილად); დაყოფის წერტილებიდან რადიალური მიმართულებით უნდა გადაიზომოს თითოეული მათგანის ჩაძირვის სიღრმეების ტოლი მონაკვეთები ($\gamma=1$ ტ/მ³) და ამ მონაკვეთების ბოლოების მრუდი წირით შეერთებით მივიღებთ ჭარბი წნევის მრუდწირული ეპიურის შემომსაზღვრელ წირს (ე.ი. აიგება სათანადო წნევის ეპიურა).]

ახლა კვლავ დავუბრუნდეთ განსახილველ შედგენილ $abcd$ ზედაპირს! [ზედაპირის ab ნაწილზე ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურა გამოისახება ტოლფერდა სამკუთხედით (ნახ.2). bb' მონაკვეთი გამოსახავს γh_1 წნევას (b წერტილში ab კვალის მართობულად გადაზომილია h_1 მონაკვეთი მოცემულ ხაზოვან მასშტაბში).] I

9 · [ზედაპირის ცილინდრულ bc ნაწილზე წნევის ეპიურა გამოისახება $ac'cb$ ნაკვთით; c წერტილში რადიალური მიმართულებით გადაზომილია cc' მონაკვეთი, რომელიც გამოსახავს $\gamma(h_1+h_2)$ წნევას (ე.ი. გადაზომილია h_1+h_2 მონაკვეთი), ხოლო b წერტილში ანალოგიურად აღმართულია ba მონაკვეთი, რომელიც გამოსახავს $\gamma\cdot h_1$ წნევას (ე.ი. გადაზომილია h_1 ვერტიკალური მონაკვეთი, რომლის ბოლო მოთავსებულია წყლის თავისუფალ ზედაპირზე a წერტილში).]

[ზედაპირის cd ნაწილზე (დახრილ ბრტყელ cd ზედაპირზე) წნევის ეპიურა გამოისახება $cefd$ ტრაპეციით. c წერტილში cd ზედაპირის მართობულად გადაზომილია ce მონაკვეთი, რომელიც გამოსახავს



ნახ. 2

$\gamma(h_1+h_2)$ ჭარბ-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 ქვემო 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 ტოლია შესაბამისი წნევის ეპიურის ფართობის ნამრავლისა ამ ზედაპირის სიგანეზე ($P=\Omega_{ეპ}\cdot б$);
2) მუდმივი სიგანისა და ნებისმიერი ფორმის ზედაპირზე მოქმედი ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის მოქმედების ხაზი გადის შესაბამისი წნევის ეპიურის სიმძიმის ცენტრზე, რითაც განისაზღვრება ამ ძალის მოდების წერტილის, ე.ი. წნევის ცენტრის მდებარეობა.

შემოწმებისათვის მიზანშეწონილია ანალიზური ხერხით დადგენილი $P_{аб}$, $P_{бc}$ და P_{cd} ძალების სიდიდეები განვსაზღვროთ აგრეთვე გრაფო-ანალიზური ხერხით, სათანადო წნევის ეპიურების მიხედვით (ეპიურების პირველი თვისების გამოყენებით).

ზედაპირის $аб$ ნაწილის შესაბამისი სამკუთხა ეპიურის ფუძე, ე.ი. $бб'$ მონაკვეთი, γh_1 სიდიდის ტოლია, სიმაღლე - h_1 სიდიდის; მაშინ $\Omega_{ეპ}^{(абб')}=\frac{1}{2}|бб'|\cdot|аб|=\frac{1}{2}\gamma h_1 h_1=\frac{\gamma h_1^2}{2}$ და $P_{аб}=$
$=\Omega_{ეპ}^{(абб')}\cdot B=\gamma h_1^2/2\cdot B$;
ე.ი. მივიღეთ იგივე შედეგი, რაც ანალიზური (1) ფორმულით.

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

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

$$=\gamma\left(h_1+h_2+\frac{h_3}{2}\right)\frac{h_3}{\sin\alpha}$$

და

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

ე.ი.მივიღეთ იგივე შედეგი,რაც ანალიზური ($1'$) ფორმულით.

ზედაპირის $ბc$ ცილინდრულ ნაწილზე წნევის ძალის სიდიდე ტოლია შესაბამისი მრუდწირული $ac'cბ$ ეპიურის ფართობის ნამრავლისა ზედაპირის B სიგანეზე ($P_{ბc}=\Omega_{ეპ}^{(ac'cბ)}\cdot B$),მაგრამ აღნიშნული ფართობის დადგენა წარმოადგენს დიდ სირთულეს და ამიტომ,გრაფო-ანალიზური გზით უნდა განისაზღვროს $P_{ბc}$ ძალის ჰორიზონტალური P_x და ვერტიკალური P_z მდგენელები.

P_x მდგენელის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს $ბc$ ცილინდრული ზედაპირის ვერტიკალური გეგმილისათვის აგებული $B'DEC$ ტრაპეციული ფორმის ეპიურის ფართობით (ნახ.2):

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

და

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

ე.ი.მივიღეთ იგივე შედეგი,რაც ანალიზური (3) ფორმულით.

P_z მდგენელის განსაზღვრის წესი განხილულია I პუნქტში;მისი სიდიდე გამოითვლება (4) გამოსახულების მიხედვით $aa'cბ$ ნაკვეთის ფართობით.

წნევის ეპიურების მეორე თვისების თანახმად $P_{aბ}$ ძალის მოქმედების წირი გაივლის სამკუთხა $aბბ'$ ეპიურის სიმძიმის C_1 ცენტრზე და მას ექნება $aბ$ ზედაპირისადმი მართობული მიმართულება (ე.ი. გრაფიკულად განისაზღვრება d_1 წნევის ცენტრის მდებარეობა);$P_{ბc}$ ძალის მოქმედების წირი გაივლის $ac'cბ$ მრუდწირული ეპიურის სიმძიმის C_2 ცენტრზე და მას ექნება ზედაპირისადმი რადიალური მიმართულება;მაგრამ C_2 ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრა წარმოადგენს დიდ სირთულეს და ამიტომ უმჯობესია დავადგინოთ მდგენელ P_x და P_z ძალების მოქმედების წირების ორიენტირება: P_x მდგენელის მოქმედების წირი გაივლის ჰორიზონტალური წნევის შესაბამისი $B'DEC$ ეპიურის სიმძიმის n ცენტრზე და მას ექნება ჰორიზონტალური მიმართულება; P_z მდგენელის მოქმედების წირი გაივლის წნევის სხე-

ულის ვერტიკალური განივი ჭრილის ფართობის სიმძიმის m ცენტრზე, ე.ი. - $abca'$ ნაკვთის სიმძიმის ცენტრზე და მას ექნება ვერტიკალური მიმართულება. P_{bc} ძალის მოქმედების წირი კი გაივლის P_x და P_z მდგენელების მოქმედების წირების გადაკვეთის წერტილზე და მას ექნება რადიალური მიმართულება,) ცხადია ამ უკანასკნელის (გადაკვეთით bc ზედაპირთან განისაზღვრება წნევის d_2 ცენტრი) (ნახ.1,ა). აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ სიმძიმის ცენტრის მდებარეობის პოვნა წარმოადგენს სირთულეს და ამიტომ წნევის d_2 ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრა მიზანშეწონილია ჩავატაროთ I პუნქტში განხილული ანალიზური ხერხით, ე.ი. (6) სისტემის ამოხსნით.

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

თუ საჭიროა ჯამური წნევის ძალის განსაზღვრა ვერტიკალური მსახველის მქონე ნებისმიერი ფორმის ცილინდრულ ზედაპირზე, მაშ - ინ მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის, რომ ვერტიკალური Z ღერძი ზედაპირის მსახველის პარალელურია და ამიტომ $W_{წ.ს}=0$ და $P_z=0$, ე.ი. ჯამური ძალის ვერტიკალური მდგენელი P_z ნულის ტოლია. ძნელი არ არის იმის დასაბუთება, რომ აღნიშნული შემთხვევაში საკმარისია ჯამური ძალის ორი ჰორიზონტალური P_x და P_y მდგენელის განსაზღვრა: P_x მდგენელის სიდიდე ტოლია წნევის ძალის სიდიდისა განსახილველი ზედაპირის გეგმილზე O_x ღერძისადმი მართობულ ვერტიკალურ გეგმილთა სიბრტყეზე - $P_x=\gamma h_c' \omega_z^{(x)}$, ხოლო P_y მდგენელი ტოლია წნევის ძალის სიდიდისა განსახილველი ზედაპირის გეგმილზე O_y ღერძისადმი მართობულ ვერტიკალურ გეგმილთა სიბრტყეზე - $P_y=\gamma h_c' \omega_z^{(y)}$. ამასთან ჯამური ძალა $P=\sqrt{P_x^2+P_y^2}$ და შესაბამისი კუთხეების კოსინუსები $\cos(\hat{Px})=P_x/P$ და $\cos(\hat{Py})=P_y/P$.

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

მ ო ც ე მ უ ლ ი ა: წრიული მოხაზულობის, ჰორიზონტალურმსახველიანი ცილინდრული bc ზედაპირის ორიენტირების ორი ვარიანტი (ნახ.3,ა,ბ); ა - სქემაზე გამოსახული bc ზედაპირი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ე.წ. სექტორული საკეტის სადაწნეო ზედაპირად, ხოლო ბ - სქემაზე გამოსახული - ე.წ. სეგმენტური საკეტის სადაწნეო ზედაპირად. ნახაზის ორივე სქემისათვის 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 $\varphi=60°$, ჰორიზონტალური მსახველების სიგრძე (ზედაპირების სიგანე ნახაზის სიბრტყის მართობული მიმართულებით) $B=4,0$ მ.

გ ა ნ ვ ს ა ზ ღ ვ რ ო თ: განსახილველ ცილინდრულ bc ზედაპირებზე (ა და ბ სქემები) მოქმედი ჭარბი-წონითი ჰიდროსტატიკური წნევის P_{bc} ძალების სიდიდეები, მათი მიმართულებები და წნევის d ცენტრების მდებარეობა (წნევის ცენტრების მდებარეობა განვსაზღვროთ ანალიზური ხერხით).

ა მ ო ხ ს ნ ა. როგორც ვიცით, ცილინდრულ ზედაპირზე მოქმედი წნევის P_{bc} ძალის ჰორიზონტალური P_x მდგენელის სიდიდე ამ ზედაპირის ვერტიკალურ გეგმილზე მოქმედი ჭარბი-წონითი წნევის ძალის სიდიდის ტოლია. ორივე განსახილველი სქემისათვის bc ზედაპირების ვერტიკალური გეგმილების ფართობები ერთმანეთის ტოლია და წარმოადგენს h_2 სიმაღლისა და B სიგანის ვერტიკალურ მართკუთხედებს, ე.ი. მათი ფართობები ტოლია - $\omega_z = h_2 B$; აღნიშნული ვერტიკალური გეგმილების სიმძიმის ცენტრების [illegible] (წყალში) ჩაძირვის სიღრმეები იქნება $h'_c = h_1 + h_2/2$; ამიტომ ორივე სქემისათვის P_x მდგენელის სიდიდე (3) ფორმულის თანახმად

$$P_x = \gamma h'_c \omega_z = \gamma \left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right) \cdot h_2 B =$$

$$= 1,0 \left(1,5 + \frac{2,0}{2}\right) \cdot 2,0 \cdot 4,0 = 20 \text{ ტძ}.$$

ახლა გავიხსენოთ, რომ წნევის P_{bc} ძალის ვერტიკალური P_z მდგე-

ნელის სიდიდე ე.წ. წნევის სხეულის შესაბამისი $W_{წ.ს}$ მოცულობის მქონე წყლის $G_{წ.ს}$ წონის ტოლია. წნევის სხეულის ქვემო ფუძეს ორივე სქემისათვის წარმოადგენს თვით ცილინდრული bc ზედაპირი (ნახ.3), ხოლო მის ზემო ფუძეს ა - სქემისათვის წარმოადგენს bc ზედაპირის გეგმილი სითხის თავისუფალ ზედაპირზე (ჰორიზონტალური მართკუთხედი $/aa'/\cdot B$; ბ - სქემისათვის კი - bc ზედაპირის გეგმილი წყლის თავისუფალი ზედაპირის გაგრძელებაზე ($/aa'/\cdot B$). ორივე სქემაზე სათანადო წნევის სხეულის განივი ჭრილების ფართობები ($\Omega_{წ.ს} = \Omega^{abca'}_{წ.ს}$) 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):

$$P_z = G_{წ.ს} = \gamma W_{წ.ს} = \gamma \Omega^{(abca')}_{წ.ს} \cdot B =$$

$$= \gamma B\left[ფ\cdot(abb'a')_{მართკ.} + ფ\cdot(b'b0c)_{ტრაპ.} - ფ\cdot(b0c)_{სექტ.}\right] =$$

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

$$= 1,0\cdot 4,0\left[1,5\,(2,3 - 2,3\cos 60°) + \frac{(2.3 - 2,3\cos 60°)+2,3}{2}\cdot 2,0 - \frac{3.14\cdot 2,3^2}{360}\cdot 60\right] = 9,626\ ტძ.$$

bc ზედაპირზე რადიალური მიმართულებით მოქმედი ჯამური P_{bc} წნევის ძალის სიდიდე ა - სქემისათვის გამოითვლება (5) გამოსახულებით

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

ამ ძალის მოდების წერტილის, ე.ი. წნევის d ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრისათვის კოორდინატთა სათავე ავირჩიოთ bc ცილინდრული ზედაპირის სიმრუდის O ცენტრში, ხოლო x და z ღერძები მივმართოთ ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-3 ნახაზის ა - სქემაზე. ამის

შემდეგ შევადგინოთ (6) განტოლებათა სისტემა და განვსაზღვროთ წნევის d ცენტრის კოორდინატები (ანალიზური ხერხით):

$$\left.\begin{aligned} x^2+z^2&=R^2 \\ z&=x\,tg\alpha \end{aligned}\right\}, \quad tg\alpha=\frac{P_z}{P_x}=\frac{9.626}{20,0}=0,4813;(a)$$

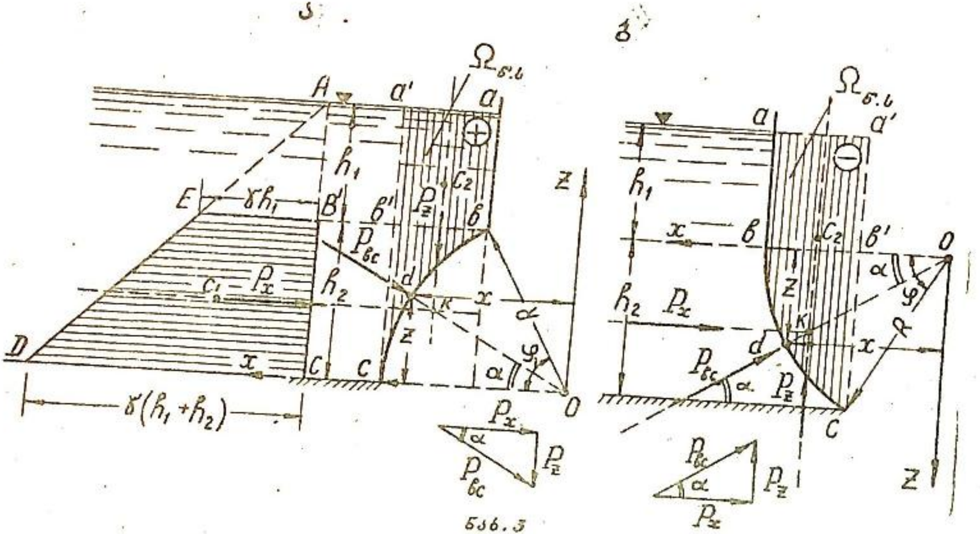
ამიტომ $x^2+(x\cdot 0,4813)^2=2,3^2$, საიდანაც $x=2,072\,\text{მ}\approx 2,1\,\text{მ}$ და $z=2,072\cdot 0,4813=0,997\,\text{მ}\approx 1\,\text{მ}$. ვინაიდან წნევის d ცენტრი, რომლის კოორდინატებია $x=2,1\,\text{მ}$ და $z=1,0\,\text{მ}$ საკმაო სიზუსტით თავსდება $\overset{\frown}{bc}$ რკალზე (ნახ.3,ა), 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 ცენტრზე.

მეორე მხრივ გავიხსენოთ, რომ ჯამური P_{bc} ძალის ჰორიზონტალური P_x მდგენელის მოქმედების წირი გაივლის ჰორიზონტალური წნევის გამომსახველი $B'CDE$ ეპიურის (ე.ი. $\overset{\frown}{bc}$ ზედაპირის ვერტიკალური პროექციისათვის აგებული ეპიურის) სიმძიმის C_1 ცენტრზე (ნახ.3,ა); P_z მდგენელის მოქმედების წირი-"წნევის სხეულის" ვერტიკალური განივი ჭრილის ფართობის ($\Omega^{abca'}_{\text{წ.ს}}$) სიმძიმის C_2 ცენტრზე, ხოლო ჯამური P_{bc} ძალის მოქმედების წირი – P_x -ისა და P_z მდგენელების მოქმედების წირების გადაკვეთის k წერტილზე (ამ უკანასკნელს ექნება რადიალური მიმართულება, რითაც განისაზღვრება წნევის d ცენტრის მდებარეობა).

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

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

$$P_z=G_{\text{წ.ს}}=\gamma W_{\text{წ.ს}}=\gamma\,\Omega^{abca'}_{\text{წ.ს}}\cdot B=$$
$$=\gamma B\left[\text{ფ}\cdot(abb'a')_{\text{მართ.}}+\text{ფ}\cdot(bOc)_{\text{სექტ}}-\text{ფ}\cdot(b'Oc)_{\text{სამკ}}\right]=$$
$$=\gamma B\left[h_1(R-R\cos\varphi)+\frac{\pi R^2}{360}\varphi-\frac{1}{2}h_2\cdot R\cos\varphi\right]=$$



Фиг. 3

$$= 1,0 \cdot 4,0\left[1,5\,(2,3 + 2,3\cos 60^\circ) + \frac{3.14\cdot 2,3^2}{360}\,60 - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\cdot 2,0\cdot 2,3\cos 60^\circ\right] = 13,374 \text{ ტძ}.$$

ჯამური $P_{ბC}$ ძალის სიდიდე (5) გამოსახულების მიხედვით

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

წნევის d ცენტრის მდებარეობა განსახილველ შემთხვევაში (ნახ. 3,ბ) განისაზღვრება ზემოთ განხილული ა - სქემის ანალოგიურად; კოორდინატთა სათავეს ვირჩევთ ბC ზედაპირის სიმრუდის O ცენტრში, ხოლო X და Z ღერძებს მივმართავთ ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია ბ სქემაზე; (6) სისტემის საფუძველზე გვექნება

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

$$z = x\,tg\alpha = x\,P_z/P_x = x\,\frac{13.374}{20.0} = x\cdot 0,6687\,, \qquad (6)$$

აქედან $x^2 + (x\cdot 0,6687)^2 = 2,3^2$, 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 დაჯდება ბC რკალზე (ნახ.3,ბ), ამიტომ ვრწმუნდებით ჩატარებული გაანგარიშების სისწორეში. ცხადია, ჯამურ $P_{ბC}$ ძალას ექნება რადიალური მიმართულება, ე.ი. მისი მოქმედების წირი გაივლის ბC ზედაპირის სიმრუდის O ცენტრზე.

სქემების გამოხაზვის მიზნით უნდა შეირჩეს ხაზოვანი და ძალოვანი მასშტაბები ($M_\ell = 1/50$; $M_p = 1/5$ ტძ).

.საშინაო დავალების II ტიპი (სითხის ორმხრივი წნევა):

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

მ ო ც ე მ უ ლ ი ა: ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილი ბრტყელი მართკუთხა AB ზედაპირი, ზედაპირის b სიგანე (ნახაზის სიბრტყის მართობული მიმართულებით), წყლის სიღრმე ზედაპირის წინ (ზემო ბიეფში) - H_1, მის უკან (ქვედა ბიეფში) - H_2 (ნახ.4) და წყლის

კუთრი წონა $\gamma = 1,0$ ტ/მ³.

განსაზღვრეთ: 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) ფორმულის მიხედვით

$$P_1 = \gamma h_{c_1} \omega_1 = \gamma \frac{H_1}{2} \frac{H_1}{\sin\alpha} b = \frac{\gamma H_1^2}{2\sin\alpha} b \text{ (ტ)}, \qquad (a)$$

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

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

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

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

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

ე.ი.

$$P = \frac{\gamma (H_1^2 - H_2^2) b}{2\sin\alpha} . \qquad (7)$$

AB ზედაპირზე ორმხრივი წნევის შედეგად მოქმედი ძალების 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 (ნახ.4).

d_1 წნევის ცენტრის y_{d_1} ორდინატა (მანძილი გადაკვეთის A წერტილიდან d_1 წერტილამდე) შეიძლება გავიანგარიშოთ (2) გამოსახულების მიხედვით:

$$y_{d_1} = y_{c_1} + \frac{J_0^{(AB)}}{y_{c_1} \cdot \omega_1} , \qquad (b)$$

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) – $y_{c_1} = \frac{1}{2}|AB| = \frac{1}{2}\,\frac{H_1}{\sin\alpha}$;

$J_0^{(AB)}$ – განსახილველი AB ზედაპირის ინერციის მომენტი ცენტრალური ღერძის მიმართ

$$J_0^{(AB)} = \frac{b\cdot|AB|^3}{12} = \frac{b\,(H_1/\sin\alpha)^3}{12}\,; \qquad (b')$$

ω_1 – AB ზედაპირის ფართობი – $\omega_1 = b\cdot|AB| = b\cdot H_1/\sin\alpha$.

მაშასადამე,

$$y_{d_1} = \frac{H_1}{2\sin\alpha} + \frac{b\,(H_1/\sin\alpha)^3}{12\cdot H_1/2\sin\alpha\cdot H_1/\sin\alpha\cdot b} = \frac{2}{3}\,\frac{H_1}{\sin\alpha}. \qquad (c)$$

ანალოგიურად დავადგენთ P_2 წნევის ძალის y_{d_2} ორდინატას:

$$y_{d_2} = \frac{2}{3}\,\frac{H_2}{\sin\alpha}\,. \qquad (c')$$

P_1 და P_2 ძალების სათანადო l_{d_1} და l_{d_2} მხრები B წერტილის მიმართ (მანძილები d_1 და d_2 ცენტრებიდან 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

$$l_d = \frac{P_1\cdot l_{d_1} - P_2\cdot l_{d_2}}{P}\,. \qquad (e)$$

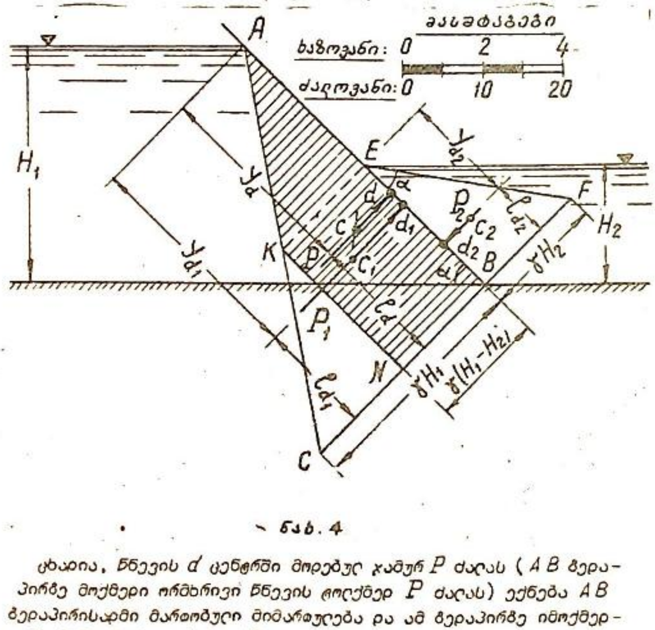
(e) გამოსახულებაში სათანადო მნიშვნელობათა შეტანით მივიღებთ

$$l_d = \frac{\gamma H_1^2/2\sin\alpha\cdot b\cdot H_1/3\sin\alpha - \gamma H_2^2/2\sin\alpha\cdot b\cdot H_2/3\sin\alpha}{\dfrac{\gamma(H_1^2 - H_2^2)\,b}{2\sin\alpha}} =$$

$$= \frac{H_1^3 - H_2^3}{3 \sin\alpha (H_1^2 - H_2^2)} ,$$

ე.ი.

$$\ell_d = \frac{H_1^3 - H_2^3}{3 \sin\alpha (H_1^2 - H_2^2)} . \qquad (8)$$



ნახ. 4

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 ზემო მხრიდან (ნახ.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 ხერხით, თუ გამოვიყენებთ ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურის თვისებებს.

წყლის H_1 სიღრმით გამოწვეული ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურა AB ზედაპირის გასწვრივ (ზემო მხრიდან) გამოისახება ABC სამკუ-

თხელით (B წერტილში AB ზედაპირის მართობულად უნდა გადავზომ-ოთ H_1 სიღრმე, ვინაიდან $\gamma_{წყ}=1$ ტ/მ³). P_1 ძალის სიდიდე ტოლია ABC ეპიურის $\Omega_{ეპ}^{(ABC)}$ ფართობის ნამრავლისა ზედაპირის ბ სიგანე-ზე

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

ე.ი. მივიღეთ იგივე (α) გამოსახულება. P_1 ძალის მოქმედების წირი გაივლის ABC სამკუთხა ეპიურის სიმძიმის C_1 ცენტრზე, რითაც განისაზღვრება წნევის d_1 ცენტრის მდებარეობა და y_{d_1} ორდინატა (მხარი $l_{d_1}=|AB|-y_{d_1}$).

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

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

ე.ი. ვღებულობთ იგივე (α') გამოსახულებას. P_2 ძალის მოქმედების წირი გაივლის EBF სამკუთხა ეპიურის სიმძიმის C_2 ცენტრზე, რითაც განისაზღვრება წნევის d_2 ცენტრის მდებარეობა და y_{d_2} ორდინატა (მხარი $l_{d_2}=|EB|-y_{d_2}$).

ჯამური $P=P_1-P_2$ ძალის სიდიდეს ადვილად გავიგებთ გრაფიკულად, თუ ავაგებთ ორმხრივი წნევის შემაჯამებელ $ABNK$ ეპიურას. მას აქვს ტრაპეციული ფორმა და მიიღება ABC სამკუთხა ეპიურიდან განმტვირთავი (საწინააღმდეგო 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 ($\gamma_{წყ}=1$). ზედა მხრიდან წნევა განუწყვეტლ-ივ იზრდება ზედაპირის E წერტილამდე, ხოლო მის ქვემოთ, H_2 სიღრ-მის მქონე წყლის განმტვირთავი მოქმედების გამო, წნევა რჩება უც-ვლელი – $P=\gamma(H_1-H_2)=const$.

ამრიგად, ჯამური წნევის ძალის სიდიდე

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

$$=\frac{H_1/\sin\alpha+H_2/\sin\alpha}{2}\gamma(H_1-H_2)\text{ბ}=$$

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

ე.ი.

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

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

ცხადია, P ძალის მოქმედების ხაზი გაივლის $ABNK$ ეპიურის სიმძიმის C ცენტრზე, რითაც განისაზღვრება ჯამური წნევის d ცენტრის მდებარეობა (ნახ.4).

ნაწილი მეორე - ჰ ი დ რ ო დ ი ნ ა მ ი კ ა

საშინაო დავალების I ტიპი

(სითხის გამოდინება მილსადენიდან ატმოსფეროში)

1. ცალკე კვეთის მარტივი მილსადენის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება თავისუფალი გამოდინებისას (ნახ.5)

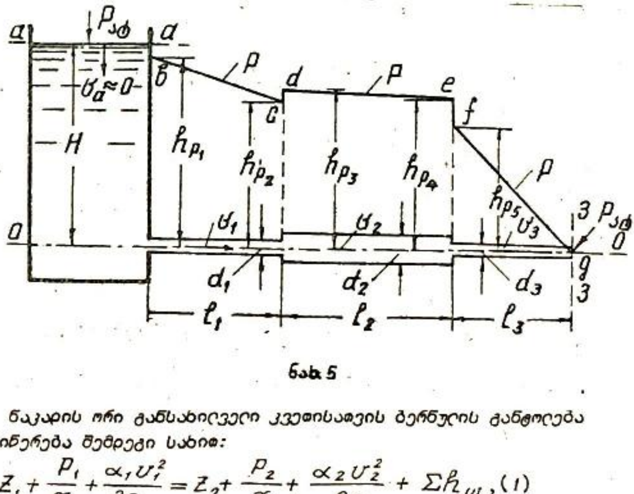
მ ო ც ე მ უ ლ ი ა: სამი სხვადასხვა დიამეტრის მქონე უბნისაგან შედგენილი ჰორიზონტალური თუჯის მილსადენი, რომელიც სათავეს იღებს (გამოდის) ღია რეზერვუარიდან; წყლის დონე რეზერვუარში მუდმივია და დაწნევა მილსადენის $0-0$ ღერძის მიმართ (რეზერვუარის მხრიდან) - $H=7{,}0$მ; მილსადენის ცალკეული უბნების სიგრძეები - - $l_1=40$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 (ნახ.5).

გ ა ნ ვ ს ა ზ ღ ვ რ ო თ: მილსადენიდან წყლის გამოდინების სიჩქარე, ხარჯი და ჭარბი - პიეზომეტრული წნევის განაწილება ამ მილსადენის გასწვრივ (ე.ი. აიგოს პიეზომეტრიული $P-P$ ხაზი მილსადენის გასწვრივ).

ა მ ო ხ ს ნ ა: ამ ამოცანის გადასაწყვეტად უნდა შევადგინოთ სითხის მოძრაობის ძირითადი განტოლება, ე.ი. ბერნულის განტოლება მილსადენის (სისტემის) ორი დამახასიათებელი კვეთისათვის სათანადოდ შერჩეული სადარდი სიბრტყის მიმართ. გაანგარიშების გასაადვილებლად ხელსაყრელია ორი ისეთი კვეთის შერჩევა, რომლებშიც

აბსოლუტური წნევა ტოლია; მიზანშეწონილია აგრეთვე სადარი სიბრ-ტყის გატარება ერთ-ერთი საანგარიშო კვეთის სიმძიმის ცენტრზე (მაშინ,ამ კვეთის ცენტრის მდებარეობის Z სიმაღლე სადარი სიბ-რტყის მიმართ იქნება ნულის ტოლი).

განსახილველ შემთხვევაში საანგარიშო კვეთებად ავირჩიოთ წყლ-ის თავისუფალი ზედაპირი რეზერვუარში, ე.ი. $a-a$ ჰორიზონტალური კვეთი და მილსადენის მესამე უბნის გამოსასვლელი $3-3$ კვეთი; სადარი $0-0$ სიბრტყე შევუთავსოთ ჰორიზონტალური მილსადენის ღე-რძს, ე.ი.იგი გაივლის $3-3$ კვეთის ცენტრზე (ნახ.5).



ნახ 5

ნაკადის ორი განსახილველი კვეთისათვის ბერნულის განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$Z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g}=Z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g}+\Sigma h_w, \quad (1)$$

სადაც Σh_w არის ყველა სახის ადგილობრივი და სიგრძივი სიგ-რძეზე დაწნევის (კუთრი ენერგიის) დანაკარგების ჯამი ($\Sigma h_w=\Sigma h_{w_l}+\Sigma h_{w_{ად}}$);

P_1 და P_2 -აბსოლუტური წნევის სიდიდეები განსახილველ კვეთ-ებში (ამ კვეთების ცენტრებში);

υ_1 და υ_2 -ნაკადის საშუალო სიჩქარეები იგივე კვეთებში;

$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ და $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ - საჩქარით დაწნევის სიმაღლეები (კუთრი კინეტიკური ენერგიები) სათანადო კვეთებში;

z_1 და z_2 - სათანადო კვეთების ცენტრების გეომეტრიული სიმაღლეები საჭირო $0-0$ სიბრტყის მიმართ.

გავარკვიოთ (1) განტოლების თითოეული წევრის მნიშვნელობა: $z_1 = z_a = H$, $v_1 = v_a \approx 0$, $P_1 = P_{ატ}$, $P_2 = P_3 = P_{ატ}$, $z_2 = z_3 = 0$, $v_2 = v_3$ და $\alpha_2 = \alpha_3 \approx 1,0$ ამ მნიშვნელობათა შეტანით (1) განტოლებაში მივიღებთ

$$H = \frac{v_3^2}{2g} + \sum h_w . \qquad (2)$$

ამ ძირითადი განტოლების საფუძველზე უნდა გავიანგარიშოთ განსახილველი მილსადენი.

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

დაწნევის დანაკარგები გამოვსახოთ მილსადენიდან გამომდინარე v_3 საშუალო სიჩქარის შესაბამისი სიჩქარით დაწნევით, რისთვისაც ვისარგებლოთ სითხის უწყვეტობის ჰიდრავლიკური განტოლებით:
$v_1 \omega_1 = v_3 \omega_3$, საიდანაც $v_1 = v_3\, \omega_3/\omega_1$ და $v_1^2/2g = (\omega_3/\omega_1)^2 \cdot v_3^2/2g$;
ანალოგიურად $v_2^2/2g = (\omega_3/\omega_2)^2 \cdot v_3^2/2g$.

წინაღობის λ კოეფიციენტი, გაანგარიშების გაადვილების მიზნით განვსაზღვროთ დარსის მიახლოებითი ფორმულით

$$\lambda = 0,02\left(1 + \frac{1}{40d}\right). \qquad (3)$$

დაწნევის დანაკარგები მილსადენის თითოეული უბნის სიგრძეზე განვსაზღვროთ დარსი-ვეისბახის ფორმულით

$$h_{w_l} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \qquad (4)$$

სადაც l განსახილველი უბნის სიგრძეა;

d - დიამეტრი;

v - საშუალო სიჩქარე ამ უბანზე.

დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგები უნდა განვსაზღვროთ ვეისბახის ფორმულით

$$h_{w_{ადგ}} = \xi_{ადგ} \frac{v^2}{2g}, \qquad (5)$$

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

წინასწარ გამოვთვალოთ მილსადენის ცალკეული უბნების ცოცხალი კვეთის ფართობები: $\omega_1 = \pi d_1^2/4 = 3,14 \cdot 0,08^2/4 = 0,005$ მ^2; $\omega_2 = 3,14 \cdot 0,02^2/4 = 0,0314$ მ^2 და $\omega_3 = 3,14 \cdot 0,06^2/4 = 0,0028$ 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) დაწნევის დანაკარგი მილსადენის პირველი უბნის l_1 სიგრძეზე

$$h_{w_{l_1}} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g} = 0,026 \frac{40}{0,08} \frac{v_1^2}{2g} = 13,0 \left(\frac{\omega_3}{\omega_1}\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = 13,0 \left(\frac{0,0028}{0,005}\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = 4,08 \frac{v_3^2}{2g};$$

აქ λ_1 კოეფიციენტი განვსაზღვრეთ (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 $\lambda_2 = 0,0225$)

$$h_{w_{l_2}} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} = 0,0225 \frac{50}{0,2} \frac{v_2^2}{2g} = 5,625 \left(\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = 5,625 \left(\frac{0,0028}{0,0314}\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = 0,0447 \frac{v_3^2}{2g};$$

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

$$h_{w_{l_3}} = \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \frac{v_3^2}{2g} = 0,028 \frac{35}{0,06} \frac{v_3^2}{2g} = 16,33 \frac{v_3^2}{2g};$$

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

$$h_{w_{შეს}} = \xi_{შეს} \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \left(\frac{0,0028}{0,005}\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = 0,1568 \frac{v_3^2}{2g};$$

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

5) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი ნაკადის უეცარ გაფართო-ვებაზე მილსადენის პირველი უბნიდან მეორეზე გადასვლისას ($\xi''_{უ.გ}$ განისაზღვრება ბორდას ფორმულის მიხედვით, შესწორების გარეშე)

$$h_{\omega_{უ.გ}}=\xi''_{უ.გ}\frac{v_2^2}{2g}=\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}-1\right)^2\frac{v_2^2}{2g}=\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}-1\right)^2\left(\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)^2\frac{v_3^2}{2g}=$$
$$=\left(\frac{0,0314}{0,005}-1\right)^2\left(\frac{0,0028}{0,0314}\right)^2\frac{v_3^2}{2g}=0,2217\frac{v_3^2}{2g};$$

6) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი უეცარ შევიწროვებაზე მი-ლსადენის მეორე უბნიდან მესამეზე გადასვლისას

$$h_{\omega_{უ.შ}}=\xi''_{უ.შ}\frac{v_3^2}{2g}=0,5\left(1-\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)\frac{v_3^2}{2g}=$$
$$=0,5\left(1-\frac{0,0028}{0,0314}\right)\frac{v_3^2}{2g}=0,4550\frac{v_3^2}{2g};$$

აქ უეცარ შევიწროვებაზე დანაკარგის კოეფიციენტი ($\xi''_{უ.შ}$) განვსა-ზღვრეთ ფორმულით

$$\xi''_{უ.შ}=0,5\left(1-\frac{\omega_3}{\omega_2}\right). \qquad (6)$$

ყველა სახის დაწნევის დანაკარგის ჯამი

$$\sum h_w=\xi_{სის}\frac{v_3^2}{2g}=(4.08+0,0447+16,33+$$
$$+0,1568+0,2217+0,4550)\frac{v_3^2}{2g}=21,2882\frac{v_3^2}{2g}. \qquad (7)$$

აქ სისტემის წინაღობის კოეფიციენტი $\xi_{სის}=21,2882$ განსაზღვრუ-ლია მილსადენიდან გამოდინების v_3 სიჩქარის მიხედვით.

(7) გამოსახულების შეტანით ძირითად (2) განტოლებაში გვექნე-ბა

$$H=\frac{v_3^2}{2g}+21,2882\frac{v_3^2}{2g}=22,2882\frac{v_3^2}{2g},$$

ანუ

$$H=(1+\xi_{სის})\frac{v_3^2}{2g}. \qquad (8)$$

აქედან ატმოსფეროში გამოდინების v_3 სიჩქარისათვის მივიღებთ შე-მდეგ ფორმულას:

$$\upsilon_3=\frac{1}{\sqrt{1+\xi_{სისტ}}}\sqrt{2gH}=\varphi_{სისტ}\sqrt{2gH}\ , \qquad (9)$$

აქ $\varphi_{სისტ}=1/\sqrt{1+\xi_{სისტ}}$ არის ე.წ. სისტემის სიჩქარის კოეფიციენ-ტი (იგი მილსადენთა სისტემის ხარჯის $\mu_{სისტ}$ კოეფიციენტის ტოლია),

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

ამრიგად,

$$\upsilon_3=\varphi_{სისტ}\sqrt{2gH}=0,2118\sqrt{19,62\cdot 7,0}=2,4834\ მ/წმ .$$

მილსადენში დამყარებული წყლის ხარჯისათვის მივიღებთ ფორმულას

$$Q=\upsilon_3\,\omega_3=\omega_3\,\mu_{სისტ}\sqrt{2gH}\ ; \qquad (10)$$

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

ამრიგად, წყლის ხარჯისათვის გვექნება

$$Q=\upsilon_3\,\omega_3=2,4834\cdot 0,0028=0,00695\ მ^3/წმ=6,95\ ლ/წმ ,$$

ან, რაც იგივეა, (10) ფორმულით

$$Q=0,0028\cdot 0,2118\sqrt{19,62\cdot 7,0}=0,00695\ მ^3/წმ=6,95\ ლ/წმ .$$

მილსადენის გასწვრივ ჭარბი-მონომეტრული წნევის განაწილების დადგენის მიზნით ავაგოთ პიეზომეტრული P - P წირი (ნახ.5).

წინასწარ განვსაზღვროთ სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები მილსადენის ცალკეულ უბნებზე:

$$\frac{\upsilon_3^2}{2g}=\frac{2,4834^2}{19,62}=0,314\ მ\ ;$$

$$\frac{\upsilon_1^2}{2g}=\left(\frac{\omega_3}{\omega_1}\right)^2\frac{\upsilon_3^2}{2g}=\left(\frac{0,0028}{0,005}\right)^2\cdot 0,314=0,0985\ მ\ ;$$

$$\frac{\upsilon_2^2}{2g}=\left(\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)^2\frac{\upsilon_3^2}{2g}=\left(\frac{0.0028}{0,0314}\right)^2\cdot 0,314=0,0025\ მ.$$

ახლა შეგვიძლია განვსაზღვროთ ცალკეული სახის დაწნევის დანაკარ-გების რიცხვითი მნიშვნელობები:

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

$$2)\ h_{w_{l_1}}=13,0\cdot\frac{v_1^2}{2g}=13,0\cdot 0,0985=1,2805\ მ\ ;$$

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

$$4)\ h_{w_{l_2}}=5,625\frac{v_2^2}{2g}=5,625\cdot 0,0025=0,01412\ ;$$

$$5)\ h_{w_{უ.მ}}=0,4550\ \frac{v_3^2}{2g_2}=0,4550\cdot 0,314\doteq 0,1429\ ;$$

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

ყველა სახის დაწნევის დანაკარგის ჯამი ტოლია

$$\sum h_w=6,6840\ მ.$$

ჩატარებული გაანგარიშების სისწორე შ ე ვ ა მ ო წ მ ო თ ძი-რითადი (2) განტოლებით; მხედველობაში მივიღოთ, რომ $H=7,0$ მ (მი-ლსადენის სრული დაწნევა) მოცემული სიდიდეა:

$$H=\frac{v_3^2}{2g}+\sum h_w=0,314+6,6840=6,998\approx 7,0\ მ.$$

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

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

1) მილსადენის შესასვლელ კვეთში პიეზომეტრული h_{p_1} სიმაღლე

$$h_{p_1}=\frac{P_{1(მან)}}{\gamma}=\frac{P_{1(აბს)}-P_{ატ}}{\gamma}=H-\frac{v_1^2}{2g}-h_{w_{შეს}}=$$

$$=7,0-0,0985-0,04925=6,852\ მ\ ;$$

2) პირველი უბნის ბოლო კვეთში

$$h_{p_2} = h_{p_1} - h_{w_{l_1}} = 6,852 - 1,2805 = 5,572 \text{ მ} ;$$

3) მეორე უბნის საწყის კვეთში (იგი შეთავსებულია პირველი უბ-ნის ბოლო კვეთთან)

$$h_{p_3} = H - \frac{v_2^2}{2g} - h_{w_{შეს}} - h_{w_{l_1}} - h_{w_{უ.გ}} = 7,0 - 0,0025 - 0,0425 - 1,2805 - 0,0696 = 5,598 \text{ მ} ;$$

4) მეორე უბნის ბოლო კვეთში

$$h_{p_4} = h_{p_3} - h_{w_{l_2}} = 5,598 - 0,0141 = 5,584 \text{ მ} ;$$

5) მესამე უბნის საწყის კვეთში

$$h_{p_5} = H - \frac{v_3^2}{2g} - h_{w.შეს} - h_{w_{l_1}} - h_{w_{უ.გ}} - h_{w_{l_2}} - h_{w_{უ.ვ}} = 7,0 - 0,314 - 0,04925 - 1,2805 - 0,0696 - 0,0141 - 0,1429 = 5,13 \text{ მ} ;$$

6) მესამე უბნის ბოლო (გამოსასვლელი) კვეთში

$$h_{p_6} = h_{p_5} - h_{w_{l_3}} = 5,13 - 5,128 = 0,002 \text{ მ} \approx 0 .$$

უკანასკნელი შედეგი აგრეთვე ადასტურებს ჩატარებული გაანგა-რიშების სიზუსტეს. ცდომილების სიდიდე იგივეა, რაც ძირითადი (2) განტოლებით შემოწმებისას ($\Delta_{ცდ} = 0,002$ მ).

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

უნდა აღვნიშნოთ, რომ მე-5 ნახაზი შესრულებულია უმასშტაბოდ. საშინაო დავალების შესრულებისას მიზანშეწონილია ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ხაზოვანი მასშტაბები იყოს განსხვავებული. განსა-ხილველი შემთხვევისათვის მოსახერხებელია ვერტიკალური ხაზოვანი მასშტაბი ავიღოთ $M_{ვერტ} = 1/100$-ის (ან 1/50), ხოლო ჰორიზონტ-ალური ხაზოვანი მასშტაბი - $M_{ჰორ} = 1/1000$-ის ტოლად.

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

ჰიდროდინამიკური დაწნევის H—H წირის ასაგებად საჭიროა პიეზომეტრული P—P წირის ზემოთ გადავზომოთ სათანადო სიჩქარ-ითი დაწნევის სიმაღლეები (I უბანზე - $v_1^2/2g$, II უბანზე - $v_2^2/2g$ და მესამეზე - $v_3^2/2g$).

საშინაო დავალების II ტიპი

(სითხის გამოდინება მილსადენიდან დონის ქვეშ)

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

ნ ო ც ე მ უ ლ ი ა: მიმდევრობით შეერთებული ორი სხვადასხვა დიამეტრის მქონე ჰორიზონტალური თუჯის მილსადენი, რომელიც წყალს აწვდის სადაწნეო A რეზერვუარიდან ღია B რეზერვუარში (გამოდინება დონის ქვეშ), ამ რეზერვუარებში შენარჩუნებულია წყლის მუდმივი დონეები (ნახ.6); წყლის დაწნევა (სიღრმე) სადაწნეო A რეზერვუარში მილსადენების ჰორიზონტალური $S-S$ ღერძის მიმართ $H_A=2$ 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 შედგენილი მილსადენის პირველი უბნის სიგრძე) $\ell_1=30$ მ და დიამეტრი $d_1=0{,}15$ მ, ხოლო მეორე მილსადენის (მეორე უბნის) სიგრძე $\ell_2=40$ მ და დიამეტრი $d=0{,}3$ მ; განსახილველი ცვლადი კვეთის თუჯის მილსადენი დიდი ხანია ექსპლუატაციაში.

გ ა ნ ს ა ზ ღ ვ რ ო თ: შედგენილი მილსადენის წყლის Q ხარჯი და ავაგოთ ჰიდროდინამიკური დაწნევის (სრული დაწნევის) $H-H$ და პიეზომეტრული $P-P$ წირები განსახილველი მილსადენის გასწვრივ.

ა მ ო ხ ს ნ ა. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად უნდა შევადგინოთ ბერნულის განტოლება (სითხის მოძრაობის ძირითადი განტოლება) სისტემის (რეზერვუარები - შედგენილი მილსადენი) ორი დამახასიათებელი კვეთისათვის სათანადოდ შერჩეული საფარდი სიბრტყის მიმართ. განსახილველ შემთხვევაში მიზანშეწონილია საანგარიშო კვეთებად, შესაბამისად, ავირჩიოთ A და B რეზერვუარებში წყლის თავისუფალ ზედაპირებთან შეთავსებული 1-1 და 2-2 კვეთები. საფარდი $0-0$ სიბრტყის ნაღლივი მდებარეობა შევუთავსოთ A რეზერვუარში წყლის თავისუფალ ზედაპირს (დონეს), ე.ი. იგი გავატაროთ 1-1 კვეთზე (ნახ. 6).

ბერნულის განტოლება აღნიშნული კვეთებისათვის (1-1 და 2-2) საფარდი $0-0$ სიბრტყის მიმართ ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}+\sum h_w, \quad (1)$$

სადაც Σh_w არის ყველა სახის ადგილობრივი და სადინარის სიგრძეზე დაწნევის (კუთრი ენერგიის) დანაკარგების ჯამი $(\Sigma h_w = \Sigma h_{w_l} + \Sigma h_{w_{ადგ}})$;

p_1 და p_2 – აბსოლუტური წნევის სიდიდეები განსახილველ კვეთებში;

v_1 და v_2 – ნაკადის საშუალო სიჩქარეები იგივე კვეთებში;

$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ და $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ – სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები (კუთრი კინეტიკური ენერგიები) აღნიშნულ კვეთებში;

Z_1 და Z_2 – საანგარიშო კვეთების ცენტრების გეომეტრიული სიმაღლეები საფარდი $0-0$ სიბრტყის მიმართ.

დავადგინოთ (1) განტოლების თითოეული წევრის მნიშვნელობა: $Z_1 = 0$, $\frac{p_1}{\gamma} = \frac{2{,}4\,(კგძ/სმ^2)}{0{,}001\,(კგძ/სმ^3)} = 2400$ სმ $= 24$ მ, მოძრაობის სიჩქარეები 1-1 და 2-2 კვეთებში (A და B რეზერვუარებში წყლის თავისუფალ ზედაპირებზე) $v_1 = v_A \approx 0$ და $v_2 = v_B \approx 0$, ამიტომ შეიძლება მივიღოთ $\alpha_1 v_1^2/2g = 0$ და $\alpha_2 v_2^2/2g = 0$, $Z_2 = H_B - H_A$ და $\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_{ატ}}{\gamma} = \frac{10\,(ტძ/მ^2)}{1{,}0\,(ტძ/მ^3)} = 10$ მ.

ამ მნიშვნელობათა შეტანით (1) განტოლებაში მივიღებთ

$$\frac{p_1}{\gamma} = (H_B - H_A) + \frac{p_{ატ}}{\gamma} + \Sigma h_w$$

ან

$$\left(H_A + \frac{p_1 - p_{ატ}}{\gamma}\right) - H_B = \Sigma h_w ;$$

მაგრამ მე-6 ნახაზიდან

$$\left(H_A + \frac{p_1 - p_{ატ}}{\gamma}\right) - H_B = H ,$$

სადაც H არის პიეზომეტრულ H_{p_A} და H_{p_B} დაწნევათა სხვაობა A და B რეზერვუარებს შორის მილსადენის $S-S$ ღერძთან შედარებული საფარდი სიბრტყის მიმართ: $H = H_{p_A} - H_{p_B}$, სადაც $H_{p_B} = H_B$.

ამრიგად, (1) განტოლებიდან საბოლოოდ მივიღებთ შემდეგ ძირითად საანგარიშო ფორმულას:

$$H = \Sigma h_w . \qquad (2)$$

3.

დაწნევათა სხვაობა (მოქმედი დაწნევა A და B რეზერვუარებს შორის)

$$H = H_{p_A} - H_{p_B} = \left(H_A + \frac{P_1 - P_{ატ}}{\gamma}\right) - H_B =$$

$$= \left(\frac{24 - 10}{1.0} + 2.0\right) - 6.0 = 10\ მ,\ ე.ი.\ H = 10\ მ$$

(აქ მივიღეთ, რომ $P_1 = 24\ ტ/მ^2$, $P_{ატ} = 10\ ტ/მ^2$ და $\gamma = 1.0\ ტ/მ^3$).

ძირითადი (2) განტოლება გვიჩვენებს, რომ დაწნევათა H სხვაობა (მოქმედი დაწნევა) მთლიანად იხარჯება ჰიდრავლიკურ წინაღობათა დაძლევაზე მილსადენში წყლის მოძრაობისას A-დან B რეზერვუარამდე.

ახლა განვსაზღვროთ ყველა სახის დაწნევის დანაკარგი განსახილველ მილსადენში (შედგენილი მილსადენის ორივე უბანზე). დაწნევის დანაკარგები გამოვსახოთ მილსადენის მეორე უბანზე (როგორც წესი, - ბოლო უბანზე) მოძრაობის საშუალო υ_2 სიჩქარით სითხის "უწყვეტობის" ჰიდრავლიკური განტოლების გათვალისწინებით

$$\frac{\upsilon_1^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 \frac{\upsilon_2^2}{2g} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 \frac{\upsilon_2^2}{2g};$$

აქ ω_1 და ω_2 -ით აღნიშნულია მილსადენის შესაბამისი უბნების ცოცხალი კვეთის ფართობები ($\omega_1 = \pi d_1^2/4$ და $\omega_2 = \pi d_2^2/4$).

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

$$\lambda = 0,02\left(1 + \frac{1}{40 \cdot d}\right). \tag{3}$$

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

$$h_{w_l} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\upsilon^2}{2g}, \tag{4}$$

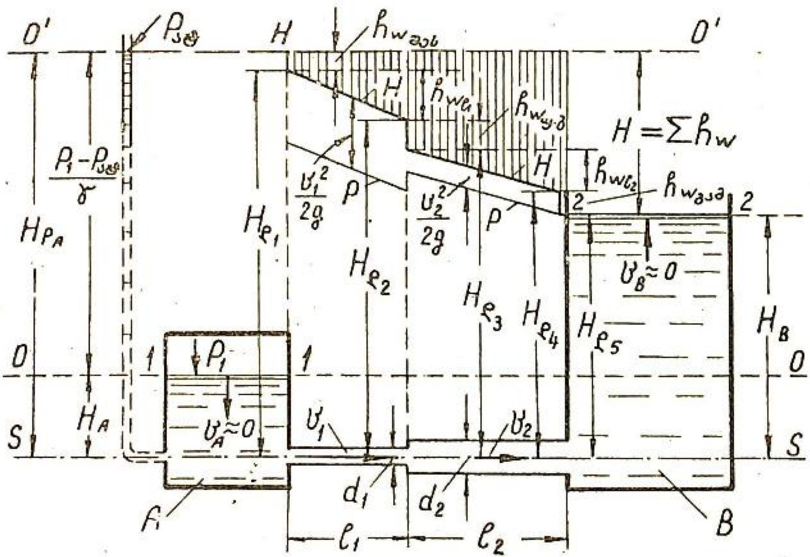
სადაც l არის მილსადენის განსახილველი უბნის სიგრძე;

d -დიამეტრი;

υ -საშუალო სიჩქარე ამ უბანზე.

დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგები განისაზღვრება ვეისბახის ფორმულით, რომელშიც $\xi_{ადგ}$-ე.წ. ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტია:

$$h_{w_{ადგ}} = \xi_{ადგ} \frac{\upsilon^2}{2g}. \tag{5}$$



ნახ. 6

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

1) დაწნევის დანაკარგი მილსადენის პირველი უბნის ℓ_1 სიგრძეზე

$$h_{w_{\ell_1}} = \lambda_1 \frac{\ell_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g} = 0,023 \frac{30}{0.15} \frac{v_1^2}{2g} = 4,60 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 \frac{v_2^2}{2g} =$$

$$= 4,60 \left(\frac{0.3}{0.15}\right)^4 \frac{v_2^2}{2g} = 73,60 \frac{v_2^2}{2g} ;$$

აქ λ_1 კოეფიციენტი განვსაზღვრეთ (3) 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 ($\lambda_2 = 0,022$)

$$h_{w_{\ell_2}} = 0,022 \frac{40}{0,3} \frac{v_2^2}{2g} = 2,93 \frac{v_2^2}{2g} ;$$

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

$$h_{w_{შეს}} = \xi_{შეს} \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 \frac{v_2^2}{2g} = 0,5 \cdot 16,0 \frac{v_2^2}{2g} = 8,0 \frac{v_2^2}{2g} ;$$

4) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი უეცარ გაფართოებაზე მილსადენის პირველ უბნიდან მეორეზე გადასვლისას (კოეფიციენტი $\xi''_{უ.გ}$ განისაზღვრება ბორდას ფორმულით)

$$h_{w_{უ.გ}} = \xi''_{უ.გ} \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left[\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 - 1\right]^2 \frac{v_2^2}{2g} =$$

$$= \left[\left(\frac{0.30}{0.15}\right)^2 - 1\right]^2 \frac{v_2^2}{2g} = 9,0 \frac{v_2^2}{2g} ;$$

5) დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი ნაკადის გამოსვლაზე მილსადენის მეორე უბნიდან B რეზერვუარში ($\xi_{გამ} = 1.0$)

$$h_{w_{გამ}} = \xi_{გამ} \frac{v_2^2}{2g} = 1.0 \frac{v_2^2}{2g} .$$

ყველა სახის დაწნევის დანაკარგის ჯამი

$$\Sigma h_w=\xi_{სისტ}\frac{v_2^2}{2g}=(73,60+2,93+8,0+9,0+1,0)\frac{v_2^2}{2g}=$$
$$=94,53\ \frac{v_2^2}{2g}\ . \qquad (6)$$

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

(2) განტოლება გადავწეროთ (6)-ის გათვალისწინებით, გვექნება

$$H=\xi_{სისტ}\ \frac{v_2^2}{2g}\ .$$

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

$$v_2=\frac{1}{\sqrt{\xi_{სისტ}}}\sqrt{2gH}=\varphi_{სისტ}\sqrt{2gH}\ , \qquad (7)$$

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

(7) გამოსახულებაში შევიტანოთ სიდიდეთა სათანადო მნიშვნელობები, მივიღებთ

$$v_2=\frac{1}{\sqrt{94,53}}\sqrt{19,62\cdot 10,0}=1,441\ მ/წმ\ ;$$

მილსადენის წყლის ხარჯი

$$Q=v_2\omega_2=\omega_2\mu_{სისტ}\sqrt{2gH}\ ; \qquad (8)$$

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

$$Q=v_2\omega_2=1,441\frac{\pi d_2^2}{4}=1,441\frac{3,14\cdot 0,3^2}{4}=$$
$$=1,441\cdot 0,07065=0,102\ მ^3/წმ=102\ ლ/წმ\ .$$

პიეზომეტრული დაწნევის $H-H$ წირის აგების მიზნით, განვსაზღვროთ სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები მილსადენის ორივე უბნისა-

თვის და ცალკეული დაწნევის დანაკარგების რიცხვითი მნიშვნელობე-ბი.

სიჩქარითი დაწნევის სიმაღლეები იქნება:

$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{1,441^2}{19,62} = 0,106 \text{ მ};$$

$$\frac{v_1^2}{2g} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 \frac{v_2^2}{2g} = 16,0 \cdot 0,106 = 1,69 \text{ მ}.$$

ცალკეული სახის დაწნევის დანაკარგების (კუთრი ენერგიის და-ნაკარგების) რიცხვითი მნიშვნელობები ტოლია:

$$1)\ h_{w_{\ell_1}} = 73,60 \frac{v_2^2}{2g} = 73,60 \cdot 0,106 = 7,802 \text{ მ};$$

$$2)\ h_{w_{\ell_2}} = 2,93 \frac{v_2^2}{2g} = 2,93 \cdot 0,106 = 0,311 \text{ მ};$$

$$3)\ h_{w_{ვს}} = 8,0 \frac{v_2^2}{2g} = 8,0 \cdot 0,106 = 0,848 \text{ მ};$$

$$4)\ h_{w_{ე.მ}} = 9,0 \frac{v_2^2}{2g} = 9,0 \cdot 0,106 = 0,954 \text{ მ};$$

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

ყველა სახის დაწნევის დანაკარგის ჯამი

$$\sum h_w = 10,021 \text{ მ}.$$

ჩატარებული გაანგარიშების სისწორე შევამოწმოთ ძირითადი (2) განტოლებით, რისთვისაც მხედველობაში მივიღოთ, რომ პიეზომეტრულ დაწნევათა სხვაობა (მოქმედი დაწნევა) განსახილველ რეზერვუარ-ებს შორის ($H=10$ მ) მოცემული სიდიდეა. ამრიგად, (2) გამოსა-ხულების მიხედვით

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

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

ჰიდროდინამიკური დაწნევის $H-H$ წირის აგება განვსაზღვრ-

რით პიეზომეტრული H_p 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) პიეზომეტრული დაწნევა მილსადენის შესასვლელ კვეთში მილსადენის $S-S$ ღერძის მიმართ (ამ ღერძთან შეთავსებული საფარდი სიბრტყის მიმართ)

$$H_{p_1}=H_{p_A}-h_{w_{შეს}}=\left(H_A+\frac{p_1-p_{ატ}}{\gamma}\right)-h_{w_{შეს}}=\left(2,0+\frac{24-10}{1,0}\right)-$$

$$-0,848=16,0-0,848=15,152 \text{ მ};$$

2) დაწნევა მილსადენის პირველი უბნის ბოლო კვეთში

$$H_{p_2}=H_{p_1}-h_{w_{l_1}}=15,152-7.802=7,35 \text{ მ}$$

3) დაწნევა მილსადენის მეორე უბნის საწყის კვეთში

$$H_{p_3}=H_{p_2}-h_{w_{შვ}}=7,350-0,954=6,396 \text{ მ};$$

4) დაწნევა მილსადენის მეორე უბნის ბოლო (გამოსასვლელ) კვეთში

$$H_{p_4}=H_{p_3}-h_{w_{l_2}}=6,396-0,311=6,085 \text{ მ};$$

5) დაწნევა მილსადენის მეორე უბნის გამოსასვლელ კვეთში B რეზერვუარის მხრიდან

$$H_{p_5}=H_{p_4}-h_{w_{გამ}}=6,085-0,106=5,979 \text{ მ} \approx H_B=6,0 \text{ მ};$$

ე.ი. მივიღეთ იგივე ცდომილება ($\Delta_{ცდ}=0,021$ მ), რაც (2) განტოლების მიხედვით ზემოთ ჩატარებული შემოწმებისას (ვინაიდან $H_B = 6,0$ მ მოცემული სიდიდეა).

პიეზომეტრული დაწნევის $H-H$ ტეხილი ხაზი გამოსახულია მე-6 ნახაზზე (ეს ნახაზი შესრულებულია უმასშტაბოდ). საშინაო დავალების შესრულებისას ამ ნახაზისათვის უნდა შევარჩიოთ სათანადო ხაზოვანი მასშტაბი; მიზანშეწონილია ავირჩიოთ ერთმანეთისაგან განსხვავებული ვერტიკალური (H_e , H და h_p სიმაღლეებისათვის) და

ჰორიზონტალური (უბნების ℓ სიგრძეებისათვის) ხაზოვანი მასშტაბები მაგალითად, $M_{ვერტ} = 1/100$ და $M_{ჰორ} = 1/500$.

პიეზომეტრული $P-P$ ხაზის ასაგებად განვსაზღვროთ მილსადენის $S-S$ ღერძის მიმართ პიეზომეტრული სიმაღლეები მილსადენის სათანადო კვეთებში:

$$1)\ h_{p_1} = H_{e_1} - \frac{v_1^2}{2g} = 15,152 - 1,69 = 13,462\ მ;$$

$$2)\ h_{p_2} = H_{e_2} - \frac{v_1^2}{2g} = 7,350 - 1,69 = 5,660\ მ;$$

$$3)\ h_{p_3} = H_{e_3} - \frac{v_2^2}{2g} = 6,396 - 0,106 = 6,290\ მ;$$

$$4)\ h_{p_4} = H_{e_4} - \frac{v_2^2}{2g} = 6,085 - 0,106 = 5,979 \approx H_B = 6,0\ მ.$$

პიეზომეტრული $P-P$ ტეხილი ხაზი გამოსახულია მე-6 ნახაზზე. 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. И.В.Прозоров, Г.И.Николадзе, А.В.Минаев. Гидравлика, водоснабжение и канализация городов. М.: Высшая школа, 1975.- 422 с.

3. Р.Р.Чугаев. Гидравлика. Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. - 672 с.

4. В.А.Большаков и др. Сборник задач по гидравлике. Киев: Будивельник, 1964. - 292 с.

5. А.И.Богомолов и др. Примеры гидравлических расчетов. М.: Транспорт, 1977. - 526 с.

სარჩევი

Методические указания к выполнению домашних заданий по основам гидравлики для студентов специальности промышленного и гражданского строительства

(На грузинском языке)

Грузинский политехнический институт им.В.И.Ленина

Тбилиси - 1985

Составители: Н.Г.Кутателадзе,А.Г.Папашвили
Р.Г.Дигереная

რედაქტორი ე.გიორგაძე
გადაეცა წარმოებას 31.1.85. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 30.
ტ. 500 ეგზ. ქაღალდის ზომა 60X84 1/16. ნაბ. თ. 2,6 სააღ
საგ. თ. 2,1. შეკვ. № 169 უფასო

სპი-ს სტამბა, თბილისი, ლენინის ქ., 77
Типография ГПИ,Тбилиси,ул.Ленина,77