

მარინე თოფურია, ავთანდილ გოგოლაძე,  
აზა სურმავა

ლაბორატორიული სამუშაოები  
ზოგად ჰიდრავლიკაში  
მეთოდოლოგიური მითითებები

საგამომცემლო სახლი  
„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მარინე თოფურია, ავთანდილ გოგოლაძე,  
აზა სურმავა

ლაბორატორიული სამუშაოები  
ზოგად ჰიდრავლიკაში  
მეთოდისკური მითითებები



დამტკიცებულია საქართველოს  
ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო  
ფაკულტეტის სასწავლო-სამეცნიერო  
ლიტერატურის დარგობრივი კომისიის  
№ 2, აქტი № 5, 15 ივლისი 2019 წ.

მეორე შევსებით განახლებული გამოცემა

თბილისი  
2020წ

## უაკ 532

მეთოდოლოგიური მითითებები შეიცავს იმ ლაბორატორიული სამუშაოების ჩატარებას და აღწერას, რომლებიც სრულდება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სხვადასხვა ფაკულტეტზე ჰიდრავლიკის თეორიული კურსის პარალელურად.

პრაქტიკულში ზოგად ჰიდრავლიკაში მიზნად ისახავს, სტუდენტთა თეორიული ცოდნის განმტკიცებას, მათთვის ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდოლოგიის დაწვრილებით გაცნობას და აუცილებელი ჩვევების გამომუშავებას დამოუკიდებელი ექსპერიმენტულ-თეორიული კვლევისთვის. პრაქტიკუმის შედეგებისას გავითვალისწინეთ გადმოცემული მასალის. რაც შეიძლება მეტი თვალსაჩინოება, რათა ის დაეხმაროს სტუდენტებს ზოგადი ჰიდრავლიკის კურსის დამოუკიდებლად შესწავლაში.

განსახილველი საკითხის თეორიიდან ზოგადი ცნების მოკლედ გადმოცემის შემდეგ თითოეულ სამუშაოში მოცემულია შესაბამისი ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა, სამუშაოს მიზანი, მისი შესრულების თანამიმდევრობა და გაზომვებისა და გამოთვლების შედეგების ჩასაწერი ჟურნალი.

პრაქტიკუმში აღწერილია 10 ლაბორატორიული სამუშაო.

ლაბორატორიული სამუშაოს დაწყებამდე თითოეულმა სტუდენტმა უნდა შეისწავლოს ამ პრაქტიკუმში აღწერილი სამუშაო და მის გარშემო მასწავლებელთან გაიაროს გასაუბრება თეორიულ საკითხებზე.

ექსპერიმენტულ დანადგარზე 4-5 სტუდენტისგან შემდგარი ჯგუფი მასწავლებლის ან ლაბორანტის მეთვალყურეობით ასრულებს დავალებას.

ჯგუფის თითოეულ სტუდენტს საზომი ხელსაწყოების ჩვენებები შეაქვს ლაბორატორიულ სამუშაოთა რვეულში, რის შემდეგ იწყებს ცდის მონაცემების დამუშავებას.

გამოთვლების დამთავრების შემდეგ სტუდენტი მასწავლებელს აბარებს ანგარიშს შესრულებულ სამუშაოზე.

მეთოდოლოგიური მითითებები განკუთვნილია სამშენებლო და სატრანსპორტო ფაკულტეტის ბაკალავრებისათვის.

რეცენზენტები: ჰიდროინჟინერიის 104 დეპარტამენტის,  
პროფესორი, ემერიტუსი **ზ. დანელია**

ჰიდროინჟინერიის 104 დეპარტამენტის,  
პროფესორი, **ა. საყვარელიძე**

# ლაბორატორიული სამუშაო 1

## ჰიდროსტატიკური წნევის გაზომვა

### 1. ზოგადი ცნობები

ჰიდროსტატიკური წნევა წერტილში ( $p$ ) ეწოდება  $\frac{P}{\omega}$  ფართობის ზღვარს, როდესაც  $\omega$  მიისწრაფვის ნულისკენ:

$$p = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{P}{\omega}, \quad (1)$$

სადაც  $\omega$  არის სითხის შიგნით ან მის თავისუფალ ზედაპირზე გატარებული ე.წ. „მოქმედების ზედაპირის“ ფართობი;

$p$  – ამ ზედაპირზე მოქმედი სითხის წნევის ძალა.

სრული ანუ აბსოლუტური ჰიდროსტატიკური წნევა წონასწორობაში მყოფი სითხის წერტილში, როდესაც სითხეზე მოცულობითი ძალებიდან მოქმედებს მხოლოდ სიმძიმის ძალა, განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\text{სრ(აბ)}} = p_0 + \gamma h, \quad (2)$$

სადაც  $p_0$  არის სითხის თავისუფალ ზედაპირზე მოქმედი წნევა;

$\gamma$  – სითხის კუთრი წონა;

$h$  – განსახილველი წერტილის ჩაძირვის სიღრმე თავისუფალი ზედაპირიდან.

სრულ და ატმოსფერულ წნევებს შორის სხვაობას ჭარბი (მანომეტრული) ჰიდროსტატიკური წნევა ეწოდება:

$$P_{\text{ჭარ(მან)}} = P_{\text{სრ(აბ)}} - P_{\text{ატ}} \quad (3)$$

ანუ

$$P_{\text{ჭარ(მან)}} = (p_0 + \gamma h) - p_{\text{ატ}} = (p_0 - p_{\text{ატ}}) + \gamma h. \quad (3^1)$$

თუ სითხის თავისუფალ ზედაპირზე მოქმედი წნევა ატმოსფერულია, ე.ი.  $p_0 = p_{\text{ატ}}$ , მაშინ (3<sup>1</sup>) ფორმულიდან

$$P_{\text{ჭარ(მან)}} = \gamma h. \quad (4)$$

იმ შემთხვევაში, თუ სრული ჰიდროსტატიკური წნევა ნაკლებია ატმოსფერულზე, ე.ი. თუ  $P_{\text{სრ(აბს)}} < P_{\text{ატ}}$ , მაშინ ადგილი აქვს ვაკუუმს, ვაკუუმი ეწოდება წნევის დანაკლისს ატმოსფერულ წნევამდე

$$P_{\text{ვაკ}} = P_{\text{ატ}} - P_{\text{სრ(აბს)}} \quad (5)$$

ანუ

$$P_{\text{სრ(აბს)}} = P_{\text{ატ}} - P_{\text{ვაკ}} = P_{\text{ატ}} - \gamma h_{\text{ვაკ}}, \quad (5')$$

სადაც  $h_{\text{ვაკ}}$  ვაკუუმური სიმაღლეა, ე.ი. სითხის სვეტის სიმაღლე, რომელიც ზომავს ვაკუუმს.

ჰიდროსტატიკურ წნევას ერთეულთა ტექნიკურ სისტემაში აქვს განზომილება  $[p] = \frac{\text{კგ}^{\text{დ}}}{\text{მ}^2}$ , ხოლო საერთაშორისო სისტემაში

$$[S_i] - [p] = \frac{\text{ნ}}{\text{მ}^2}.$$

პრაქტიკაში გამოყენებულ წნევის საზომ ერთეულთა შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$[p] = 1 \text{ ტექ. ატ.} = 1 \text{ ატ.}$$

$$= 1 \frac{\text{კგ}^{\text{დ}}}{\text{მ}^2} = 10000 \frac{\text{კგ}^{\text{დ}}}{\text{მ}^2} \cdot 9,81 \frac{\text{ნ}}{\text{სმ}^2} = 98100 \frac{\text{ნ}}{\text{მ}^2} = 98100 \text{ პა.}$$

ასეთი წნევა შეესაბამება 736 მმ სიმაღლის ვერცხლისწყლის სვეტის წნევას  $0^{\circ}\text{C}$ -ზე ან 10მ სიმაღლის წყლის სვეტის წნევას  $+4^{\circ}\text{C}$ -ზე.

სხვადასხვა სახის ჰიდროსტატიკური წნევის (აგრეთვე ვაკუუმის) გასაზომად გამოიყენება მანომეტრი, პიეზომეტრი, ვაკუუმმეტრი და სხვა. მოცემულ სამუშაოში წნევის გაზომვა ხდება პიეზომეტრებით.

პიეზომეტრი არის ვერტიკალურ მიწის მილაკი, რომლის ზედა ბოლო ღიაა, ხოლო ქვედა ბოლოთი მიერთებულია წნევის გაზომვის ადგილას. წნევის ზემოქმედებით სითხე მილაკში

იკავებს გარკვეულ მდგომარეობას, რომელიც ფიქსირდება დანაყოფებიანი სკალით.

დახშულ საჰაერო სივრცეში (არეში) წნევის გასაზომად ხშირად სარგებლობენ U-სებრი პიეზომეტრით, რომელიც ერთი მუხლით დაკავშირებულია დახშულ საჰაერო სივრცესთან, ხოლო მეორეთი – ატმოსფეროსთან. მუხლებში წნევათა სხვაობა (ზოგად შემთხვევაში) იწვევს მათში მუშა სითხის დონეთა სხვაობას, რაც გამოსაკვლევ საჰაერო არეში ჭარბი წნევის გაზომვის საშუალებას იძლევა.

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

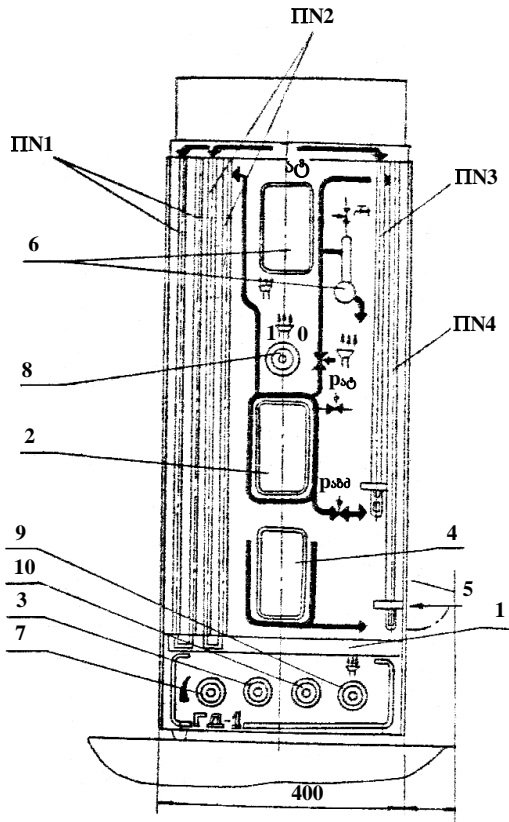
დანადგარი ГД-1 (სურ. 1.1) არის სხმული კორპუსის 1 მქონე მოწყობილობა, რომელიც თავის მხრივ ორი – ზედა და ქვედა ნაკვეთურისგან შედგება. კორპუსის ზედა ნაკვეთურში მოთავსებულია წყლით ნაწილობრივ შევსებული დახშული ძირითადი რეზერვუარი 2 (სურ. 1.1; 1.2). მისი საჰაერო სივრცე ონკანის სახელურის 3 საშუალებით შეიძლება დაუკავშირდეს ატმოსფეროს.

კორპუსის ქვედა ნაწილში მოთავსებულია ასევე წყლით ნაწილობრივ შევსებული რეზერვუარი 4 უკუპიეზომეტრით (N4). ამ რეზერვუარის საჰაერო სივრცეში მუდმივად შენარჩუნებულია ატმოსფერული წნევა.

ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცეში ჭარბი (ზეატმოსფერული) წნევის შესაქმნელად გამოიყენება სხმულ კორპუსში 1 მოთავსებული ხელის საჰაერო ტუმბო 5, ხოლო ჰაერის გასაუხშობლად წყალჭავლური ტუმბო 6. ეს უკანასკნელი იკვებება წყალსადენის ქსელიდან.

დანადგარის მართვის ორგანოები, შესაბამისი ონკანების სახელურების სახით, წინა პანელზეა გამოტანილი. ონკანის

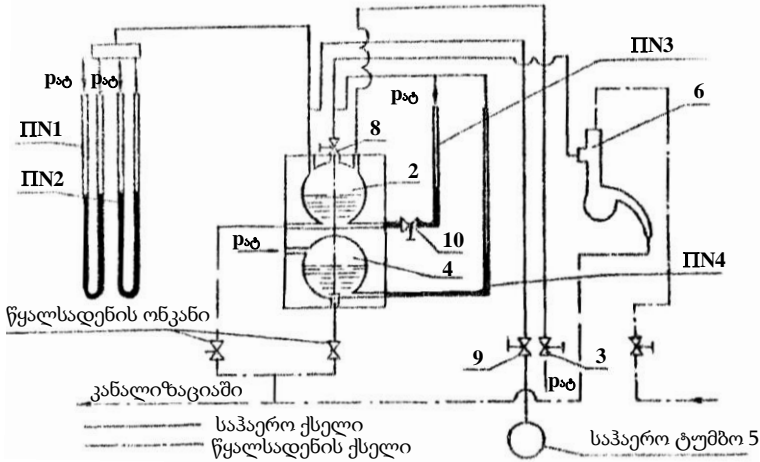
სახელურის 7 მობრუნებით ხდება წყალჭავლური ტუმბოს ჩართვა და გამორთვა. სახელურის 8 მობრუნებისას ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცე უკავშირდება როგორც წყალჭავლური ტუმბოს მილყელს, ისე უკუპიეზომეტრს, ხოლო სახელური 9 მობრუნებით – ხელის ტუმბოს. სახელური 10 საშუალებით რეზერვუარის 2 ქვედა წერტილი უკავშირდება N3 პიეზომეტრს ჰიდროსტატიკური წნევის გაზომვის მიზნით.



სურ. 1.1

დანადგარის კვება წყალსადენის ქსელიდან და წყლის გადაგდება საკანალიზაციო მილში ხდება დანადგარის უკანა

პანელზე მოთავსებული შტუცერის საშუალებით. იქვეა განლაგებული ონკანები რეზერვუარიდან (2 და 4) კანალიზაციაში წყლის გადასადგურებად.



სურ. 1.2

ჰიდროსტატიკური წნევის გაზომვა ხორციელდება დანადგარის წინა პანელზე მოთავსებული პიეზომეტრით. N1 პიეზომეტრში ჩასხმულია წყალი, ხოლო N2 პიეზომეტრში – გლიცერინი. N1 და N2 პიეზომეტრები ერთი ბოლოთი დაკავშირებულია ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცესთან, ხოლო მეორე ბოლოთი – ატმოსფეროსთან; ისინი განკუთვნილია ძირითად რეზერვუარში ჭარბი წნევის ან ვაკუუმის გასაზომად.

პიეზომეტრი N3 ერთი ბოლოთი ატმოსფეროს უკავშირდება, მეორეთი – ძირითადი რეზერვუარის ქვედა წერტილს და განკუთვნილია ჭარბი ჰიდროსტატიკური წნევის გასაზომად აღნიშნულ წერტილში; მისი ჩამირვის სიღრმე სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან რეზერვუარის შიგა რადიუსის ტოლია და 9 სმ-ს შეადგენს.



უკუპიეზომეტრი (ვაკუუმმეტრი) N4 ერთი ბოლოთი უკავშირდება ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცეს, მეორეთი – უკუპიეზომეტრიანი რეზერვუარის ქვედა წერტილს და განკუთვნილია ვაკუუმის გასაზომად ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცეში. ჭარბი წნევისა და ვაკუუმის სიდიდეთა მნიშვნელობები აითვლება პიეზომეტრის გასწვრივ მოთავსებულ სკალაზე.

### 3. სამუშაოს მიზანი

განისაზღვროს:

1. ჭარბი (მანომეტრული) წნევის მნიშვნელობა N1 და N2 პიეზომეტრებით ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცეში;
2. ვაკუუმის მნიშვნელობა იმავე სივრცეში N1 და N2 პიეზომეტრებით და N4 უკუპიეზომეტრით;
3. აბსოლუტური ჰიდროსტატიკური წნევის სიდიდე N3 პიეზომეტრით ძირითადი რეზერვუარის ქვედა წერტილში;
4. აბსოლუტური წნევის ( $p_0$ ) სიდიდე ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცეში, როდესაც  $p_0 > P_{\text{atm}}$

### 4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები

1. ჭარბი წნევის გაზომვის დაწყებამდე აუცილებელია დანადგარის ონკანების სახელურების 9 და 10 გაღება. დანარჩენი ონკანები დაკეტილია. ხელის ტუმბოს 5 საშუალებით ვქმნით ჭარბ წნევას ძირითადი რეზერვუარის 2 საჰაერო სივრცეში, რის შემდეგაც ვკეტავთ ონკანს 9. როდესაც პიეზომეტრში სითხის დონეები დამყარდება (ე.ი. როცა არ შეიმჩნევა სითხის დონეთა რხევა), ვიწყებთ გაზომვებს, ე.ი. დანაყოფებიან

სკალაზე ვიღებთ N1 და N2 პიეზომეტრების მარცხენა და მარჯვენა მუხლებში სითხის (წყლის და გლიცერინის) დონეთა შესაბამის ჩვენებებს. ერთდროულად ვაფიქსირებთ N3 პიეზომეტრის ჩვენებებსაც როგორც ატმოსფერული, ისე ფაქტიურად არსებული წნევისათვის ( $h, h_{3,3}$ ) და ვსაზღვრავთ მათ სხვაობას, ამ უკანასკნელს ვადარებთ N1 პიეზომეტრის ჩვენებას. შემდეგ ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცეში ვცვლით წნევას და კვლავ ვიღებთ ანათვლებს. გაზომვის შედეგები შეგვაქვს გაზომვებისა და გამოთვლების შედეგების ჩასაწერი ჟურნალის შესაბამის გრაფებში. ცდას სამჯერ ვატარებთ.

2. ჭარბი წნევის მნიშვნელობებს ძირითადი რეზერვუარის დახშულ საჰაერო სივრცეში გამოვითვლით ფორმულებით:

$$P_{ჭარ} = \gamma_{\varphi} h_{\varphi} = \gamma_{\varphi} (h_{\varphi, \text{მარც}} - h_{\varphi, \text{მარჯ}}); \quad (6)$$

$$P_{ჭარ} = \gamma_{\vartheta} h_{\vartheta} = \gamma_{\vartheta} (h_{\vartheta, \text{მარც}} - h_{\vartheta, \text{მარჯ}}) \quad (7)$$

სადაც  $h_{\varphi} = h_{\varphi, \text{მარც}} - h_{\varphi, \text{მარჯ}}$ . N1 პიეზომეტრის მარცხენა და მარჯვენა მუხლებში წყლის შესაბამის დონეთა სხვაობა;

$h_{\vartheta} = h_{\vartheta, \text{მარც}} - h_{\vartheta, \text{მარჯ}}$ . – იგივე გლიცერინისთვის N2 პიეზომეტრში;

$\gamma_{\varphi}$  და  $\gamma_{\vartheta}$  – შესაბამისად წყლის და გლიცერინის კუთრი წონა.

2. ძირითადი რეზერვუარის დახშულ საჰაერო სივრცეში ვაკუუმის შესაქმნელად ვაღებთ ონკანის სახელურს 3, ე.ი. რეზერვუარის საჰაერო არეს ვაკავშირებთ ატმოსფეროსთან და N4 უკუპიეზომეტრის სკალაზე ვიღებთ ანათვალს. შემდეგ ონკანის სახელურს 3 ვკეტავთ (სახელური 9 დაკეტილია), ვაღებთ ონკანის სახელურს 8 და ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცეში ვაკუუმის შესაქმნელად ონკანით 7 ვრთავთ

წყალჭავრულ ტუმბოს 6. N1 და N2 პიეზომეტრებისა და N4 უკუპიეზომეტრის სკალებზე შესაბამის ანათვლებს ვიღებთ. ონკანის 7 ჩაკეტვით გამოვრთავთ წყალჭავლურ ტუმბოს. ვაკუუმის მოსახსნელად ვაღებთ ონკანის სახელურს 3.

აღნიშნულ გაზომვებს ვასრულებთ სამჯერ.

დახშულ საჰაერო სივრცეში ვაკუუმის სიდიდის გამოსათვლელად ჯერ ვპოულობთ N1 და N2 პიეზომეტრების მარჯვენა და მარცხენა მუხლებში სითხის (წყლის და გლიცერინის) დონეთა სხვაობას, ხოლო შემდეგ ამ სხვაობას  $[(h_{3\text{აკ}})_{\text{წ}} \text{ ან } (h_{3\text{აკ}})_{\text{გ}}]$  ვამრავლებთ შესაბამის კუთრ წონაზე:

$$P_{3\text{აკ}} = \gamma_{\text{წ}} (h_{3\text{აკ}})_{\text{წ}} = \gamma_{\text{წ}} (h_{\text{წ. მარცხ}} - h_{\text{წ. მარჯვ}}), \quad (8)$$

$$P_{3\text{აკ}} = \gamma_{\text{გ}} (h_{3\text{აკ}})_{\text{გ}} = \gamma_{\text{გ}} (h_{\text{გ. მარცხ}} - h_{\text{გ. მარჯვ}}). \quad (9)$$

N4 უკუპიეზომეტრის საშუალებით ვაკუუმის მნიშვნელობის დასადგენად ვპოულობთ ატმოსფერული და მასზე ნაკლები წნევის შესაბამის სითხის (წყლის) დონეთა სხვაობას და მას ვამრავლებთ წყლის კუთრ წონაზე:

$$P'_{3\text{აკ}} = \gamma_{\text{წ}} (h_{3\text{აკ}})'_{\text{წ}}. \quad (10)$$

ერთმანეთს ვადარებთ N1, N2 და N4 პიეზომეტრების საშუალებით განსაზღვრულ ვაკუუმის მნიშვნელობას.

3. ძირითადი რეზერვუარის ქვედა წერტილში მოქმედი აბსოლუტური ჰიდროსტატიკური წნევის სიდიდის გამოსათვლელად ვსარგებლობთ (2) ფორმულით იმის გათვალისწინებით, რომ

$$P_0 = P_{\text{ჰარ}} + P_{\text{ატ}} \quad (11)$$

მაშასადამე,

$$P_{\text{სრ(აბს)}} = P_0 + \gamma_{\text{წ}} h = P_{\text{ჰარ}} + P_{\text{ატ}} + \gamma_{\text{წ}} h, \quad (12)$$

სადაც  $h$  არის N3 პიეზომეტრის ჩვენება; ძირითადი რეზერვუარის ნახევრად შევსებისას  $h = 9$  სმ-ს.

4. ძირითადი რეზერვუარის დახშულ საჰაერო სივრცეში აბსოლუტური წნევის ( $p_0$ ) სიდიდეს, როცა  $p_0 < p_{\text{ატ}}$ , გამოვთვლით (11) ფორმულით. ამ ფორმულაში შემავალი  $p_{\text{ჰარ}}$  წნევა განისაზღვრება (6) ან (7) დამოკიდებულებით. როცა  $p_0 < p_{\text{ატ}}$ , მაშინ  $p_0$  წნევის გამოსათვლელად ვსარგებლობთ (5<sup>1</sup>) ფორმულით, რომელსაც ასეთი სახით ვწერთ:

$$\begin{aligned} p_0 &= p_{\text{ატ}} - \gamma_{\text{ვ}}(h_{\text{ჰაკ}})_{\text{ვ}} \\ p_0 &= p_{\text{ატ}} - \gamma_{\text{გ}}(h_{\text{ჰაკ}})_{\text{გ}}. \end{aligned} \tag{13}$$

გაზომვებისა და გამოთვლების შედეგების ჩასაწერი ქურნალი

მოცემული სიდიდეები	
წყლის კუთრი წონა	$\gamma_{\text{ვ}} = 0,001 \frac{\text{კგ}^{\text{დ}}}{\text{სმ}^3}$
გლიცერინის კუთრი წონა	$\gamma_{\text{გ}} = 0,0013 \frac{\text{კგ}^{\text{დ}}}{\text{სმ}^3}$
ატმოსფერული წნევა	$p_{\text{ატ}} = 1 \frac{\text{კგ}^{\text{დ}}}{\text{სმ}^2}$

№	სიდიდეები	ცდის მონაცემები და გამოთვლის შედეგები			საზომი ერთეული
		1	2	3	
1	2	3	4	5	6
1	1) ჭარბი წნევის განსაზღვრა ძირითადი რეზერვუარის დახშულ საჰაერო სივრცეში N1 და N2 პიეზომეტრების მარცხენა და მარჯვენა მუხლებში წყლის და გლიცერინის დონეთა				

	შესაბამისი ჩვენებები				
--	----------------------	--	--	--	--

გაგრძელება

1	2	3	4	5	6
	$h_{\nu, \text{მარც}}$				სმ
	$h_{\nu, \text{მარჯ}}$				სმ
	$h_{\delta, \text{მარც}}$				სმ
	$h_{\delta, \text{მარჯ}}$				სმ
2	N1 პიეზომეტრის მარცხენა და მარჯვენა მუხლებში წყლის დონეთა შესაბამისი ჩვენებების სხვაობა $h_{\nu} = h_{\nu, \text{მარც}} - h_{\nu, \text{მარჯ}}$				სმ
3	N2 პიეზომეტრის მარცხენა და მარჯვენა მუხლებში გლიცერინის დონეთა შესაბამისი ჩვენებების სხვაობა $h_{\delta} = h_{\delta, \text{მარც}} - h_{\delta, \text{მარჯ}}$				სმ
4	ჭარბი წნევის სიდიდე (6) ფორმულით $P_{ჭარ}$				$\frac{\text{კგძ}}{\text{სმ}^3}$
5	იგივე (7) ფორმულით $P_{ჭარ}$				$\frac{\text{კგძ}}{\text{სმ}^3}$
6	N3 პიეზომეტრის ჩვენებები შესაბამისად ატმოსფერული და ფაქტიურად არსებული წნევისას ძირითადი რეზერვუარის საჭერო სივრცეში $h$ $h_{3,3}$				სმ სმ
7	სხვაობა $h_{\nu} = h_{3,3} - h$				სმ
8	ჭარბი წნევის სიდიდე (6) ფორმულით $P_{ჭარ}$				$\frac{\text{კგძ}}{\text{სმ}^3}$
9	2) ვაკუუმის სიდიდის განსაზღვრა ძირითადი რეზერ-				

	ვუარის საჰაერო სივრცეში.				
--	--------------------------	--	--	--	--

გაგრძელება

1	2	3	4	5	6
	<p>N1 და N2 პიეზომეტრების მარცხენა და მარჯვენა მუხლებში წყლის და გლიცერინის დონეთა შესაბამისი ჩვენებები</p> <p style="text-align: right;"><math>h_{\text{წ.მარც}}</math></p> <p style="text-align: right;"><math>h_{\text{წ.მარჯ}}</math></p> <p style="text-align: right;"><math>h_{\text{გ.მარც}}</math></p> <p style="text-align: right;"><math>h_{\text{გ.მარჯ}}</math></p>				<p>სმ</p> <p>სმ</p> <p>სმ</p> <p>სმ</p>
10	<p>სხვაობები:</p> <p><math>(h_{\text{ვაკ}})_{\text{წ}} = h_{\text{წ.მარჯ}} - h_{\text{წ.მარც}}</math></p> <p><math>(h_{\text{ვაკ}})_{\text{გ}} = h_{\text{გ.მარჯ}} - h_{\text{გ.მარც}}</math></p>				<p>სმ</p> <p>სმ</p>
11	<p>N4 უკუპიეზომეტრის ჩვენებები ძირითადი რეზერვუარის საჰაერო სივრცეში შესაბამისად ატმოსფერული და მასზე ნაკლები წნევისას</p> <p style="text-align: right;"><math>h'_{\text{უკ.}}</math></p> <p style="text-align: right;"><math>h''_{\text{უკ.}}</math></p>				<p>სმ</p> <p>სმ</p>
12	სხვაობა $(h_{\text{ვაკ}})'_{\text{წ}} = h'_{\text{უკ.}} - h''_{\text{უკ.}}$				სმ
13	ვაკუუმის სიდიდე (10) ფორმულით $p'_{\text{ვაკ}}$				სმ
14	N3 პიეზომეტრის ჩვენება $h$				სმ
15	სამიებელი წნევის სიდიდე (12) ფორმულით $P_{\text{სრ(აბს)}}$				$\frac{\text{კგძ}}{\text{სმ}^3}$
16	4) აბსოლუტური წნევის განსაზღვრა ძირითადი რეზერვუარის დახშულ საჰაერო სივრცეში სამიებელი წნევის				

	სიდიდე (როდესაც $p_0 > p_{აღ}$ )				
--	----------------------------------	--	--	--	--

გაგრძელება

1	2	3	4	5	6
	(11) ფორმულით $p_0$				$\frac{კვძ}{სმ^3}$
17	საძიებელი წნევის სიდიდე (როდესაც $p_0 < p_{აღ}$ ) (13) ფორმულით $p_0$				$\frac{კვძ}{სმ^3}$

სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_

ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_

თარიღი \_\_\_\_\_

## ლაბორატორიული სამუშაო 2

### სითხის თავისუფალი ზედაპირის ფორმის განსაზღვრა მლუნავ ცილინდრულ ჭურჭელში

#### 1. ზოგადი ცნობები

სითხის ნაწილობრივ შევსებული ღია ცილინდრული ჭურჭელი თავისი ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ თანაბარი, მუდმივი კუთხური სიჩქარით ბრუნვისას ხახუნის ძალების მოქმედებით დროის გარკვეული შუალედის შემდეგ მასში მოთავსებულ სითხეს აბრუნებდა იმავე კუთხური სიჩქარით. ასეთი მოძრაობისას სითხის ნაწილაკები არ განიცდის ურთიერთფარდობით გადაადგილებას, სითხე მბრუნავი ცილინდრის მიმართ იმყოფება ფარდობითი უძრაობის პირობებში. ამიტომ განსახილველი მაგალითისთვის შეიძლება ჰიდროსტატიკის ელემენტები გამოვიყენოთ, კერძოდ, თანაბარი წნევის ზედაპირის განტოლება

$$F_x dx + F_y dy + F_z dz = 0, \quad (1)$$

სადაც  $F_x, F_y, F_z$  მოცულობითი ძალების აჩქარების გეგმილება.

მოცემულ შემთხვევაში, მოცულობითი ძალებიდან სითხის ყოველ ნაწილაკზე სიმძიმის და ინერციის ცენტრიდანული ძალა მოქმედებს, რომელიც სითხის ჭურჭელთან ერთად ბრუნვითაა გამოწვეული და მიმართულია ბრუნვის ღერძის მართობულად.

სიმძიმის ძალის აჩქარებისთვის

$$F'_x = 0 \text{-ს, } F'_y = 0 \text{-ს } F'_z = 0 \text{-ს.}$$

ინერციის ცენტრიდანული ძალის აჩქარებისთვის

$$F''_x = \omega^2 x \text{-ს, } F''_y = \omega^2 y \text{-ს, } F''_z = 0$$



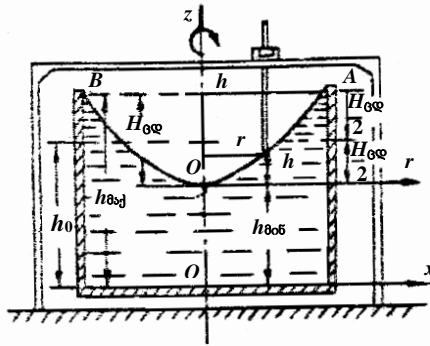
ამ მნიშვნელობების (1) განტოლებაში ჩასმით გვექნება

$$\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz = 0$$

საიდანაც ინტეგრებით მივიღებთ

$$\frac{\omega^2 r^2}{2g} = z + c . \quad (2)$$

როგორც განტოლებიდან ჩანს, განსახილველ მაგალითში თანაბარი წნევის ზედაპირი არის ბრუნვით პარაბოლოიდი ვერტიკალური ღერძით. პარაბოლოიდის გადაკვეთა დიამეტრალურ სიბრტყესთან იძლევა ე.წ. თავისუფალი ზედაპირის მრუდს, რომელიც არის  $AO'B$  პარაბოლას ვერტიკალური ღერძით (სურ. 2.1)



სურ. 2.1

თავისუფალი ზედაპირის განტოლებას ექნება სახე

$$h = \frac{\omega^2 r^2}{2g} , \quad (3)$$

სადაც  $h$  არის  $O'A$  პარაბოლური თავისუფალი ზედაპირის ორდინატი ამ ზედაპირის უკიდურეს ქვედა  $O'$  წერტილში გამავალი ჰორიზონტალური  $O'r$  სიბრტყის მიმართ; დაშორება თავისუფალი ზედაპირის განსახილველი წერტილიდან ბრუნვის ღერძამდე;

$g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება;

$\omega$  – ბრუნვის კუთხური სიჩქარე,  $\frac{რად}{წმ}$ ;

$$\omega = \frac{\pi n}{30}. \quad (4)$$

აქ  $n$  ცილინდრის ბრუნვის სიხშირეა (ბრუნთა რიცხვი წუთში).

ბრუნვითი პარაბოლოიდის სიმაღლე განისაზღვრება (3) ფორმულიდან, როცა  $r = R$ :

$$H_{\text{თეორ}} = \frac{\omega^2 R^2}{2g}. \quad (5)$$

სითხის მაქსიმალური და მინიმალური სიღრმეები ფარდობითი უძრაობის პირობებში შეიძლება გამოითვალოს შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$h_{\text{მაქს}} = h_0 + \frac{H_{\text{ცვ}}}{2}, \quad (6)$$

$$h_{\text{მინ}} = h_0 - \frac{H_{\text{ცვ}}}{2}, \quad (7)$$

სადაც  $h_0$  ჭურჭელში წყლის სასწყისი სიღრმეა (სიღრმე ბრუნვის დაწყებამდე);

$H_{\text{ცვ}}$  – ბრუნვითი პარაბოლოიდის ცდით დადგენილი სიმაღლე.

ბრუნვითი პარაბოლოიდის მოცულობა განისაზღვრება ფორმულით

$$W_{\text{პარ}} = \frac{\pi R^2 H_{\text{თეორ}}}{2}. \quad (8)$$

შემოწმების მიზნით პარაბოლოიდის მოცულობა შეიძლება გამოითვალოს აგრეთვე შემდეგი დამოკიდებულებიდან:

$$W_{\text{პარ}} = \pi R^2 h_{\text{მაქს}} - V,$$

სადაც  $V$  ჭურჭელში მოთავსებული სითხის მოცულობა

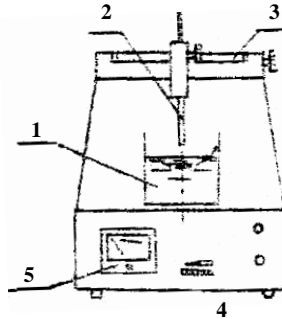
$$V = \pi R^2 h_0. \quad (9)$$

საბოლოოდ გვექნება

$$W_{\text{პარ}} = \pi R^2 h_{\text{მ.კ.ს}} - \pi R^2 h_0 = \pi R^2 (h_{\text{მ.კ.ს}} - h_0). \quad (10)$$

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

სამუშაოს შესასრულებლად ვსარგებლობთ დანადგარით ΓД-2, რომლის სქემაც მოცემულია 2.2 სურათზე.



სურ. 2.2

დანადგარი შედგება კორპუსის, ცილინდრული ჭურჭლის 1, მისი ბრუნვის სიხშირის მაჩვენებელი ისრიანი ინდიკატორისა 5 და სიხშირის რეგულატორისგან 4. სითხის თავისუფალი ზედაპირის ნიშნულების ასათვლელად გამოიყენება საზომი ნემსი 2, რომელსაც შეუძლია გადაადგილება დანაყოფიან ჰორიზონტალურ ლარტყზე 3 ცილინდრული ჭურჭლის დიამეტრულ სიბრტყეში.

## 3. სამუშაოს მიზანი

1. აიგოს ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ მუდმივი კუთხური სიჩქარით მბრუნავ ცილინდრულ ჭურჭელში მოთავსებული სითხის თავისუფალი ზედაპირის ექსპერიმენტული და თეორიული წირები. შედარების მიზნით ეს ორი წირი მოთავსდეს ერთ ნახაზზე.

2. განისაზღვროს განსხვავება პროცენტობით ბრუნვითი პარაბოლოიდის მოცულობის ექსპერიმენტულ და თეორიულ მნიშვნელობებს შორის.

#### 4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები

1 ცილინდრში ვასხამთ წყალს დაახლოებით მისი სიმაღლის ნახევარზე, ვზომავთ სიღრმეს  $h_0$  და (9) ფორმულით გამოვთვლით  $V$  მოცულობას. შემდეგ ვრთავთ ელექტროძრავას და ცილინდრი მოგვყავს მოძრაობაში; ისრიანი ინდიკატორის 5 საშუალებით ვზომავთ ცილინდრის ბრუნვათა რიცხვს ( $n$ ). (4) ფორმულიდან გამოვთვლით ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს ( $\omega$ ). მას შემდეგ, რაც ჭურჭელში სითხის ზედაპირი მიიღებს დამყარებულ ფორმას, ვიწყებთ შესაბამის გაზომვებს საზომი ნემსით; კერძოდ, ავითვლით ნიშნულებს და ვსაზღვრავთ  $O'A$  პარაბოლური თავისუფალი ზედაპირის ორდინატებს ( $h$ )  $O'r$  სიბრტყის მიმართ ჰორიზონტალური მიმართულებით ერთმანეთისგან 2 სმ-ით დაშორებულ ხუთ წერტილში ( $O'$  და  $A$  წერტილების ჩათვლით). შემდეგ იმავე ორდინატებს იმავე წერილებისთვის  $O'r$  სიბრტყის მიმართ გამოთვლით თეორიული დამოკიდებულებიდან (3), რისთვისაც ამ წერტილებს შორის იმავე დაშორებას ვღებულობთ.

ცდის მონაცემებისა და თეორიული გამოთვლების შედეგების მიხედვით ვაგებთ სითხის თავისუფალი ზედაპირის წირებს დიამეტრული კვეთისთვის.

(8) და (10) ფორმულებით გამოვთვლით ბრუნვითი პარაბოლოიდის მოცულობას და შევადარებთ მიღებულ შედეგებს:

$$\Delta W = \frac{W_{\text{პარ(თეორ)}} - W_{\text{პარ(ცდ)}}}{W_{\text{პარ(ცდ)}}} 100. \quad (11)$$

გაზომვებისა და გამოთვლების შედეგების ჩასაწერი ჟურნალი  
მოცემული სიდიდეები:

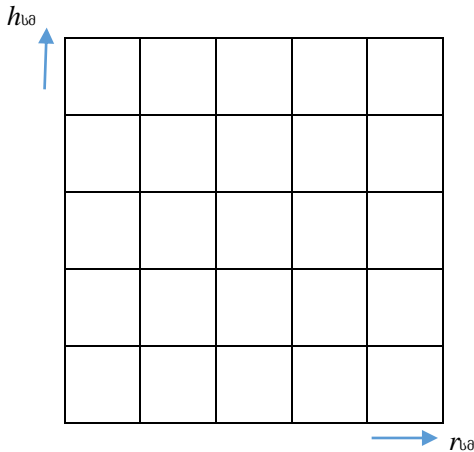
ცილინდრის რადიუსი  $R = \text{სმ}$

NN	სიდიდეები	ცდის მონა- ცემები და გამოთვლის შედეგები	საზომი ერთეული
1	მზრუნავი ცილინდრის ფსკერის ნიშნული $\nabla_1$		სმ
2	სითხის თავისუფალი ზედაპირის საწყისი ნიშნული ნიშნული $\nabla_2$		სმ
3	წყლის სიღრმე ცილინდრში ცდის დაწყებამდე $h = \nabla_1 - \nabla_2$		სმ
4	ცილინდრის ბრუნვის სიხშირე $n$		$\frac{\text{ბრ}}{\nabla\text{თ}}$
5	სითხის თავისუფალი ზედაპირის ნიშნულები კედელთან და ღერძზე $\nabla_3$ $\nabla_4$		სმ სმ
6	პარაბოლოიდის სიმაღლე $h_{\text{ცვ}} = \nabla_4 - \nabla_3$		სმ
7	სითხის მოცულობა ჭურჭელში (9) ფორმულით $V$		სმ <sup>3</sup>
8	კუთხური სიჩქარე (4) ფორმულით $\omega$		$\frac{1}{\nabla\text{მ}}$
9	პარაბოლოიდის სიმაღლე (5) ფორმულით $H_{\text{თეორ}}$		სმ
10	მაქსიმალური სიმაღლე (6) ფორმუ- ლით $h_{\text{მაქს}}$		სმ
11	მინიმალური სიმაღლე (7) ფორ- მულით $h_{\text{მინ}}$		სმ
12	ბრუნვითი პარაბოლოიდის მოცუ- ლობა (8) ფორმულით $W_{\text{პარ(თეორ)}}$		სმ <sup>3</sup>

13	ბრუნვითი პარაბოლოიდის მოცულობა (10) ფორმულით $W_{პარ(ცდ)}$		სმ <sup>3</sup>
14	განსხვავება პროცენტობით (11) ფორმულით $\Delta W$		%

წერტილის N	მანძილი წერტილიდან ბრუნვის ღერძამდე $r$ , სმ	თავისუფალი ზედაპირის ნიშნულები (ორდინატები) $O'r$ სიბრტყის მიმართ	
		ცდის მიხედვით $h$ , სმ	თეორიული დამოკიდებულებით $h$ , სმ
1	0		
2	2		
3	4		
4	6		
5	8		
6	10		

ბადე სითხის თავისუფალი ზედაპირის ექსპერიმენტული და თეორიული წირების ასაგებად



სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_  
 ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_  
 თარიღი \_\_\_\_\_

### ლაბორატორიული სამუშაო 3

#### ბერნულის განტოლების ილუსტრაცია

##### 1. ზოგადი ცნობები

ბერნულის განტოლებას ბლანტი სითხის დამყარებული (სტაციონარული) მდოვრედ ცვლადი ნაკადის ორი კვეთისთვის (სურ. 3.1) შემდეგი სახე აქვს:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_\omega. \quad (1)$$

ბერნულის განტოლების თითოეული წევრის გეომეტრიული არსი ასეთია:

$Z$  არის ნაკადის ცოცხალი კვეთის ნებისმიერი წერტილის მდებარეობის სიმაღლე (დაწნევას) საფარდი სიბრტყის მიმართ,  $[Z] = L$ ;

$\frac{P}{\gamma}$  – პიეზომეტრულ სიმაღლეს აღებულ წერტილში

$$\left[ \frac{P}{\gamma} \right] = \frac{\frac{F}{L^2}}{\frac{F}{L^3}} = L,$$

$Z + \frac{P}{\gamma}$  ე.წ. პიეზომეტრულ დაწნევას;

$\frac{\alpha v^2}{2g}$  – სიჩქარით სიმაღლეს (დაწნევა), სადაც  $\alpha$  ე.წ. კორიოლისის

(კინემატიკური ენერჯის) კოეფიციენტია, რომელიც ახასიათებს ნაკადის ცოცხალ კვეთში ადგილობრივი სიჩქარეების ( $U$ ) განაწილების უთანაბრობას. ექსპერიმენტის ჩატარებისას შეიძლება დავუშვათ  $\alpha \approx 1$ ;

$$\left[ \frac{\alpha v^2}{2g} \right] = \frac{\frac{L^2}{T^2}}{\frac{L}{T^2}} = L.$$

სიჩქართი დაწნევა არის იმ სიმაღლეს რომელზეც აიწევს  $\nu$  სიჩქარის მქონე ვერტიკალური მიმართულებით მოძრავი ნაწილაკი წინაღობის არსებობისას.

ენერგეტიკული თვალსაზრისით:

$Z$  არის ერთეული წონის მქონე სითხის მდებარეობის ენერგია რაიმე ჰორიზონტალური 0-0 საფარდი სიბრტყის მიმართ ანუ, სხვანაირად, მდებარეობის კუთრი პოტენციური ენერგია ამ სიბრტყის მიმართ;

$\frac{P}{\gamma}$  – წნევის კუთრი პოტენციური ენერგია;

$Z + \frac{P}{\gamma}$  – კუთრი პოტენციური ენერგია;

$\frac{\alpha v^2}{2g}$  – კუთრი კინეტიკური ენერგია;

$h_0$  – აღებულ კვეთებს შორის წინაღობათა გადალახვაზე კუთრი ენერგიის დანაკარგი.

მაშასადამე, ბერნულის განტოლების ენერგეტიკული არსი შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაცალიბოთ: სითხის მოძრაობის დროს სრული კუთრი მექანიკური ენერგია, რომელიც მდებარეობის კუთრი, წნევის კუთრი და კუთრი კინეტიკური ენერგიებისგან შედგება, მცირდება სითხის მიერ განვლილ მანძილზე კუთრი ენერგიის დანაკარგის სიდიდით.

ბერნულის განტოლება სითხის ნაკადში ენერგიის შენახვის კანონის გამოსახულებაა, რომლის თანახმადაც მოძრავი სითხის სრული კუთრი ენერგიის ნაწილი უკან დაუბრუნებლად გადადის სითბურ ენერგიაში.



კვეთიდან კვეთში გადასვლისას (მოდრაობის მიმართულე-ბით) ხარჯის მუდმივობის შემთხვევაში სრული კუთრი ენერგია და მისი შემდგენები იცვლება. სრული კუთრი ენერგია მცირდება ბლანტი სითხის მოძრაობისას ენერგიის კარგვის გამო, თუ ნაკადის ცოცხალი კვეთი მუდმივი რჩება, მაშინ კუთრი კინეტიკური ენერგია ასევე მუდმივი იქნება, ხოლო კუთრი პოტენციური ენერგია შემცირდება. ცოცხალი კვეთის ფართობის შემცირებისას იზრდება სიჩქარე და მცირდება ჰიდროდინამიკური წნევა. ამის გამო, იზრდება კუთრი კინეტიკური ენერგია და მცირდება წნევის კუთრი პოტენციური ენერგია.

თუ ნაკადის გასწვრივ რამდენიმე ღია პიეზომეტრს დავაყენებთ (სურ. 3.1), შეგვიძლია ყოველი კვეთისთვის პიეზომეტრული სიმაღლე ვიპოვოთ – მანძილი ნაკადის ცოცხალი კვეთის ცენტრიდან პიეზომეტრში სითხის დონემდე.

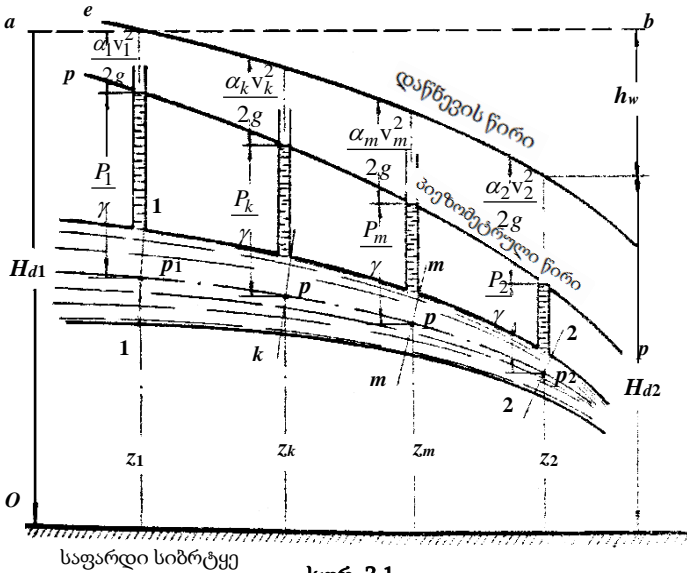
პიეზომეტრში სითხის დონეების შემაერთებელ წირს პიეზომეტრული წირი  $(P-P)$  ეწოდება. ის 0-0 საფარდი სიბრტყიდან დაშორებულია  $Z + \frac{P}{\gamma}$  მანძილით, სიჩქარითი დაწნევა ხაზოვანი სიდიდეა, ამიტომ შეიძლება იმავე მასშტაბში, რომლითაც საფარდი სიბრტყიდან  $Z$  და  $\frac{P}{\gamma}$  – სიდიდეები გადაიზომება, ნაკადის თითოეულ კვეთში პიეზომეტრული წირიდან გადავზომოთ მონაკვეთები, რომლებიც ცოცხალ კვეთში  $\frac{\alpha v^2}{2g}$  სიჩქარით დაწნევის ტოლი იქნება. ამ მონაკვეთების ბოლოების შემაერთებელ  $\ell - \ell$  წირს დაწნევის (ენერგიის) წირი ეწოდება.

მანძილს საფარდი სიბრტყიდან დაწნევის წირამდე ჰიდროდინამიკური დაწნევა ეწოდება და აღინიშნება  $H_d$  -თი, ე.ი.

$$H_d = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}. \quad (2)$$

თუ 1-1 ცოცხალი კვეთის დაწნევის წირიდან ჰორიზონტალურ  $a-b$  წირს გავატარებთ, მაშინ მანძილი ამ სწორიდან 2-2 კვეთის დაწნევის წირამდე განსაზღვრავს ენერგიის სიდიდეს, რომელიც იკარგება 1-1 და 2-2 კვეთებს შორის არსებულ ჰიდრავლიკურ წინაღობათა გადალახვაზე, ე.ი. ენერგიის დანაკარგი, რომელიც (1) დამოსახულებაში აღნიშნულია  $h_w$ -თი, ტოლია

$$h_w = H_{d1} - H_{d2}. \quad (3)$$



სურ. 3.1

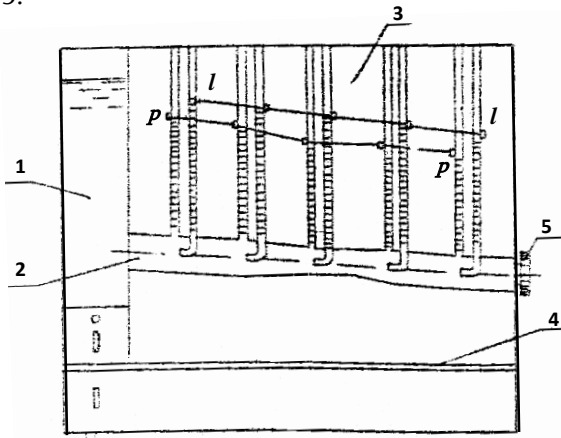
არაბლანტი სითხისთვის (ჰიდრავლიკური წინაღობების უგულვებელყოფის შემთხვევაში) ენერგიის დანაკარგი ნულის ტოლია.

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

ბერნულის განტოლების საილუსტრაციოდ ვსარგებლობთ დანადგარით ГД-3, რომლის სქემაც გამოსახულია 3.2 სურათზე. დანადგარი შედგება ავზის 6 (რომელიც იმავდროულად დანადგარის სადგარი არის), სადაწნეო რეზერვუარის 1, პიეზომეტრული მილაკების პანელის 3, ცენტრიდანული ტუმბოსა და ცვლადი კვეთის ღარისგან 2 (ზომებით: 10×30 მმ -1, 2, 4 და 5 კვეთებში; 10×10 მმ - 3 კვეთში), საფარდ სიბრტყედ მიიღება შენადული ავზის სახურავი 4.

ღარის ხუთ დამახასიათებელ კვეთში მოთავსებულია ორ-ორი მილაკი. მარცხენა მილაკი არის სტატიკური დაწნევის (პიეზომეტრული), ხოლო მარჯვენა – სრული დაწნევის (პიტოს) მილაკს. დაწნევათა სიდიდის ათვლა ხდება მილაკების პანელზე მოთავსებული დანაყოფებიანი სკალის საშუალებით. სრული დაწნევისა (სრული კუთრი ენერგიის) და პიეზომეტრული წირების მდებარეობა ფიქსირდება მილაკში წყლის დონეების შემაერთებელი ზონარების საშუალებით.

ღარში 2 სტაციონარული მოძრაობის დასამყარებლად შენარჩუნებულია მუდმივი დაწნევა. სადაწნეო ავზში 1 უქმი წყალსაგდების საშუალებით ხარჯის რეგულირება ხდება ონკანით 5.



## სურ. 3.2

### 3. სამუშაოს მიზანი

1. განისაზღვროს სრული კუთრი ენერგიის  $E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}$  მნიშვნელობები პიეზომეტრების მიერთების კვეთებში (ცდის ჩატარებისას მივიღოთ, რომ  $\alpha = 1$ );
2. განისაზღვროს კუთრი ენერგიის დანაკარგი პირველი კვეთიდან მეორემდე, მეორედან მესამემდე და ა.შ., ხოლო შემდეგ გამოითვალოს კუთრი ენერგიის ჯამური დანაკარგი პირველიდან ბოლო კვეთამდე;
3. ცდის მონაცემების მიხედვით აიგოს პიეზომეტრული წირი ( $P - P$ ) და სრული დაწნევის წირი  $l - l$ .

### 4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები

ვრთავთ ცილინდრულ ტუმბოს და სადაწნეო ავზში წყლის დონის სტაბილურობის შემდეგ ვაღებთ ღარის 2 ბოლოში მოთავსებულ ონკანს 5. სრული დაწნევის წირის მდებარეობას ვაფიქსირებთ პიტოს მილაკების, ხოლო პიეზომეტრული წირის მდებარეობას – პიეზომეტრული მილაკების ჩვენებათა მიხედვით, ავთვლით მათ რიცხვით მნიშვნელობებს და შევიტანთ ცხრილში.

უნდა გვახსოვდეს, რომ პიტოს მილაკით იზომება სითხის ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარე წერტილში, ე.წ. ადგილობრივი სიჩქარე – დანადგარზე პიტოს მილაკით იზომება ადგილობრივი სიჩქარე ცვლადი კვეთის ღარის ღერძზე, სადაც ის მაქსიმალური ( $U_{\max}$ ) ტურბულენტური რეჟიმისას კვეთში საშუალო სიჩქარე  $v = 0,8U_{\max}$ , მაშასადამე, კუთრი კინეტიკური ენერგიის გამოსათვლელად გვექნება

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(0,8U_{\max})^2}{2g} = 0,64 \frac{U_{\max}^2}{2g}.$$

გამოვთვლით კუთრი ენერგიის დანაკარგებს კვეთებს შორის:

$$\Delta E_1 = E_1 - E_2,$$

$$\Delta E_2 = E_2 - E_3$$

და ა.შ.

ჯამი  $\sum \Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_3 + \Delta E_4$  გვაძლევს პირველი კვეთიდან ბოლო კვეთამდე სრული კუთრი ენერგიის დანაკარგის მნიშვნელობას.  $Z + \frac{P}{\gamma}$  სიდიდის მიღებულ მნიშვნელობათა მიხედვით მილიმეტრებიან ქალაღზე ვაგებთ პიეზომეტრულ წირს, ხოლო  $Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}$  მნიშვნელობათა მიხედვით – სრული ენერგიის წირს. აგებული წირები თვალსაჩინო წარმოდგენას იძლევა ბერნულის განტოლების თანახმად ნაკადის გასწვრივ ცოცხალი კვეთის ცვლილებების შესაბამისად კუთრი ენერგიის გადანაწილებაზე.

შედეგებისა და გამოთვლების ჩასაწერი ჟურნალი

№№ კვების	1	2	3	4	5
კვებებს შორის მანძილი, $l$ , სმ					
მდებარეობის კუთრი პოტენციური ენერგია, $Z$ , სმ					
წნევის კუთრი პოტენციური ენერგია $\frac{p}{\gamma}$ , სმ					
კუთრი პოტენციური ენერგია $Z + \frac{p}{\gamma}$ , სმ					
სტატიკური და დინამიკური ჩვენებათა სხვაობა $\frac{U_{\max}^2}{2g}$ , სმ					
კუთრი კინეტიკური ენერგია $\frac{v^2}{2g} = 0,64 \frac{U_{\max}^2}{2g}$ , სმ					
სრული კუთრი ენერგია $E = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}$ , სმ					
კვებებს შორის კუთრი ენერგიის დანაკარგი, $\Delta E$ , სმ					
კუთრი ენერგიის ჯამური დანაკარგი $\sum \Delta E$ სმ					

სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_

ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_

თარიღი \_\_\_\_\_

## ლაბორატორიული სამუშაო 4

### რეინოლდსის რიცხვის განსაზღვრა

#### 1. ზოგადი ცნობები

მიღებსა და არხებში სითხის მოძრაობისას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მოძრაობის ორ სხვადასხვა რეჟიმს – ლამინარულსა და ტურბულენტურს.

სითხის ლამინარული რეჟიმის დროს ნაკადის ყველა ნაწილაკი მოძრაობს მისი ღერძის პარალელურად ან, სხვანაირად, დენის წირები მილის ან არხის ღერძის პარალელურია. ამგვარად, მოძრაობის ლამინარული რეჟიმის დროს მთელი სითხე მოძრაობს ცალკეულ შრეებად.

სითხის მოძრაობისას, რომლის დროსაც არა აქვს ადგილი სითხის ნაწილაკების შერევის გამომწვევი სიჩქარის პულსაციას, **ლამინარული რეჟიმი** ეწოდება. ტურბულენტური რეჟიმი ხასიათება ნაწილაკების უწესრიგო მოძრაობითა და ნაკადის ყოველ წერტილში სიჩქარის მნიშვნელოვანი პულსაციით<sup>1</sup>, რომელიც იწვევს ნაკადის ნაწილაკების შერევას, ასეთ მოძრაობას ტურბულენტური ეწოდება.

მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ ცვლილებები სითხის მოძრაობის რეჟიმში უშუალო გავლენას ახდენს ჰიდრავლიკურ

---

<sup>1</sup> სიჩქარის პულსაცია ეწოდება ნაწილაკის სიჩქარის ვექტორის ცვლილებას დროის მიხედვით.

წინაღობათა კანონებზე. მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტი გვიჩვენებს საშუალო სიჩქარის სხვადასხვა გავლენას ენერგიის დანაკარგების სხვადასხვა სიდიდეზე მოძრაობის განსხვავებული რეჟიმის დროს.

მოძრაობის ლამინარული რეჟიმიდან ტურბულენტურზე გადასვლა დაკავშირებულია განსაზღვრული მნიშვნელობის მქონე უგანზომილებო რიცხვთან, რომელსაც რეინოლდსის რიცხვი ეწოდება:

$$R_e = \frac{v\ell}{\frac{\mu}{\rho}} = \frac{v\ell}{\nu}, \quad (1)$$

სადაც  $\nu$  არის ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე;

$\ell$  – კლაპოტის რომელიმე დამახასიათებელი გეომეტრიული ზომა;

$\mu$  – სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი;

$\rho$  – სითხის სიმკვრივე;

$\nu$  – სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი.

მრგვალი კვეთის მილებში სითხის დაწნევითი მოძრაობის დროს, ჩვეულებრივ, დამახასიათებელ გეომეტრიულ ზომად მიიღება მილის შიგა  $d$  დიამეტრი, ხოლო სხვა შემთხვევაში –  $R$  ჰიდრავლიკური რადიუსი ან ნაკადის  $H$  სიღრმე.

ამის შესაბამისად, რეინოლდსის რიცხვი (1) მრგვალი კვეთის სადაწნევო მილებისთვის შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ:

$$R_{\ell d} = R_\ell = \frac{vd}{\nu}, \quad (2)$$

ხოლო სხვა შემთხვევაში –

$$R_{\ell R} = \frac{vd}{\nu} \text{ ან } R_\ell = \frac{vd}{\nu}. \quad (3)$$

რეინოლდსის რიცხვის იმ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც იცვლება სითხის მოძრაობის რეჟიმი, რეინოლდსის რიცხვის



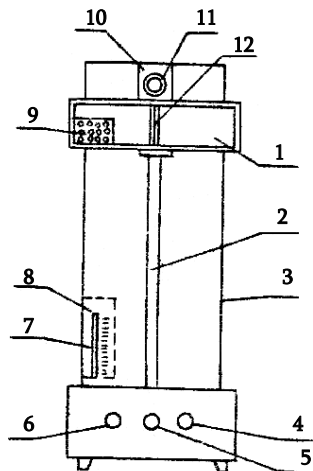
კრიტიკული მნიშვნელობა ეწოდება. იგი მრგვალი მილებისთვის  $R_{\ell_{d(კრ)}} = R_{\ell_{კრ}} = 2320$ -ის, ხოლო ღია კალაპოტებისთვის –  $R_{\ell_{R(კრ)}} = 580$  -ის ტოლია.

ნაკადის ლამინარული რეჟიმი მდგრადია, როცა  $R_{\ell_d} < 2320$  (მრგვალი კვეთის მილებისთვის) და  $R_{\ell_R} < 580$  (ღია ნაკადებისთვის). როცა  $R_{\ell_d} > 2320$  და  $R_{\ell_R} > 580$ , მოძრაობის რეჟიმი ტურბულენტური იქნება, თუმცა, თუ ნაკადის შემფოთების გამომწვევ მიზეზებს თავიდან ავიცილებთ (უზრუნველყოფს ნაკადის მდოვრედ მისვლად მილთან, რომელშიც ხდება რეჟიმის გამოკვლევა, მდოვრედ გავაღებთ ონკანს და სხვა),  $R_{\ell_d} > 2320$  რეჟიმი შეიძლება ლამინარული დარჩეს, მაგრამ ამ დროს მოძრაობის რეჟიმი არამდგრადი იქნება, რადგან საკმარისია ნაკადის მცირედი შემფოთებაც კი, რომ მოძრაობის რეჟიმი ლამინარულიდან ტურბულენტურში გადავიდეს, ამიტომ გაანგარიშებებში ვისარგებლებთ რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობების ზემოთ მოყვანილი სიდიდეებით.

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

სითხის მოძრაობის რეჟიმების შესასწავლად გამოიყენება ექსპერიმენტული დანადგარი ГД-4, რომლის სქემა გამოსახულია 4.1 სურათზე.

დანადგარი შედგება სადაწნეო ავზის 1, მინის მილის 2, გარსაცმის 3, საზომი ავზის 8, წყალგამანაწილებელი კოლექტორისა და მართვის



ნახ. 4.1

ორგანოებისგან 4, 5, 6 სადაწნეო ავზი 1 არის შეკრულ მოცულობას, რომელიც ნაწილობრივ შევსებულია წყლით. წყალსადენის სისტემიდან სადაწნეო მილსადენით წყალი დამაწყნარებლის 9 გავლით გადადის ავზში და იკავებს თავისუფალ მოცულობას. სადაწნეო ავზში უქმი წყალსაგდების საშუალებით შენარჩუნებულია მუდმივი დაწნევა, ონკანის 11 გაღებით მცირე ზომის ავზიდან 10 შეღებილი სითხე მინის მილაკით 12 მიეწოდება მინის მილს 2, რომელიც განკუთვნილია მასში მოძრავი მუშა სითხის (წყლის) რეჟიმების ცვლილების ვიზუალურად დაკვირვებისთვის. ავზში წყლის ტემპერატურის გასაზომად ლაბორატორიული თერმომეტრი გამოიყენება.

გარსაცმის შიგნით მოთავსებულია საზომი ავზი და წყალგამანაწილებები კოლექტორები, ხოლო წინა კედელზე დონის მაჩვენებელი 7, რომლის სკალაზეც აითვლება საზომ ავზში წყლის აწევის დონე.

დანადგარის მართვის ორგანოები (შესაბამისი ონკანების სახელურები) 4, 5, 6 წინა პანელზეა განლაგებული.

### **3. სამუშაოს მიზანი**

ექსპერიმენტულად დადგინდეს სითხის მოძრაობის ორი შესაძლებელი რეჟიმის არსებობა და განისაზღვროს რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობები ორივე რეჟიმისთვის.

### **4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები**

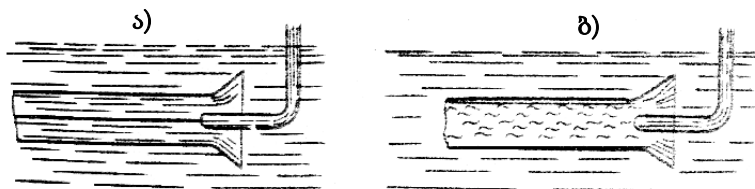
ექსპერიმენტის დაწყებამდე სახელურის 6 მობრუნებით საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ ვალებთ ონკანს და სადაწნეო ავზს 1 წყალსადენის ქსელიდან წყლით ვავსებთ, უქმი

წყალსაგდების მიერთების დონემდე. შემდეგ ოდნავ ვაღებთ ონკანს 5 და სითხე სადაწნეო ავზიდან მინის მილის 2 გავლით საზომ ავზში ჩაედინება, რომლის ონკანი 4 წინასწარ გაღებულია. მინის მილში მყარდება ხარჯისა ( $Q$ ) და მილის ცოცხალი კვეთის ფართობის  $\left( \omega = \frac{\pi d^2}{4} \right)$  შესაბამისი საშუალო

სიჩქარე:

$$v = \frac{Q}{\omega}. \quad (4)$$

შემდეგ ვაღებთ ავზის 10 ონკანს 11, საიდანაც მინის მილაკის 12 გავლით შეღებილი სითხე შედის მინის მილში 2. ონკანის 5 მცირე გაღებისას, ე.ი. მილში 2 წყლის მცირე სიჩქარით მოძრაობისას შეღებილი სითხე ნაკადს არ შეერევა (სურ. 4.2, ა) რაც მილსადენში ლამინარული რეჟიმის არსებობაზე მიუთითებს.



სურ. 4.2

მინის მილში 2 ხარჯის ( $Q$ ) მოცულობითი წესით გამოსათვლელად კვეტავთ ონკანს 4 და წყლის დონეს საზომ ავზში 8, რომლის ფსკერის ფართობია  $F$ , ვწევთ რაიმე  $h$  სიმაღლეზე. წყლის აწევის დონეს ვაფიქსირებთ დონის მაჩვენებლის სკალის 7 საშუალებით; ვსაზღვრავთ საზომ ავზში ჩადინებული წყლის მოცულობას

$$W = F \cdot h \quad (5)$$

და გამოვთვლით ხარჯს

$$Q = \frac{W}{T}, \quad (6)$$

ხოლო შემდეგ (4) ფორმულით – მინის მილში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარეს.

სიბლანტის კინემატიკურ კოეფიციენტს, რომელიც სითხის ტემპერატურის ( $t^{\circ}C$ ) ფუნქციაა, გამოვთვლით ჰუაზეილის ფორმულით

$$v = \frac{0.0178}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \frac{\text{სმ}^2}{\text{წმ}}. \quad (7)$$

განგარიშების ჩატარების გამარტივების მიზნით ცხრილში მოცემულია (7) ფორმულით გამოთვლილი  $v$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

$t^{\circ}C$	$v, \frac{\text{სმ}^2}{\text{წმ}}$	$t^{\circ}C$	$v, \frac{\text{სმ}^2}{\text{წმ}}$
10	0.013101	20	0.010105
12	0.012396	22	0.009892
14	0.011756	24	0.009186
16	0.011177	26	0.008774
18	0.010617	28	0.008394

ვიციტ რა  $v$ ,  $d$  და  $\nu$  შეიძლება (2) ფორმულით გამოვთვალოთ მოძრაობის ლამინარული რეჟიმის შესაბამისი რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობა.

შემდეგ, თუ ონკანს 5 თანდათანობით გავაღებთ და დავაკვირდებით საღებავის ჭავლს, შეიძლება შევნიშნოთ ნაკადის ლამინარული რეჟიმიდან ტურბულენტურში გადასვლის მომენტი. ონკანის შემდგომი გაღებისას შეიმჩნევა მდგრადი ტურბულენტური რეჟიმი შეღებილი ჭავლის ნაკადის მთელ მასასთან ინტენსიური შერევით (სურ. 4.2 ბ).

ასეთ შემთხვევაში საჭიროა ყველა ის გაზომვა და გამოთვლა გავიმეოროთ, რაც ლამინარული რეჟიმის დროს შევასრულეთ.

გაზომვებისა და გამოთვლების შედეგების ჩასაწერი ჟურნალი

მოცემულის სიდიდეები:

მინის მილის დიამეტრი –  $d =$     სმ

საზომი ავზის ფსკერის ფართობი –  $F =$     სმ<sup>2</sup>

№	სიდიდეები	მომზადების რეჟიმი		საზომი ერთეული
		ლამინარული	ტურბულენტური	
1	საზომ ავზში წყლის აწევის სიმაღლე, $h$			სმ
2	გამოდინებული წყლის მოცულობა, $W$			სმ <sup>3</sup>
3	საზომი ავზის ავსების დრო $T$			წმ
4	მილის განივკვეთის ფართობი $a$			სმ <sup>2</sup>
5	ხარჯი, $Q$			სმ <sup>3</sup> /წმ
6	საშუალო სიჩქარე, $v$			სმ/წმ
7	წყლის ტემპერატურა, $t^{\circ}$			
8	კოეფიციენტი			სმ <sup>3</sup> /წმ
9	რეინოლდსის რიცხვი, $Re$			

სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_

ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_

თარიღი \_\_\_\_\_

**ლაბორატორიული სამუშაო 5**  
**სიგრძეზე წინაღობის კოეფიციენტის განსაზღვრა**  
**სადაწნეო მილსადენისთვის**

**1. ზოგადი ცნობები**

სადაწნეო მილსადენში სითხის მოძრაობისას სიგრძეზე დაწნევის დანაკარგის  $h_\ell$  სიდიდე გამოითვლება დარსი-ვეისბახის ფორმულით

$$h_\ell = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

სადაც  $\lambda$  არის სიგრძეზე წინაღობის კოეფიციენტი ან, სხვანაირად, დარსის კოეფიციენტი;

$\ell$  და  $d$  – სადაწნეო მილსადენის სიგრძე და დიამეტრი;

$v$  – სითხის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე.

დარსის კოეფიციენტი  $\lambda$  უგანზომილებო სიდიდეა; იგი სითხის მოძრაობის რეჟიმზეა, მილსადენის კედლების ხორკლიანობის ხარისხზე, სითხის მოძრაობის სიჩქარესა და სხვა ფაქტორებზეა დამოკიდებული, რომლებიც გავლენას ახდენს ჰიდრავლიკურ წინაღობაზე. ზოგად შემთხვევაში

$$\lambda = f \left( R_e, \frac{r}{\Delta} \right), \quad (2)$$

სადაც  $r$  არის მილსადენის რადიუსი;

$\Delta$  – ხორკლების შვერილის საშუალო სიმაღლე;

$\frac{r}{\Delta}$  – ფარდობას, ფარდობითი სიგლუვე ეწოდება.

მოდრაობის ლამინარული რეჟიმის დროს ( $R_e < 2320$ )  $\lambda$  კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით

$$\lambda = \frac{64}{R_e}. \quad (3)$$

ამრიგად,  $\lambda$  კოეფიციენტი მრგვალი კვეთის მილსადენებისთვის მოძრაობის ლამინარული რეჟიმის დროს არ არის დამოკიდებული კედლის ზედაპირის ხასიათზე და დაკავშირებულია მხოლოდ რეინოლდსის რიცხვთან. გარდა ამისა, (2) (იხ. სამუშაო 4) და (3) ფორმულების მიხედვით.

$$\lambda = \frac{64v}{vd}. \quad (4)$$

ამ გამოსახულების მიხედვით, ლამინარული რეჟიმის დროს ენერგიის სიჩქარეზე დანაკარგი სიჩქარის პირველი ხარისხის პროპორციულია და წინააღობა წრფივი კანონით იცვლება.

მართლაც, (1) ფორმულიდან (3) და (4) გამოსახულებათა გათვალისწინებით გვექნება:

$$h_\ell = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{64}{R_e} \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{64v}{vd} \cdot \frac{\ell v^2}{2g} = h_1 v.$$

ტურბულენტური რეჟიმის შემთხვევაში  $\lambda$  კოეფიციენტი გამოითვლება სხვადასხვა ფორმულით. ეს აიხსნება წინააღობის სხვადასხვა ზონის არსებობით, რომლებიც ხასიათდება ტურბულენტობის სხვადასხვა ხარისხით.

1. ჰიდრავლიკურად გლუვი კედლების ზომა; ხასიათდება პირობით

$$2320 \leq R_e \leq 46 \frac{r}{\Delta}. \quad (5)$$

ამ ზონისთვის  $\lambda$  კოეფიციენტი განისაზღვრება ბლაზიუსის ფორმულით

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}}, \quad (6)^2$$

ან კონაკოვის ფორმულით

$$\lambda = \frac{1}{(1,8lgR_e - 1,52)^2}. \quad (7)$$

გამონაგარიშებათა გამარტივების მიზნით კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდეები გლუვი მილებისა და რეინოლდსის რიცხვის სხვადასხვა მნიშვნელობისთვის მოცემულია ცხრილში.

$R_e$	$\lambda$	$R_e$	$\lambda$	$R_e$	$\lambda$
4000	0,0403	30000	0,0233	150000	0,0164
5000	0,0376	35000	0,0224	200000	0,0164
6000	0,0356	40000	0,0217	250000	0,0148
7000	0,0340	45000	0,0212	300000	0,0143
8000	0,0328	50000	0,0207	350000	0,0141
10000	0,0308	60000	0,0198	400000	0,0136
15000	0,0276	10000	0,0192	450000	0,0133
20000	0,0257	80000	0,0180	500000	0,0130
25000	0,0243	10000	0,0178	600000	0,0126

თუ (6) გამოსახულებით ვისარგებლებთ, მაშინ (1) ფორმულიდან შეიძლება მივიღოთ:

$$h_\ell = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{0,3164\ell}{R_e^{0,25}d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{0,3164\ell v^{0,25}}{v^{0,25}d^{1,25}} \cdot \frac{v^2}{2g} = b_2 v^{1,75},$$

ე.ი. ჰიდრავლიკურად გლუვი მილების ზონაში დაწნევის სიგრძეზე დანაკარგი საშუალო სიჩქარის 1,75 ხარისხის პროპორციულია;

2. წინაღობის გარდამავალი ზონა ხასიათდება პირობით

<sup>2</sup> (6) ფორმულა გამოიყენება  $R_e < 100000$  შემთხვევაში.



$$46 \frac{r}{\Delta} < R_e \leq 1120 \frac{r}{\Delta}. \quad (8)$$

ამ ზონისთვის  $\lambda$  კოეფიციენტი განისაზღვრება ფრენკელის ფორმულით:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -21g \left[ 0,14 \left( \frac{r}{\Delta} \right)^{-1} + \left( \frac{6,81}{R_e} \right)^{0,9} \right]. \quad (9)$$

დაწნევის დანაკარგები წინაღობის გარდამავალ ზონაში საშუალო სიჩქარის 1,75-დან 2-მდე ხარისხის პროპორციულია;

3. ჰიდრაულიკურად ხორკლიანი კედლების ანუ კვადრატული წინაღობის ზონა; ხასიათდება პირობით

$$R_e > 1120 \frac{r}{\Delta}. \quad (10)$$

ამ ზონაში  $\lambda$  კოეფიციენტის სიდიდეზე გადამწყვეტ გავლენას ახდენს გეომეტრიული მახასიათებლები – ფარდობითი სიგლუვე, ე.ი.

$$\lambda = f \left( \frac{r}{\Delta} \right).$$

წინაღობის კვადრატულ ზონაში  $\lambda$  კოეფიციენტი განისაზღვრება ი. ნიკურამის ფორმულით

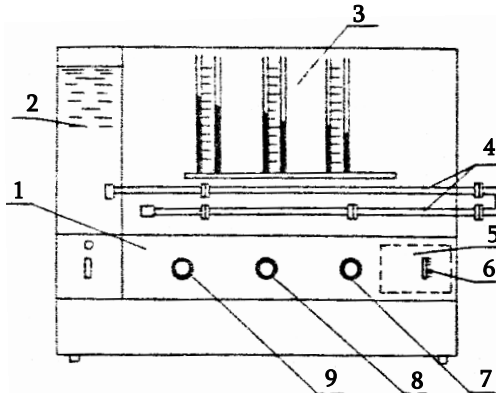
$$\lambda = \frac{1}{\left( 21g \frac{r}{\Delta} + 1,74 \right)^2} \quad (11)$$

ამ ზონაში  $\lambda$  არ არის დამოკიდებული რეინოლდსის რიცხვზე (და მამასადამე, სიჩქარეზე), ამიტომ დაწნევის დანაკარგი სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია. სწორედ ამის გამო ეწოდება ამ ზონას კვადრატული.

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

მილსადენების ჰიდრავლიკის სქემების შესასწავლად გამოიყენება დანადგარი ГД-5, რომლის სქემა გამოსახულია 5.1 სურათზე.

დანადგარი იძლევა საშუალებას გამოვთვალოთ დაწნევის დანაკარგის მნიშვნელობა მილსადენის სიგრძეზე, ნაკადის უეცარი გაფართოებისა და შევიწროებისას, აგრეთვე ორმაგი მუხლის არსებობისას.



სურ. 5.1

დანადგარი შედგება სადაწნეო რეზერვუარის 2, გამოსაკვლევ მილების სისტემის 4, საზომი ავზის 5, პიეზომეტრული მილაკების პანელის 3, ცენტრიდანული ტუმბოსა და ავზისგან 1, რომელიც ერთდროულად დანადგარის სადგამი არის. დანადგარის წინა პანელზე მოთავსებულია ონკანების სახელურები 7, 8, 9, რომელთა საშუალებითაც ხდება წყლის მიწოდება სადაწნეო რეზერვუარში (9) და წყლის გადაგდება გამოსაკვლევ მილსადენიდან (8) და საზომი ავზიდან (7).

დანადგარის ძირითადი ელემენტია მილი კვეთებით გამიჯნული უბნებით, რომელთა თავსა და ბოლოში მიერთებულია პიეზომეტრები. გადამუშავებული წყალი მილიდან

გადადის საზომ ავზში, რომელიც აღჭურვილია დონის მაკორექტირებელი პიეზომეტრით 6.

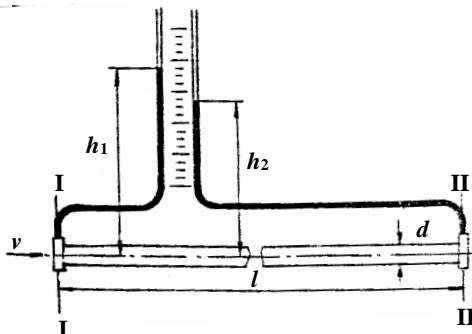
მილსადენში სტაციონარული მოძრაობის დასამყარებლად სადაწნეო რეზერვუარში 2 შენარჩუნებულია მუდმივი დონე უქმი წყალსაგდების საშუალებით.

### 3. სამუშაოს მიზანი

ექსპერიმენტულად განისაზღვროს  $\lambda$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა მილსადენში წყლის მოძრაობის სხვადასხვა სიჩქარის დროს და შედარდეს იგი შესაბამისი საანგარიშო ფორმულით მიღებულ მნიშვნელობას.

### 4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები

ვრთავთ ცენტრიდანულ ტუმბოს და გარკვეული დროის შემდეგ, როგორც კი სითხის მოძრაობა მილსადენში დამყარებულ ხასიათს მიიღებს, ვიღებთ № 1 და № 2 პიეზომეტრების ჩვენებებს (სურ. 5.2). მოცულობითი წესით განვსაზღვრავთ სითხის ხარჯს, ხოლო შემდეგ – მოძრაობის საშუალო სიჩქარეს (იხ. ლაბორატორიული სამუშაო 4, 4). მილსადენში გამავალი წყლის ტემპერატურას ვზომავთ თერმომეტრით. (7) ფორმულით (იხ. ლაბორატორიული სამუშაო 4) – რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობას.



## სურ. 5.2

რეინოლდსის რიცხვისა და  $\frac{r}{\Delta}$  ფარდობითი სიდიდის მიხედვით (5), (8), და (10) დამოკიდებულებების საშუალებით ვადგენთ წინაღობის ზონას და გამოვითვლით  $\lambda$  კოეფიციენტის მნიშვნელობას შესაბამისი (3), (6), (7), (9) და (11) საანგარიშო ფორმულებით.

ბერნულის განტოლების თანახმად, დაწნევის სიგრძეზე დანაკარგი

$$h_\ell = \left( Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left( Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right).$$

მილსადენის განსახილველი ჰორიზონტული უბნებისთვის (სურ. 5.2)  $Z_1 = Z_2$ ,  $v_1 = v_2$ ;  $\alpha_1 = \alpha_2$ .

მაშასადამე

$$h_\ell = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}, \quad (12)$$

სადაც  $\frac{P_1 - P_2}{\gamma}$  არის № 1 და № 2 პიეზომეტრებში სითხის

დონეთა სხვაობა.

ვიცით რა ექსპერიმენტული გზით განსაზღვრული დაწნევის დანაკარგის სიდიდე  $h_\ell$ , მილსადენის უბნის სიგრძე ( $\ell$ ), დიამეტრი ( $d$ ) და წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე ( $v$ ), (1) ფორმულიდან გამოვითვლით წინაღობის კოეფიციენტს:

$$\lambda_{\text{ვგ}} = \frac{h_\ell d}{\ell} \cdot \frac{2g}{v^2}. \quad (13)$$

სიგრძეზე წინაღობის ცდით მიღებული კოეფიციენტის ( $\lambda_{\text{ცდ}}$ ) მნიშვნელობას ვადარებთ თეორიული ფორმულით გამოთვლილ მნიშვნელობას. განსხვავება მათ შორის განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda - \lambda_{\text{ცდ}}}{\lambda_{\text{ცდ}}} \cdot 100. \quad (14)$$

ცდა უნდა გავიმეოროთ რემდენჯერმე სხვადასხვა ხარჯის-თვის.

გაზომვებისა და გამოთვლების ჩასაწერი ჟურნალი მოცემული სიდიდეები:

მილსადენის დიამეტრი  $d =$  სმ

მილსადენის უბნის სიგრძე  $\ell =$  სმ

ხორკლიანობის შვერილების სიმაღლე  $\Delta =$  სმ

საზომი ავზის ფსკერის ფართობი  $F =$  სმ<sup>2</sup>.

№	სიდიდეები	ცდის №			საზომი ერთეული
		1	2	3	
1	2	3	4	5	6
1	წყლის ტემპერატურა $t^\circ$				°C
2	№1 და №2 პიეზომეტრის ჩვენება $h_1$ $h_2$				სმ სმ
3	საზომ ავზში წყლის დონის აწევის სიმაღლე $h$				სმ
4	საზომი ავზის ავსების დრო $T$				წმ
5	გამოდინებული წყლის მოცულობა $W$				სმ <sup>3</sup>
6	ხარჯი $Q$				სმ <sup>3</sup> /წმ
7	მილის განივკვეთის ფართობი $\omega$				სმ <sup>2</sup>
8	საშუალო სიჩქარე $v$				სმ/წმ
9	სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი $\nu ?$				სმ <sup>3</sup> /წმ
10	რეინოლდსის რიცხვი $Re$				

11	მოძრაობის რეჟიმი და წინაღობის ზონა				
12	წინაღობის კოეფიციენტი: ა) საანგარიშო ფორმულით $\lambda$ ბ) ცდით $\lambda_{ცდ}$				
13	განსხვავება (14) ფორმულით $\Delta\lambda$				%

სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_  
 ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_  
 თარიღი \_\_\_\_\_

**ლაბორატორიული სამუშაო 6**  
**წინაღობის კოეფიციენტის განსაზღვრა**  
**ორმაგი მუხლისთვის**  
**1 ზოგადი ცნობები**

დაწნევა ადგილობრივ წინაღობაზე იკარგება მოკლე უბნებზე, იგი გამოწვეულია მილსადენის განივი კვეთის ან ფორმის, ან სითხის მოძრაობის მიმართულების ცვლილებით. მოძრაობის პირობების ასეთი ცვლილების გამო მოკლე უბნებზე გრიგალი წარმოიქმნება; მისი გავრცელება ნაკადში იწვევს სიბლანტის ძალების დამატებით მუშაობას და, მაშასადამე, დაწნევის კარგვასაც. ადგილობრივ წინაღობებს მიეკუთვნება წყალსადენის არმატურა (ურდული, სარქველი, ვენტილი და ა.შ.), ფასონური ნაწილები (მუხლი, ორმაგი მუხლი, სამკაპა, მარყუჟი და ა.შ.).

დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი გამოისახება სიჩქარით და წნევით და გამოითვლება ვეისბახის ფორმულით

$$\Delta h = \xi \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

სადაც  $\xi$  არის ადგილობრივი წინაღობის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მოცე-

მული ადგილობრივი წინაღობის ტიპსა და სითხის მოძრაობის რეჟიმზე;

v – საშუალო სიჩქარე წინაღობის შემდეგ<sup>3</sup>.

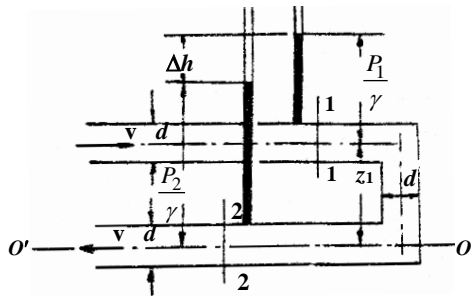
ორმაგი მუხლისთვის დაწნევის დანაკარგის გამოსათვლელად შევადგინოთ ბერნულის განტოლება 1-1 და 2-2 კვეთებისთვის  $0' - 0'$  ღერძზე გამავალი საფარდი სიბრტყის მიმართ (სურ. 6.1):

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 0 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} \Delta h.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ განსხვავებულ შემთხვევაში  $v_1 = v_2$  გვექნება

$$\Delta h = \left( Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \frac{P_2}{\gamma}. \quad (2)$$

მაშასადამე, დაწნევის დანაკარგი ორმაგი მუხლისთვის განისაზღვრება №2 და №3 პიეზომეტრების ჩვენებათა სხვაობით, როდესაც პიეზომეტრების სკალის ნულოვანი დანაყოფი შეთავსებულია  $0' - 0'$  ღერძთან (სურ. 6.1)



სურ. 6.1

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

<sup>3</sup> დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი შეიძლება გამოითვალოს წინაღობამდე სიჩქარის შესაბამისი სიჩქარითი დაწნევითაც.

იხ. ექსპერიმენტული დანადგარის ΓД-5 აღწერა (ლაბორატორიული სამუშაო 5, სურ. 5.1).

### 3. სამუშაოს მიზანი

ცდის საშუალებით განისაზღვროს სადაწნეო მილსადენში ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტის სიდიდე ორმაგი მუხლისთვის და მიღებული შედეგი შეუდარდეს ცნობარებში მოცემულ სიდიდეს.

### 4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები

ვრთავთ ცენტრიდანულ ტუმბოს და მილსადენში, რომელზეც მოთავსებულია ადგილობრივი წინაღობა ორმაგი მუხლის სახით, ვუშვებთ მუდმივ  $Q$  ხარჯს. ხარჯი მოცულობითი წესით იზომება (იხ. ლაბორატორიული სამუშაო 4, 4). მილსადენის მოცემული  $d$  დიამეტრისა და  $Q$  ხარჯის მიხედვით (4) დამოკიდებულებიდან (იქვე) გამოითვლით  $v$  საშუალო სიჩქარეს. №2 და №3 პიეზომეტრების ჩვენებათა სხვაობით განისაზღვრება დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგი ორმაგი მუხლისთვის ( $\Delta h$ ); თუ მის მნიშვნელობას ჩავსვავთ (1) გამოსახულებაში, შევძლებთ გამოვთვალოთ ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტის შესაბამისი ცდისეული მნიშვნელობა:

$$\xi = \frac{\Delta h}{\frac{v^2}{2g}}. \quad (3)$$

მიღებული კოეფიციენტის ( $\xi_{\text{ცდ}}$ ) სიდიდეს ვადარებთ ცნობარებში მოცემულ სიდიდეს. განსხვავება მათ შორის გამოითვლება ფორმულით



$$\Delta \xi = \frac{\xi - \xi_{\text{ცვლ}}}{\xi_{\text{ცვლ}}} \cdot 100. \quad (4)$$

სამუშაო სრულდება სამი სხვადასხვა ხარჯისთვის.

გაზომვებისა და გამოთვლების ჩასაწერი ჟურნალი მოცემული სიდიდეები:

მილსადენის დიამეტრი  $d =$  სმ

საზომი ავზის ფსკერის ფართობი  $F =$  სმ<sup>2</sup>

№	სიდიდეები	ცდის №			საზომი ერთეული
		1	2	3	
1	2	3	4	5	6
1	საზომ ავზში წყლის დონის აწევის სიმაღლე $h$				სმ
2	საზომი ავზის ავსების დრო $T$				წმ
3	გამოდინებული წყლის მოცულობა $W$				სმ <sup>3</sup>
4	ხარჯი $Q$				სმ <sup>3</sup> /წმ
5	მილის განივკვეთის ფართობი $\omega$				სმ <sup>2</sup>
6	საშუალო სიჩქარე $v$				სმ/წმ
7	სიჩქარით დაწნევა $\frac{v^2}{2g}$				სმ
8	№1 და №2 პიეზომეტრის ჩვენება $Z_1 + \frac{P_1}{\gamma}$ $\frac{P_2}{\gamma}$				სმ
9	დაწნევის დანაკარგი (2) ფორმულით $\Delta h$				სმ
10	ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტი ორმაგი მუხლისთვის: ა) ცდით $\xi_{\text{ცვლ}}$				

	ბ) ცნობარით $\xi$				
11	განსხვავება (4) ფორმულით $\Delta\xi$				%

სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_  
 ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_  
 თარიღი \_\_\_\_\_

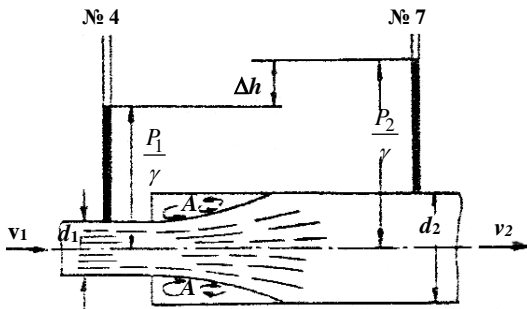
### ლაბორატორიული სამუშაო 7

#### ბორდას თეორემის ექსპერიმენტული შემოწმება

##### 1. ზოგადი ცნობები

მოცემული სამუშაოს ამოცანაა სადაწნეო მილსადენის უეცარი გაფართოების დროს დაწნევის ადგილობრივი დანაკარგების განსაზღვრა.

განვიხილოთ სითხის დამყარებული ისეთი მილის ჰორიზონტალურ უბანზე, რომლის განივი კვეთიც უეცრად იზრდება (სურ. 7.1)



სურ. 7.1

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ტრანზიტული ჭავლი მცირე დიამეტრიანი მილიდან გამოსვლისას სწრაფად ფართოვდება

და პიეზომეტრის 2 მიერთების კვეთში ავსებს მთელ მილს. ძირითად ნაკადსა და მილის კედლებს შორის წარმოიქმნება სითხით შევსებული AA რგოლური ზონა, რომელიც საერთო გადატანით მოძრაობაში არ მონაწილეობს. ამის გამო, AA ზონას ხშირად „მკვდარ ზონას“ უწოდებენ. სითხის მოცულობის დეფორმაციის შედეგად იკარგება დაწნევის ნაწილი, რომლებიც ბორდას თეორიული ფორმულით შეიძლება გამოითვალოს.

$$h_{\text{პ.ბ.}(თეორ)} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}, \quad (1)$$

სადაც  $v_1$  და  $v_2$  მოძრაობის საშუალო სიჩქარეებია, შესაბამისად, წინაღობის წინ და შემდეგ. (სურ. 7.1)  $(v_1 - v_2)$  სხვაობა დაკარგული სიჩქარეა, ამიტომ (1) დამოკიდებულება შეიძლება ასე ჩამოვყალიბოთ: დაწნევის დანაკარგი უეცარი გაფართოებისას დაკარგული სიჩქარის შესაბამისი სიჩქარით დაწნევის ტოლია.

№4 და №7 პიეზომეტრების (სურ. 7.1) მიერთების კვეთებისთვის ბერნული განტოლების უშუალო გამოყენება გვამღევს:

$$h_{\text{პ.ბ.}} = \left( Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left( Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right).$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ განსახილველ შემთხვევაში მილი ჰორიზონტალურია ( $Z_1 = Z_2$ ) და  $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 1$ , მივიღებთ

$$\begin{aligned} h_{\text{პ.ბ.}(გვ)} &= \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \right) = \left( \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) + \left( \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} \right) = \\ &= \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \Delta h. \end{aligned}$$

საბოლოოდ მივიღებთ

$$h_{\text{პ.ბ.}(გვ)} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \Delta h, \quad (2)$$

სადაც  $\Delta h = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$  პიეზომეტრების ჩვენებათა სხვაობაა.

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

იხ. ექსპერიმენტული დანადგარის ΓД-5 აღწერა (ლაბორატორიული სამუშაო 5, სურ. 5.1)

## 3. სამუშაოს მიზანი

ექსპერიმენტულად (ბერნულის განტოლების გამოყენებით) განისაზღვროს დაწნევის დანაკარგი მილის უეცარი გაფართოებისას და მიღებული შედეგი შეუდარდეს ბორდას თეორიული დამოკიდებულებით გამოთვლილ დაწნევის დანაკარგის სიდიდეს.

## 4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები

ერთავთ ცენტრიდანულ ტუმბოს და მილსადენში, რომელზეც მოთავსებულია ადგილობრივი წინაღობა უეცარი გაფართოების სახით, ვუშვებთ  $Q$  ხარჯს. ხარჯი მოცულობითი წესით იზომება. (იხ. ლაბორატორიული სამუშაო 5, 4). მილსადენის  $d_1$  და  $d_2$  დიამეტრებისა და  $Q$  ხარჯის მიხედვით გამოვითვლით საშუალო სიჩქარეებს:

$$v_1 = \frac{Q}{\omega_1} \quad \text{და} \quad v_2 = \frac{Q}{\omega_2}.$$

ბორდას თეორიული ფორმულით (1) ვსაზღვრავთ დაწნევის დანაკარგს მილსადენის უეცარი გაფართოებისას ( $h_{\text{უ.გ.}(თეორ.)}$ ).

შემდეგ №4 და №7 პიეზომეტრების საშუალებით ვიღებთ  $\frac{P_1}{\gamma}$  და

$\frac{P_2}{\gamma}$  ჩვენებებს და გამოვითვლით მათ სხვაობას

$$\Delta h = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}.$$

დაწნევის დანაკარგს უეცარი გაფართოებისას ცდის მონაცემების საფუძველზე ( $h_{უ.გ.(ცდ)}$ ) ვსაზღვრავთ (2) ფორმულით.

შემდეგ გამოვითვლით პროცენტულ განსხვავებას დაწნევის დანაკარგის თეორიულ და ექსპერიმენტულ მნიშვნელობებს შორის:

$$h_{უ.გ.(თეორ.)} = \frac{h_{უ.გ.(თეორ.)} - h_{უ.გ.(ცდ)}}{h_{უ.გ.(ცდ)}}. \quad (3)$$

სამუშაო სრულდება ხარჯის სამი სხვადასხვა მნიშვნელობისთვის.

გაზომვებისა და გამოთვლების ჩასაწერი ჟურნალი

№	სიდიდეები	ცდის №			საზომი ერთეული
		1	2	3	
1	2	3	4	5	6
1	№4 და №7 პიეზომეტრების ჩვენებები				სმ
	$\frac{P_1}{\gamma}$				სმ
	$\frac{P_2}{\gamma}$				
2	საზომ ავზში წყლის დონის აწევის სიმაღლე $h$				სმ
3	საზომი ავზის ავსების დრო $T$				წმ
4	გამოდინებული წყლის მოცულობა $W$				სმ <sup>3</sup>
5	ხარჯი $Q$				მმ <sup>3</sup> /წმ
6	მილის ცოცხალი კვეთის ფართობი $\omega_1$				სმ <sup>2</sup>
	$\omega_2$				სმ <sup>2</sup>
7	საშუალო სიჩქარე $v_1$				სმ/წმ
	$v_2$				სმ/წმ
8	პიეზომეტრების ჩვენებებათა				სმ

	სხვაობა $\Delta h$				
9	დაწნევის დანაკარგი: ა) ბორდას თეორემით $h_{უგ(თეორ)}$ ბ) ცდით $h_{უგ(ცდ)}$				სმ სმ
10	განსხვავება (3) ფორმულით $\Delta h_{უგ}$				%

სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_  
 ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_  
 თარიღი \_\_\_\_\_

**ლაბორატორიული სამუშაო 8**

**დიაფრაგმის ხარჯის კოეფიციენტის  
განსაზღვრა**

**1. ზოგადი ცნობები**

სადაწნეო მილსადენში სითხის ხარჯის გასაზომად გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის ხარჯზომი, რომელთა შორის უმარტივესია დიაფრაგმა.

დიაფრაგმა დიდ ჰიდრავლიკურ წინაღობას ქმნის და დაწნევის მნიშვნელოვან კარგვას იწვევს. დიაფრაგმის საშუალებით ხარჯის განსაზღვრავად აუცილებელია გაიზომოს მის წინ და შემდეგ მოთავსებული №4 და №5 პიეზომეტრების ჩვენებათა სხვაობა ( $\Delta h$ ).  $Q$  ხარჯსა და  $\Delta h$  სიდიდეს შორის შემდეგი თანაფარდობა არსებობს:

$$Q = \mu \sqrt{\Delta h}, \tag{1}$$

სადაც  $\mu$  მოცემული დიაფრაგმის ხარჯის კოეფიციენტია.

ხარჯმზომისთვის  $\mu$  კოეფიციენტის თეორიულად გამოთვლა გართულებულია, რის გამოც მას, ჩვეულებრივ ექსპერიმენტულად საზღვრავენ.

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

იხ. ექსპერიმენტული დანადგარის ГД-5 აღწერა (ლაბორატორიული სამუშაო 5, სურ. 5.1).

## 3. სამუშაოს მიზანი

ცდების მონაცემების საფუძველზე განისაზღვროს დიაფრაგმის ხარჯის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა.

## 4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები

ვრთავთ ცილინდრულ ტუმბოს და მილსადენში, რომელზეც დიაფრაგმაა მოთავსებული, ვუშვებთ მუდმივ  $Q$  ხარჯს. ხარჯი მოცულობითი წესით იზომება (იხ. ლაბორატორიული სამუშაო 4, 4). შემდეგ №4 და №5 პიეზომეტრების საშუალებით ვსაზღვრავთ მათ ჩვენებათა სხვაობას

$$\Delta h = \frac{P_1 - P_2}{\gamma},$$

(1) ფორმულიდან ვპოულობთ დიაფრაგმის ხარჯის კოეფიციენტს.

$$\mu = \frac{Q}{\sqrt{\Delta h}} \quad (2)$$

სამუშაოს ვასრულებთ ხარჯის სამი სხვადასხვა მნიშვნელობისთვის და გამოვითვლით ხარჯის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობას.

გაზომვებისა და გამოთვლების ჩასაწერი ჟურნალი

მოცემული სიდიდეები:

საზომი ავზის ფსკერის ფართობი  $F =$     სმ<sup>2</sup>

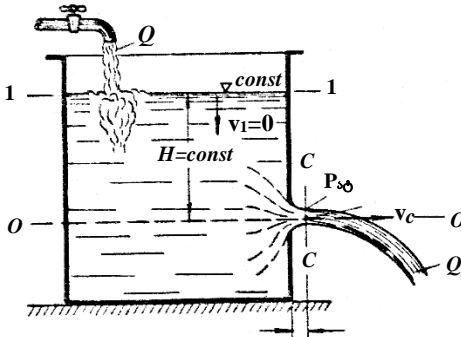
№	სიდიდეები	ცდის №			საზომი ერთეული
		1	2	3	
1	2	3	4	5	6
1	№4 და №5 პიეზომეტრების ჩვენებები $\frac{P_1}{\gamma}$				სმ
	$\frac{P_2}{\gamma}$				სმ
2	საზომ ავზში წყლის დონის აწევის სიმაღლე $h$				სმ
3	საზომი ავზის ავსების დრო $T$				წმ
4	გამოდინებული წყლის მოცულობა $W$				სმ <sup>3</sup>
5	ხარჯი $Q$				სმ <sup>3</sup> /წმ
6	პიეზომეტრების ჩვენებებათა სხვაობა $\Delta h$				სმ
7	დიაფრაგმის ხარჯის კოეფიციენტი (2) ფორმულით $\mu$				სმ <sup>2.5</sup> /წმ
8	ხარჯის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა $\mu_{საშ}$				სმ <sup>2.5</sup> /წმ



სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_  
 ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_  
 თარიღი \_\_\_\_\_

**ლაბორატორიული სამუშაო 9**  
**სითხის გამოდინება ხვრეტიდან და ნაცმებიდან**  
**მუდმივი დაწნევისას**  
**1. ზოგადი ცნობები**

განვიხილოთ სითხის გამოდინება ატმოსფეროში თხელკედლიანი მცირე მრგვალი ხვრეტიდან მუდმივი დაწნევისას. ხვრეთი ითვლება მცირედ, თუ მისი დიამეტრი  $0,1H$ -ზე ნაკლებია, სადაც  $H$  ხვრეტის ცენტრის ჩაძირვის სიღრმეა სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან (სურ. 9.1).



### სურ. 9.1

ცდა გვიჩვენებს, რომ სითხის ჭავლი გვერდით კედელში გაკეთებული ფართობის მქონე ხვრეტიდან გამოდინებისას თანდათან იკუმშება და ჭურჭლის კედლის შიგა წახნაგიდან  $l_0 \approx 0,5d$  მანძილით დაცილებულ C-C კვეთში აქვს მინიმალური ცოცხალი კვეთი  $\omega_c$  (სურ. 9.1).

C-C კვეთს, რომელშიც მოძრაობა განიხილება როგორც მდობრედ ცვლადი, შეკუმშული კვეთი ეწოდება. კუმშვის ხარისხი ხასიათდება კუმშვის კოეფიციენტით

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega}. \quad (1)$$

თუ I-I და C-C კვეთებისთვის გამოიყენება ბერნულის განტოლება ხვრეტის ცენტრზე გამავალი 0-0 საფარდი სიბრტყის მიმართ, მივიღებთ

$$v_c = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (2)$$

სადაც  $v_c$  არის საშუალო სიჩქარე შეკუმშულ C-C კვეთში;

$\varphi$  – სიჩქარის კოეფიციენტი ხვრეტისთვის

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_{\text{თხ.კ.}}}}. \quad (3)$$

აქ  $\xi_{\text{თხ.კ.}}$  არის დანაკარგის კოეფიციენტი თხელკედლიანი ხვრეტიდან გამოდინებისთვის;

$\alpha$  – კორიოლისის კოეფიციენტი. შეიძლება დავუშვათ, რომ  $\alpha$  პრაქტიკულად ერთის ტოლია.

ხვრეტიდან გამოდინებული სითხის ხარჯი

$$Q = \omega_c v_c.$$

თუ ამ გამოსახულებაში ჩავსვავთ  $\omega_c$  და  $v_c$ -ს მნიშვნელობებს (1) და (2) ფორმულიდან, მივიღებთ

$$Q = \omega \varepsilon \rho \sqrt{2gH} \quad (4)$$

ან

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} .$$

(4) გამოსახულებაში სიჩქარის ( $\varphi$ ) და კუმშვის კოეფიციენტების ნამრავლი გაერთიანებულია ერთ კოეფიციენტში, რომელსაც ხარჯის კოეფიციენტი ( $\mu$ ) ეწოდება და

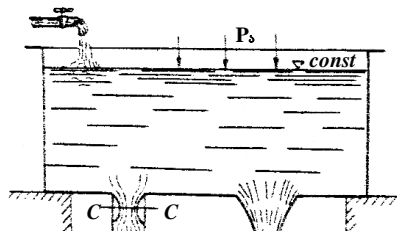
$$\mu = \varepsilon \varphi . \quad (5)$$

$\mu$  კოეფიციენტი ძირითადად დამოკიდებულია ჭავლის კუმშვის ხარისხზე, რაც თავის მხრივ, დამოკიდებულია ხვრეტის მდებარეობაზე გვერდითი კედლისა და ჭურჭლის ფსკერის მიმართ. გვერდითი კედლიდან და ჭურჭლის ფსკერიდან ხვრეტის დაშორების მიხედვით ჭავლის კუმშვა შეიძლება იყოს სრულყოფილი, არასრულყოფილი და არასრული. ამ სამუშაოში განვიხილავთ სრულყოფილ კუმშვას, ე.ი. ისეთ შემთხვევას, როდესაც მანძილი ხვრეტის კონტურის ნებისმიერი გვერდიდან ჭურჭლის მიმმართველ კედლებამდე ხვრეტის სამმაგ განივ ზომაზე ნაკლები არ არის.

ხვრეტიდან სითხის გამოდინებისას ჭავლის ტრაექტორიას პარაბოლის მოხაზულობა აქვს, მისი განტოლება ასე გამოისახება:

$$y = \frac{gx^2}{2v^2} , \quad (6)$$

სადაც  $x$  და  $y$  ჭავლის ტრაექტორიის წერტილთა კოორდინატებია. 9.3 სურათზე მოცემული საკოორდინატო მოწყობილობის 5 მეშვეობით C-C შეკუმშული კვეთიდან ჭავლის ნებისმიერი b-b კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე მოცემული  $x$  მანძილისთვის შეიძლება გაიზომოს ამ კვეთის სიმძიმის ცენტრების მდებარეობის სიმაღლეთა შორის სხვაობა ( $y$ ).



სურ. 9.2

(2) და (6) განტოლებების ერთობლივი ამოხსნით ვპოულობთ, რომ

$$\varphi = \frac{x}{2\sqrt{Hy}}. \quad (7)$$

ნაცმიდან<sup>4</sup> სითხის გამოდინებისას ჭავლის შეკუმშვის გამო შესასვლელ უბანზე წარმოიქმნება ვაკუუმი, რომლის სიდიდე ცილინდრული ნაცმისთვის ტოლია

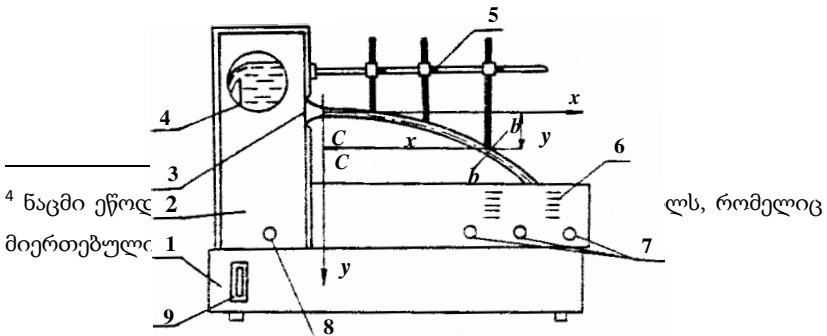
$$h_{\text{ვაკ}} \approx 0,74H. \quad (8)$$

ვინაიდან ვაკუუმის ზღვრული მნიშვნელობა შეადგენს  $h_{\text{ვაკ}} = 10$  მ. წყლ.სვ, ამიტომ დაწნევის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$H = \frac{h_{\text{ვაკ}}}{0,74} = 13,5 \text{ მ.}$$

პრაქტიკულად, ნაცმის საიმედო მუშაობის უზრუნველსაყოფად დაწნევის მაქსიმალური მნიშვნელობა  $H_{\text{მაქს}}$  ნაკლები უნდა იყოს 13 მ-ზე, როცა  $H > 13$  მ-ზე, ჭავლი წყდება კედლებიდან და ნაცმი იმუშავებს როგორც ხვრეტი.

სამუშაოში განიხილება გარე ცილინდრული (სურ. 9.2, ა) ნაცმი და ნაცმი მომრგვალებული შესასვლელი წიბოთი (სურ. 9.2, ბ).



### სურ. 9.3

ძირითად საანგარიშო დამოკიდებულებებს ნაცმებისთვის ისეთივე სახე აქვს, როგორც ხვრეტიდან სითხის გამოდინებისას.

საშუალო სიჩქარე ნაცმის გამოსასვლელ კვეთში განისაზღვრება ფორმულით

$$v = \varphi_6 \sqrt{2gH} , \quad (9)$$

სადაც  $\varphi_6$  არის სიჩქარის კოეფიციენტი ნაცმისთვის,

$$\varphi_6 = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{შეს} + \xi_{შ-გ} + \xi_{სიგ}}} . \quad (10)$$

აქ  $\xi_{შეს}$ ,  $\xi_{შ-გ}$  და  $\xi_{სიგ}$  დანაკარგის კოეფიციენტებია ნაცმში შესვლაზე უეცარი გაფართოებისას და ნაცმის  $\ell_6$  სიგრძეზე ხარჯი განისაზღვრება ფორმულით

$$Q = \mu_6 \omega \sqrt{2gH} , \quad (11)$$

სადაც  $\omega$  არის გამოსასვლელი კვეთის ფართობი;

$\mu_6$  – ნაცმის ხარჯის კოეფიციენტი, რომელიც  $\varphi_6$  -ის ტოლია, რადგანაც ნაცმისთვის კუმშვის კოეფიციენტი  $\varepsilon_6 = 1$ -ს.

## 2. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

ხვრეტიდან და ნაცმიდან სითხის გამოდინების შესასწავლი დანადგარი ΓД-7 დანადგარის სქემა გამოსახულია 9.3 სურათზე.

დანადგარი შედგება ავზისგან 1, რომელიც ერთდროულად სადგამის მოვალეობასაც ასრულებს, დასაწნეო რეზერვუარის-

გან 2 კედელში ჩასახრახნი ნახვრეტით 3 საცვლელი ნაცმების-თვის და გამოდინებული ჭავლის წერტილების კოორდინატთა გასაზომი საკოორდინატო მოწყობილობისგან 5.

ავზის სახურავზე დამონტაჟებულია ელექტროტუმბო, ონკანის 8 გალებით იგი წყალს აწვდის სადაწნეო რეზერვუარს. სადაწნეო რეზერვუარს აქვს წყალსაშვი 4 და გამჭვირვალე კედელი სამი დანაყოფით. წყალსაშვი უზრუნველყოფს მაქსიმალურ დაწნევას (400 მმ) ხვრეტის ცენტრზე, ხოლო დანაყოფი გათვალისწინებულია ცდის ჩასატარებლად სამ სხვადასხვა დაწნევაზე (ამ დანაყოფის შესაბამისი დონეებია 250, 300 და 400 მმ).

ხარჯი განისაზღვრება მოცულობითი წესით საზომი ავზის მეშვეობით, რომელიც თავის მხრივ აღჭურვილია საკონტროლო სკალით 6: საზომი ავზი იცვლება ონკანების სახელურების გალებით. ავზში 1 წყლის დონის კონტროლი ხდება საჭვრეტიდან 9.

### **3. სამუშაოს მიზანი**

განისაზღვროს ხარჯის, სიჩქარისა და კუმშვის კოეფიციენტების მნიშვნელობები თხელკედლიანი წრიული ხვრეტისთვის, გარეგანი ცილინდრული ნაცმისთვის და ნაცმისთვის მომრგვალებული შესასვლელი წიბოთი. მიღებული მნიშვნელობები შეუდარდეს საცნობარო მონაცემებს.

### **4. სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა და გამოსაანგარიშებელი ფორმულები**

რეზერვუარის 2 ნახვრეტში 3 იხრახნება თხელკედლიანი წრიული ხვრეტის მქონე მოწყობილობა. ვრთავთ ელექტროტუმბოს და ონკანის 8 გალებით ავზიდან 1 ვაწვდით წყალს სადაწნეო რეზერვუარს 2; როგორც კი წყლის დონე ასცილდება ხვრეტის ქვედა წიბოს, დაიწყება გამოდინება. სადაწნეო

რეზერვუარში მუდმივი  $H$  დაწნევის დამყარების შემდეგ მოცულობითი წესით ვზომავთ ხვრეტიდან გამოდინებული სითხის  $Q$  ხარჯს. (იხ. სამუშაო 3, 4). საკოორდინატო მოწყობილობების საშუალებით ვზომავთ ჭავლის ტრაექტორიის წერტილთა  $x$  და  $y$  კოორდინატებს; ხვრეტის ფართობი  $\omega$  ცნობილი სიდიდეა, ამიტომ (4) ფორმულიდან შეიძლება განვსაზღვროთ ხარჯის კოეფიციენტი მრგვალი ხვრეტისთვის

$$\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gH}}. \quad (12)$$

(7) ფორმულით გამოვითვლით სიჩქარის კოეფიციენტს ( $\varphi$ ), ხოლო  $\mu$  და  $\varphi$ -ის მიღებული მნიშვნელობების მიხედვით კუმშვის კოეფიციენტს

$$\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}. \quad (13)$$

მრავალრიცხოვანი გამოკვლევით თხელკედლიანი მცირე ხვრეტისთვის სრული სრულყოფილი კუმშვის შემთხვევაში საშუალოდ ( $\mu_{\varphi}$ ). იგი განისაზღვრება (11) ფორმულიდან:

$$\mu_{\varphi} = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gH}}. \quad (12^1)$$

იმის გამო, რომ ნაცმის გამოსასვლელ კვეთში ჭავლი კუმშვას არ განიცდის ე.ი.  $\varepsilon = 1$ , (5) ფორმულიდან

$$\mu_{\varphi} = \varphi. \quad (14)$$

საცნობარო მონაცემებით, ხარჯისა და სიჩქარის კოეფიციენტების მნიშვნელობები გამოსასვლელი კვეთისთვის საშუალოდ ტოლია

$$\mu_{\text{ც.წ}} = \varphi_{\text{ც.წ}} = 0,82.$$

ნაცმის მომრგვალებული შესასვლელი წიბოთი

$$\mu_{\text{წ.ა.წ}} = \varphi_{\text{წ.ა.წ}} = 0,98.$$

განსხვავება ხარჯის კოეფიციენტის ცდით მიღებულ და საცნობარო მნიშვნელობებს შორის გამოითვლება დამოკიდებულებით:

$$\Delta\mu = \frac{\mu_{ც.წ} - \mu_{ც.გ}}{\mu_{ც.გ}} 100 . \quad (15)$$

გაზომვებისა და გამოთვლების ჩასაწერი ჟურნალი მოცემული სიდიდეები:

მრგვალი ხვრეტის ფართობი  $\omega =$  სმ<sup>2</sup>

ნაცმის გამოსასვლელი კვეთის ფართობი:

1. გარე ცილინდრულის  $\omega_{ც} =$  სმ<sup>2</sup>

2. მომრგვალებული წიბოებით  $\omega_{ჩ.წ} =$  სმ<sup>2</sup>

საზომი ავზის ფსკერის ფართობი  $F =$  სმ<sup>2</sup>

№	სიდიდეები	მრგვალი ხვრეტი	ნაცმი		საზომი ერთეული
			გარე ცილინდრული	მომრგვალებული წიბოთი	
1	დაწნევა ხვრეტის ცენტრზე $H$				სმ
2	საზომ ავზში წყლის დონის აწევის სიმაღლე $h$				სმ
3	გამოდინებული წყლის მოცულობა $W$				სმ <sup>3</sup>
4	საზომი ავზის ავსების დრო $T$				წმ
5	ხარჯი $Q$				სმ <sup>3</sup> /წმ
6	ჭავლის ტრაექტორიის წერტილთა კოორდინატები $x$ $y$				სმ სმ
7	ხარჯის კოეფიციენტი ა) ცდით $\mu$ ბ) ცნობარით $\mu$				



8	სიჩქარის კოეფიციენტი ა) ცდით $\varphi$ ბ) ცნობარით $\varphi$				
9	კუმშვის კოეფიციენტი ა) ცდით $\varepsilon$ ბ) ცნობარით $\varepsilon$				
10	განსხვავება (15) ფორმულით $\Delta\mu$				%

სამუშაო შეასრულა \_\_\_\_\_  
 ხელმძღვანელი \_\_\_\_\_  
 თარიღი \_\_\_\_\_

### ლიტერატურა

1. Агроскин И.И. и др. Гидравлика. М.-Л.: Энергия, 1964.
2. Астафичева Т.Н. и др. Лабораторные работы по курсу гидравлики. Л.: ЛПИ им. Калинина, 1968.
3. Байбаков О.В. и др. Лабораторный курс гидравлики и насосов. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961.
4. Богомолов А.И., Константинов Н.М. Примеры гидравлических расчетов. М.: Автотрансиздат, 1962.
5. Вилькер Д.С. Лабораторный практикум по гидравлике. М.-Л.: Изд-во техн.-теорет. литературы, 1949.
6. Мечитов И.И. Лабораторный практикум по гидравлике. Тбилиси. СХИ, 1954.
7. Панова М.В. Лабораторный практикум по гидравлике. М.: Энергия, 1969.

8. Угинчус А.А., Чугаева Е.А. Гидравлика. Л.: Изд-во литературы по строительству, 1971.
9. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л.: Энергия, 1971.

## სარჩევი

სამუშაო 1. ჰიდროსტატიკური წნევის გაზომვა .....	4
სამუშაო 2. სითხის თავისუფალი ზედაპირის ფორმის განსაზღვრა მღუნავ ცილინდრულ ჭურჭელში .	16
სამუშაო 3. ბერნულის განტოლების ილუსტრაცია .....	23
სამუშაო 4. რეინოლდსის რიცხვის განსაზღვრა .....	31
სამუშაო 5. სიგრძეზე წინაღობის კოეფიციენტის განსაზღვრა სადაწნეო მილსადენისთვის .....	38
სამუშაო 6. სიგრძეზე წინაღობის კოეფიციენტის განსაზღვრა ორმაგი მუხლისთვის .....	46
სამუშაო 7. ბორდას თეორიის ექსპერიმენტული შემოწმება	50
სამუშაო 8. დიაფრაგმის ხარჯის კოეფიციენტის გან-	

საზღვრა .....	54
სამუშაო 9. სითხის გამოდინება ხვრეტიდან და ნაცმები- დან მუდმივი დაწნევისას .....	57
ლიტერატურა .....	65