

ნ. ა. მუხომიძე

ლვინის გრანვულობის
გაქნოლოგიური
მოწყობილობა

ბეჭენიკა ღა ზრღმა
თბილისი
1950

ღვინის მკვლელობის ბეჭდოვანი მეთოდები

ტომი I

ბეჭდოვანი მეთოდები პირველი მუხრანისათვის

ნაწილი პირველი

საბრუნველო სახელმწიფო

თავი პირველი

სოციალური ენობა

§ 1. განზოგადებული

სოციალური ერთეულების სისტემები. ტექნიკური გაანგარიშების დროს ჩვენ მაქმე გვაქვს სიდიდეებთან, რომლებიც გარკვეული ერთეულებით არიან განზომილი. ყველა განზომილება, რომლებსაც კი ჩვენ შევხვდებით, შეიძლება სამი მთავარი და ძირითადი ერთეულიდან გამოვიყვანოთ.

იმისდა მიხედვით, თუ რომელ სამ სიდიდეს მივიჩნევთ მთავარ და ძირითად სიდიდედ, ჩვენ სოციალური ერთეულების ორ სისტემას მივიღებთ:

1) ფიზიკურს, რომელშიაც ძირითად ერთეულებად მიღებულია: სიგრძე—სანტიმეტრებით—(სმ), მასა—გრამებით (გ) და დრო—წამებით (წმ) და

2) ტექნიკურს, რომელშიაც ძირითად ერთეულებად მიღებულია: სიგრძე—მეტრებით (მ), ძალა—კილოგრამებით (კგ) და დრო—წამებით (წმ).

ტექნიკური გაანგარიშების დროს იხმარება სიდიდეები, რომლებიც ტექნიკური ერთეულებით არიან განზომილი, ხოლო ყოველგვარი მონაცემები სხვადასხვა ნივთიერების შესახებ, რაც საჭიროა ამ გაანგარიშებისათვის, მოყვანილია ცნობარებში—ფიზიკურ ერთეულებში.

საჭიროა ვიცოდეთ ერთი სისტემის ერთეულების მეორე სისტემის ერთეულებად გადაყვანა.

ამ გადაყვანის ძირითადი ფორმულები შემდეგნაირად განისაზღვრება:

მასა და ძალა. ნიუტონის კანონის თანახმად ძალა უდრის მასისა და აჩქარების ნამრავს:

$$P = m \cdot w. \quad (1)$$

ფიზიკურ სისტემაში მასა ძირითადი ერთეულია, ამიტომ ძალა წარმოებული ერთეული გამოდის; თუ მასა $m=1$ გ. და აჩქარება $w=1 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}^2}$, მაშინ

ძალა $P=1$ გ. $1 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}^2} = 1 \frac{\text{გ} \cdot \text{სმ}}{\text{წმ}^2}$. ამ ძალას ეწოდება დინი.

ტექნიკურ სისტემაში კი ძირითად ერთეულად მიღებულია ძალა, ამიტომ მასა წარმოებული გამოდის; ნიუტონის კანონის განტოლებიდან (1) გამოვძინარეობთ:

$$m = \frac{P}{w}. \quad (1a)$$



თუ ძალა $P=1$ კგ და აჩქარება $w=1 \frac{მ}{წმ^2}$, მაშინ მასა $m=\frac{1 \text{ კგ}}{1 \frac{მ}{წმ^2}}$

$=1 \frac{\text{კგ} \cdot წმ^2}{მ}$. ამ ერთეულს ცალკე სახელი არა აქვს და შემოკლებით აღინიშნება მ. ტ. ე. (იკითხება: მასის ტექნიკური ერთეული)

$$1 \text{ კგ}=981000 \text{ დინს}=9,81 \cdot 10^5 \text{ დინს.} \quad (2)$$

მუშაობა და ენერგია. მუშაობა არის ძალისა და მანძილის ნამრავლი:

$$A=P \cdot l \quad (3)$$

ფიზიკურ სისტემაში მუშაობისა და ენერგიის ერთეული იქნება: თუ განტოლებაში (3) მივიღებთ, რომ ძალა $P=1$ დინს და მანძილი $l=1$ სმ, მაშინ მუშაობა $A=1$ დინი $\cdot 1$ სმ $=1$ ერგს; 10^7 ერგს $=1$ ჯოულს.

ტექნიკურ სისტემაში კი: თუ ძალა $P=1$ კგ და მანძილი $l=1$ მ, მუშაობა $A=1$ კგ $\cdot$ მ (ცალკე სახელი არ აქვს).

$$1 \text{ კგ} \cdot \text{მ}=9,81 \cdot 10^5 \text{ დინი} \cdot 100 \text{ სმ}=9,81 \cdot 10^7 \text{ დინ} \cdot \text{სმ}=9,81 \cdot 10^7 \text{ ერგს}=9,81 \text{ ჯოულს} \quad (4)$$

სიმძლავრე. სიმძლავრე არის მუშაობა დროის ერთეულში:

$$N=\frac{A}{\tau} \quad (5)$$

ფიზიკურ სისტემაში სიმძლავრის ერთეული იქნება: თუ მუშაობა $A=1$ ჯოულს და დრო $\tau=1$ წმ, მაშინ სიმძლავრე

$$N=\frac{1 \text{ ჯოული}}{1 \text{ წმ}}=1 \text{ ვატს: } 10^3 \text{ ვატი}=1 \text{ კილოვატს.}$$

ტექნიკურ სისტემაში კი, თუ მუშაობა $A=1$ კგ $\cdot$ მ და დრო $\tau=1$ წმ, მაშინ სიმძლავრე $N=1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}}{\text{წმ}}$ (ცალკე სახელი არა აქვს)

$$1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}}{\text{წმ}}=9,81 \frac{\text{ჯოული}}{\text{წმ}}=9,81 \text{ ვატს.} \quad (6)$$

ტექნიკურ სისტემაში სიმძლავრის ერთეულად პირობითად მიღებულია ე. წ. ცხენის ძალა (შემოკლებით აღინიშნება: ც. ძ.), რომელიც უდრის $75 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}}{\text{წმ}}$;

$$1 \text{ ც. ძ.}=75 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}}{\text{წმ}}=75 \cdot 9,81 \text{ ვატს}=736 \text{ ვატს}=0,736 \text{ კვ,} \quad (7)$$

$$\text{შებრუნებით } 1 \text{ კვ}=\frac{1 \text{ ც. ძ.}}{0,736}=1,36 \text{ ც. ძ.} \quad (7a)$$

ხვედრითი ანუ კუთრი წონა. ნივთიერების წონას მოცულობის ერთეულში ხვედრითი ანუ კუთრი წონა ეწოდება (აღინიშნება γ).

თუ აღვნიშნავთ:

G —ნივთიერების წონას

V — „ მოცულობას,

მაშინ ხვედრითი წონა იქნება:

$$\gamma = \frac{G}{V}. \quad (8)$$

ფიზიკურ სისტემაში ხვედრითი წონის განზომილება იქნება: თუ

$$G=1 \text{ დინს} = 1 \frac{\text{გ} \cdot \text{სმ}}{\text{წმ}^2} \text{ და } V=1 \text{ სმ}^3, \gamma=1 \frac{\text{დინი}}{\text{სმ}^3} = 1 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3 \cdot \text{წმ}^2}.$$

ტექნიკურ სისტემაში კი: თუ $G=1$ კგ და $V=1$ მ³

$$\gamma=1 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}$$

ამ სიდიდეს აგრეთვე მოცულობითი წონა ეწოდება.

ხვედრითი ანუ კუთრი მოცულობა. ხვედრითი ანუ კუთრი მოცულობა არის ნივთიერების წონის ერთეულის მოცულობა (აღინიშნება v) ე. ი.

$$v = \frac{V}{G}; \quad (9)$$

ცხადია, რომ

$$\gamma = \frac{1}{v} \quad (9a)$$

$$\text{და } v = \frac{1}{\gamma} \quad (9b)$$

ფიზიკურ სისტემაში ხვედრითი მოცულობის განზომილება იქნება:

$$v=1 \frac{\text{სმ}^3}{\text{დინი}} = 1 \frac{\text{სმ}^3 \cdot \text{წმ}^2}{\text{გ}}$$

ტექნიკურ სისტემაში კი:

$$v = \frac{V}{G} = 1 \frac{\text{მ}^3}{\text{კგ}}.$$

სიმკვრივე. სიმკვრივე არის მასა, მოთავსებული მოცულობის ერთეულში:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10)$$

ფიზიკურ სისტემაში სიმკვრივის განზომილება იქნება: თუ მასა $m=1$ მოცულობა $V=1$ სმ³, სიმკვრივე

$$\rho = 1 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}$$

ტექნიკურ სისტემაში კი, ვინაიდან მასა უდრის წონას გაყოფილს სიმძიმის ძალის აჩქარებაზე $\left(m = \frac{G}{g}\right)$, ხოლო ხვედრითი წონა უდრის წონას გაყოფილს მოცულობაზე $\left(\gamma = \frac{G}{V}\right)$, ამიტომ სიმკვრივე

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{g \cdot V} = \frac{\gamma}{g} \quad (11)$$

ამ ერთეულის განზომილება გამოდის: $\frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{გ}^4}$.

სიბლანტე. სითხეების ან გაზების მოძრაობის დროს შესამჩნევი მნიშვნელობა აქვს მათ სიბლანტეს. სიბლანტე არის შიგა ხახუნის ის ძალა სითხის ან გაზის ნაწილაკებს შორის, რომელიც ეწინააღმდეგება ნაწილაკების ერთმანეთისაგან დაშორებას. ნიუტონის კანონის თანახმად, ეს ძალა პირდაპირ პროპორციულია სითხის ფენების გადაადგილების ფარდობითი სიჩქარისა და ამ ფენების ურთიერთშეხების ზედაპირის სიდიდისა, დამოკიდებულია სითხის თვისებებზე და არ არის დამოკიდებული წნევაზე:

$$\tau = \mu \cdot f \cdot \frac{d\omega}{dn} \quad (12)$$

სადაც:

τ — არის შიგა ხახუნის ძალა,

f — ორი ფენის ურთიერთშეხების ზედაპირი,

ω — სითხის ან გაზის მოძრაობის სიჩქარე,

n — მანძილი მოძრავი სითხის ან გაზის ფენებს შორის,

$\frac{d\omega}{dn}$ — სიჩქარის ნამატის წარმოებული, რომელიც მოდის ორ ფენას

შორის არსებული მანძილის ერთეულზე (მას ეწოდება „სიჩქარის გრადიენტი“ ნორმალის მიმართულებით),

μ — პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც სითხის ან გაზის თვისებებზეა დამოკიდებული (მას ეწოდება სიბლანტის კოეფიციენტი ან პირდაპირ სიბლანტე). ნიუტონის კანონის განტოლებიდან (12) გამომდინარეობს:

$$\mu = \frac{\tau}{f} \cdot \frac{dn}{d\omega} \quad (12a)$$

ამ ფორმულიდან შეგვიძლია მივიღოთ სიბლანტის ერთეული.

ფიზიკურ სისტემაში სიბლანტის ერთეული იქნება: თუ

$$t=1 \text{ დინს; } f=1 \text{ სმ}^2; n=1 \text{ სმ; } \omega=1 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}}$$

$$\mu = \frac{1 \text{ დინი} \cdot 1 \text{ სმ}}{1 \text{ სმ}^2 \cdot 1 \frac{\text{სმ}}{\text{წმ}}} = 1 \frac{\text{დინი} \cdot \text{წმ}}{\text{სმ}^2}.$$

ამ ერთეულს ეწოდება პუაზი (აღინიშნება: პ); პუაზის ერთ მეასედს ეწოდება სანტიპუაზი (აღინიშნება: სპ).

ტექნიკურ სისტემაში კი სიბლანტის განზომილება იქნება: თუ

$$t=1 \text{ კგ; } f=1 \text{ მ}^2; n=1 \text{ მ; } \omega=1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$$

$$\mu = \frac{1 \text{ კგ} \cdot 1 \text{ მ}}{1 \text{ მ}^2 \cdot 1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}} = 1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{მ}^2}$$

ამ ერთეულს ცალკე სახელი არა აქვს

$$1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{მ}^2} = \frac{9,81 \cdot 10^5 \text{ დინი} \cdot \text{წმ}}{10^4 \text{ სმ}^2} = 98,1 \frac{\text{დინი} \cdot \text{წმ}}{\text{სმ}^2} = 98,1 \text{ პუაზს} \quad (13)$$

წნევა. წნევას სითხის ან გაზის ზედაპირის ერთეულზე ხვედრითი წნევა ეწოდება. თუ ძალა P მოქმედებს F ზედაპირზე, მაშინ ხვედრითი წნევა იქნება:

$$p = \frac{P}{F} \quad (14)$$

ხვედრითი წნევა განიზომება ატმოსფეროთი (ატ), ვერცხლისწყლის სვეტის სიმაღლით (ვ. წ. სვ. მ; ვ. წ. სვ. მმ) წყლის, სვეტის სიმაღლით (წ. სვ. მ; წ. სვ. მმ).

ატმოსფერო არის ფიზიკური და ტექნიკური.

ფიზიკური ატმოსფერო უდრის ბუნებრივი ჰაერის წნევას ზღვის დონეზე 0°-ის დროს, ის შეესაბამება წნევას ვერცხლისწყლის სვეტისას სიმაღლით 760 მმ ანუ წყლის სვეტისას სიმაღლით

$$760 \cdot 13,6 = 10336 \text{ მმ} = 10,336 \text{ მ},$$

რაც იძლევა წნევას ზედაპირის ერთეულზე

$$p = h \cdot \gamma = 10,336 \text{ მ} \cdot 1000 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3} = 10336 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^2}.$$

ტექნიკურ ატმოსფეროდ კი მიღებულია წნევა ზედაპირის ერთეულზე:

$$p = 1 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} = 10\,000 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^2},$$

რაც შეესაბამება წნევას ვერცხლისწყლის სვეტისას სიმაღლით:

$$h_{\text{ვ.ნ.გ}} = \frac{p}{\gamma_{\text{ვ.ნ.}}} = \frac{1 \frac{\text{კმ}}{\text{სმ}^2}}{13,6 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}} = \frac{1000 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}}{13,6 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}} = 73,56 \text{ სმ} = 735,6 \text{ მმ},$$

ან წნევას წყლის სვეტისას სიმაღლით:

$$h_{\text{ვ.ს.გ}} = \frac{p}{\gamma_{\text{ვ}}} = \frac{1 \frac{\text{კმ}}{\text{სმ}^2}}{1 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}} = \frac{1000 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}}{1 \frac{\text{გ}}{\text{სმ}^3}} = 1000 \text{ სმ} = 10 \text{ მ}.$$

§ 2. გადასაზიდ მასალათა ზოგადი დახასიათება

სატრანსპორტო საშუალებათა შერჩევისა და გაანგარიშების დროს აუცილებლად საჭიროა კარგად ვიცოდეთ გადასაზიდ მასალათა ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები.

არის შემთხვევები, როდესაც გადასაზიდი მასალა ქიმიურად მძლავრად მოქმედებს სატრანსპორტო საშუალების ნაწილებზე და აზიანებს მათ (მაგალითად, მეთაგების გადაქაჩვის დროს). მაშინ სატრანსპორტო საშუალების ნაწილები ისეთი მასალისაგან უნდა დამზადდეს, რომელიც ამ ქიმიურ მოქმედებას უძლებს. არის შემთხვევები, როდესაც, პირიქით, საშიშია სატრანსპორტო საშუალების ნაწილების ქიმიური ზემოქმედება გადასაზიდ მასალაზე, რის შედეგადაც შეიძლება ამ უკანასკნელის ხარისხი დაეცეს (მაგალითად: ლვინო-მასალების ჩვეულებრივ მილსადენებში გადაქაჩვის დროს); მაშინ უნდა მივიღოთ საგანგებო ზომები იმისათვის, რომ სატრანსპორტო საშუალების ის ნაწილები, რომლებიც გადასაზიდ მასალას უშუალოდ ეხებიან, სპეციალური მასალისაგან დავამზადოთ (მაგ., უჟანგავი ფოლადისაგან) ან ჩვეულებრივი მასალის ზედაპირი სპეციალური დამცველი ფენებით დავფაროთ (მაგ., მოვერცხლოვ, მოკალვა, ბაკელიტის ლაქით დაფარვა და ა. შ.).

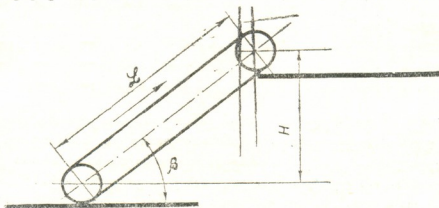
რაც შეეხება გადასაზიდი მასალების ფიზიკურ თვისებებს, მათ გადამწვეტი მნიშვნელობა აქვს უფრო ფხვიერი მასალებისათვის.

ფხვიერი მასალის ერთ-ერთი ძირითადი ფიზიკური მაჩვენებელი არის ე. წ. დაყრილი წონა — $\gamma_e \left(\frac{\text{კმ}}{\text{ლ}}; \frac{\text{კმ}}{\text{მ}^3}; \frac{\text{ტ}}{\text{მ}^3} \right)$. ესაა ფხვიერი მასალის წონა (კგ, ტ) მოცულობის ერთეულში (ლ, მ³), როდესაც მასალა თავისუფლად არის დაყრილი. ცხადია, რომ ეს წონა ერთსა და იმავე მასალისთვისაც კი არ არის მუდმივი და დამოკიდებულია ცალკე ნაწილაკების ერთგვაროვნობაზე და მათ სიდიდეზე.

დაყრილი წონა ზოგიერთი მასალისათვის მოყვანილია 1-ელ ცხრილში.

მასალის დასახელება	დაყრილი წონა $\frac{გ}{ლ}$	მასალის დასახელება	დაყრილი წონა $\frac{გ}{ლ}$
ხორბალი	0,7 ÷ 0,83	ქვიშა	1,4 ÷ 1,9
ქერი	0,65 ÷ 0,75	ხრეში	1,5 ÷ 1,9
ალთო	0,53	ღორღი მშრალი	1,8
შვრია	0,4 ÷ 0,5	ღორღი სველი	2,0
სიმინდი	0,7 ÷ 0,75	მიწა მშრალი	1,2
ლობიო	0,7 ÷ 0,8	მიწა ტენიანი	1,7
მუხუდო	0,8	თიხა	1,8 ÷ 2,0
სელის თესლი	0,65 ÷ 0,75	თიხა მშრალი, ბელტად	1,0
ბამბის თესლი	0,4	ცემენტი	1,3 ÷ 1,6
ყურძნის წიპა	0,7 ÷ 0,8	ბარიტი	2,9
პურის ფქვილი	0,5 ÷ 0,64	თაბაშირი დაფქვილი	1,3 ÷ 1,6
დაფქვილი მარილი მშრალი	1,0 ÷ 1,3	სოდა	0,67
დაფქვილი მარილი ტენიანი	1,2 ÷ 2,2	გოგირდი	2,0
ანტრაციტი	0,8 ÷ 0,95	ცარცი	2,5
წვრილი ქვანახშირი	0,75 ÷ 1,0	აგური	1,4 ÷ 1,55
კოქსი	0,86 ÷ 0,47	ყინული	0,88 ÷ 0,92
ხის ნახშირი	0,13 ÷ 0,25	თოვლი მშრალი	0,12
ნაცარი მშრალი	0,4 ÷ 0,6	თოვლი სველი	0,45 ÷ 0,79
ნაცარი ტენიანი	0,7	ბურბულეა და ნახერხი	0,2 ÷ 0,3
სილა მშრალი	1,4 ÷ 1,65	კაპა და კლერცი აჩენილი	0,6
სილა ტენიანი	1,9 ÷ 2,05	კაპა და კლერცი დატკეპნილი	0,8

მეორე ფიზიკური მაჩვენებელი ფხვიერი მასალისა არის სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი (f_2) გადასაზიდ მასალასა და იმ მასალას შორის, რომლი-



ნახ. 1. ტრანსპორტიორის დახრის კუთხე.

საგანაც დამზადებულია სატრანსპორტო საშუალებების სამუშაო ორგანო.

როგორც ცნობილია მექანიკიდან, ხახუნის კოეფიციენტს ერთსა და იმავე მასალისთვისაც ორი სიდიდე აქვს: ხახუნის კოეფიციენტი მოძრაობის



დროს— f_{13} და ხახუნის კოეფიციენტი უძრავობის დროს— f_{12} . ხახუნის კოეფიციენტების მნიშვნელობა ზოგიერთი ფხვიერი მასალისათვის მოყვანილია მე-2 ცხრილში.

ხახუნის კოეფიციენტების ცოდნა აუცილებელია, რადგანაც მათ სიდიდეს გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ფხვიერი მასალის დახრილ მდგომარეობაში გადაზიდვის დროს.

მაგალითად (ნახ. 1), თუ დახრილი ლენტიათი ტრანსპორტიორი ფხვიერ მასალას ზემოთ ეზიდება, ტრანსპორტიორის სიგრძე L ერთსა და იმავე სიმაღლისათვის H დამოკიდებულია ტრანსპორტიორის ჰორიზონტთან დახრის β კუთხეზე:

$$L = \frac{H}{\sin \beta} \quad (3)$$

ფხვიერი და ნატეხი მასალის ხახუნის კოეფიციენტები ცხრილი 2

მასალის დასახელება	ხახუნის კოეფიციენტები					
	რკინაზე		ზეზე		ბეტონზე	
	f_{12}	f_{13}	f_{12}	f_{13}	f_{12}	f_{13}
ხორბალი	0,36	0,38	0,36	0,58	0,45	0,71
კერი	0,37	0,58	0,325	0,7	0,45	0,75
შვრია	0,4	0,58	0,37	0,78	0,45	0,8
სიმინდი	0,36	0,58	0,3	0,58	0,42	0,6
ლობიო	0,37	—	0,32	—	0,44	—
მუხუდო	0,26	—	0,27	—	0,3	—
სვლის თესლი	0,34	—	0,31	—	0,42	—
ანტრაციტი	0,29	0,84	0,47	0,84	0,51	0,9
წვრილი ქვანახშირი	0,32	0,84	0,47	0,84	0,5	0,9
კოქსი	0,47	1,0	0,82	1,0	0,84	1,0
ნაცარი მშრალი	0,47	0,84	0,84	1,0	0,84	1,0
მიწა, სილა, ქვიშა	0,58	1,0	—	—	—	—
შაქარი სველი	1,0	2,14	—	—	—	—
ბატო	1,74	2,16	—	—	—	—

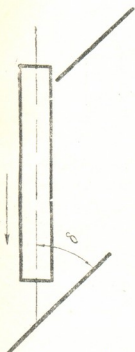
როგორც ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რაც უფრო დიდია კუთხე β , მით უფრო მოკლე გამოვა ტრანსპორტიორი და, მაშასადამე, მით უფრო იაფიც დაჯდება. კუთხე β -ს არჩევის დროს საჭიროა ანგარიში გავუწიოთ გადასაზიდი მასალის ლენტის მასალაზე ხახუნის კოეფიციენტს f_{12} . როგორც ცნობილია, $f_{12} = \tan \rho_{\beta}$, სადაც ρ_{β} არის ხახუნის კუთხე მოძრაობის დროს. ტრანსპორტიორის ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროა, რომ ტრანსპორტიორის დახრის კუთხე ნაკლები იყოს ხახუნის კუთხეზე:

$$\beta = \rho_{\beta} - (5^{\circ} \div 10^{\circ}),$$

წინააღმდეგ შემთხვევაში გადასაზიდი მასალა ლენტის ზედაპირზე უკან ჩამოვარდება, ხოლო როდესაც ფხვიერი მასალა სიმძიმის ძალის მეოხებით თვითღონებით ზემოდან ქვემოთ მოძრაობს ლარებში ან მილებში (ნახ. 2), მაშინ, პირიქით, ლარის ან მილის დახრის კუთხე δ ხახუნის კუთხეზე φ მეტი უნდა იყოს:

$$\delta = \varphi + (5^\circ \div 10^\circ),$$

წინააღმდეგ შემთხვევაში ფხვიერი მასალა ლარსა და მილში გაიჭედება.



ნახ. 2. ლარის დახრის კუთხე.

მესამე ფიზიკური მაჩვენებელი ფხვიერი მასალისა არის ე. წ. ბუნებრივი ფერდობის კუთხე. ეს არის ის კუთხე (α), რომელსაც ჰქმნის ფხვიერი მასალის ხეავის გვერდი ჰორიზონტთან, როდესაც ფხვიერი მასალა თავისუფლად დაყრილია ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე (ნახ. 3).

ამ კუთხის სიდიდე დამოკიდებულია იმ შიგა ხახუნზე, რომელიც არსებობს ფხვიერი მასალის ნაწილაკებს შორის. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ხახუნის კოეფიციენტს ორი მნიშვნელობა აქვს. ამის შესაბამისად ბუნებრივი ფერდობის კუთხესაც ორი მნიშვნელობა აქვს: ბუნებრივი ფერდობის კუთხე მოძრაობის დროს— α_0 და ბუნებრივი ფერდობის კუთხე უძრაობის დროს— α_1 .



ნახ. 3. ფხვიერი მასალის ბუნებრივი ფერდობის კუთხე.

ბუნებრივი ფერდობის კუთხეების მნიშვნელობა ზოგიერთი ფხვიერი მასალისათვის მოყვანილია მე-3 ცხრილში.

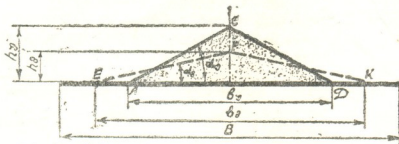
ფხვიერი და ნატეხვანი მასალების ბუნებრივი ფერდობის კუთხეები

ცხრილი 3

მასალის დასახელება	ბუნებრივი ფერდობის კუთხეები	
	მოძრაობის დროს α_0	უძრაობის დროს α_1
ბორბალი	25	35
ჭერი	27	35
შერია	28	35
სიმინდი	28	35
ლობიო	31	—
მუხუდო	25	—
სელის თესლი	25	—
ანტრაციტი	27	45
წვრილი ქვანახშირი	30	45
კოქსი	35	50
ნაცარი მშრალი	40	50
მიწა, სილა, ქვიშა	30	45
შაქარი სველი	50	70

ფხვიერი მასალის ბუნებრივი ფერდობის კუთხის ცოდნა აუცილებელია რადგანაც ეს კუთხე გვაძლევს საშუალებას გავიანგარიშოთ კვეთი იმ მასალისა, რომელიც, ვთქვათ, სატრანსპორტო ლენტზე გადაიზიდება, და გავიცოთ ლენტის ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა.

თუ ლენტი უძრავად არის, მასზე დაყრილი მასალა (ნახ. 4) მოგვცემს



ნახ. 4. ლენტზე დაყრილი ფხვიერი მასალის განივი კვეთი.

კვეთს ACD , რომელშიაც ფუძესთან მდებარე კუთხეები ტოლი იქნებიან α_1 , ფუძე— b_1 და სიმაღლე h_1 . როგორც კი ლენტი ამოძრავდება, ცხადია, დაყრილი მასალა ლენტზე უფრო ფართოდ გაიშლება და სიმაღლე კი დაიწევს, ე. ი. მოძრაობის დროს მასალის კვეთი იქნება EFK , რომელშიაც ფუძესთან მდებარე კუთხეები ტოლი იქნებიან α_2 , ფუძე— b_2 და სიმაღლე კი— h_2 . მაშასადამე, ლენტის ტრანსპორტიორის მწარმოებლობის გაანგარიშებისათვის უნდა მივიღოთ მასალის კვეთი EFK და ლენტზე უნდა ვიქონიოთ სიგანის მარაგი იმ ვარაუდით, რომ მოძრაობის პროცესში გადასაზიდი მასალა ლენტიდან არ გადმოიყაროს.

§ 3. სატრანსპორტო საშუალებათა დანიშნულება და კლასიფიკაცია

სატრანსპორტო საშუალებათა დანიშნულება. სატრანსპორტო საშუალებათა ძირითადი დანიშნულებაა წარმოებაში ნედლეულისა და ნაშენების გადაადგილება მათი დამუშავების პროცესში. ეს ოპერაცია საერთოდ მძიმე და შრომატევადია, ამავდროულად ძვირიც: ის საგრძნობლად ადიდებს მშაპროდუქციის თვითღირებულებას. ამიტომ სატრანსპორტო ოპერაციების მექანიზაცია ყველა დარგის წარმოებისათვის ფრიად საჭირო ამოცანას წარმოადგენს.

ჩვენს სოციალისტურ მრეწველობაში სატრანსპორტო ოპერაციების მექანიზაციის განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. კაპიტალისტურ მეურნეობაში სატრანსპორტო ოპერაციების მექანიზაცია სრულიადაც არაა შემოღებული მშრომელი ადამიანის შრომის პირობების გაუმჯობესებისათვის, ის ნაკარნახევია, საერთოდ, კაპიტალისტური მეურნეობისათვის დამახასიათებელი მისწრაფებით: მზა პროდუქციის თვითღირებულების შემცირებით კაპიტალისტის მოგების გასაზიდებლად.

ჩვენი სოციალისტური მრეწველობა სატრანსპორტო ოპერაციების მექანიზაციის საშუალებით არა მარტო ამცირებს მშაპროდუქციის თვითღირებულებას და ამით ქმნის პირობებს ჩვენს ქვეყანაში ნაწარმთა სიუხვისათვის,

არამედ სწვევტს სოციალისტური საზოგადოების ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას — გაათავისუფლოს ადამიანი მძიმე ფიზიკური შრომისაგან.

ჩვენი სოციალისტური მრეწველობა, რომელიც ძირითადად შექმნილია სტალინური ხუთწლეულების განმავლობაში, მაღალი ტექნიკითაა აღჭურვილი. ჩვენი მრეწველობის წამყვანი დარგები იმდენად მექანიზებულია, რომ ტვირთების აწვე-დაწვევაში და გადატან-გადმოტანაში ფიზიკური შრომის გამოყენება მინიმუმამდეა დაყვანილი.

ასეთ სავსებით მექანიზებულ წარმოებებში სატრანსპორტო საშუალებანი ორგანულად არიან შექსოვილი თვით ტექნოლოგიურ მანქანებთან და მათთან ერთად ერთ განუყოფელ აგრეგატს წარმოადგენენ.

ასეთი მდგომარეობა ჩვენ გვაქვს, მაგალითად, მანქანათმშენებელ მრეწველობაში, სადაც განუწყვეტლად მოძრავი კონვეიერების საშუალებით გამო-საშვები მანქანა მთელი თავისი დამუშავების პროცესში მოძრაობს და კონ-ვეიერის ბოლოს მზა სახით გამოდის.

კვების მრეწველობაშიც მოგვეპოვება ასეთი დიდად მექანიზებული წარ-მოებები, როგორიც არის, მაგალითად, საკონსერვო წარმოება, სადაც მიღე-ბულია ე. წ. „ხაზები“. ხაზი წარმოადგენს ერთ რიგში ჩამწყკრივებულ ტექ-ნოლოგიურ და სატრანსპორტო მანქანებს. ნედლეული მთელი თავისი დამუ-შავების პროცესში ერთი მიმართულებით მოძრაობს და ხაზის ბოლოში მზა პროდუქციის სახით გამოდის.

ის დიდი, ისტორიული მნიშვნელობის, მიღწევები, რაც ჩვენს საბჭოთა მრეწველობას აქვს შრომის ნაყოფიერების ზრდაში, შრომის ახალი სოცია-ლისტური ფორმების დანერგვასა და სტახანოვური მოძრაობის ფართოდ გაშლაში, თავის მნიშვნელოვან ნაწილში შრომატევად სამუშაოთა მექანიზა-ციას უნდა მიეწეროს.

ამიტომ ტექნოლოგი, როგორც წარმოების ხელმძღვანელი-სპეციალის-ტი, აუცილებლად კარგად უნდა იცნობდეს არსებულ სატრანსპორტო საშუა-ლებებს. მას უნდა შეეძლოს სატრანსპორტო საშუალების შერჩევა და მისი წესიერად და ნაყოფიერად გამოყენება თავის წარმოებაში.

სატრანსპორტო საშუალებათა კლასიფიკაცია. სატრანსპორტო საშუა-ლებანი იმისდა მიხედვით, თუ რა სახის მასალის გადაზიდვა ხდება, შეგვიძ-ლია სამ ძირითად კლასად დავყოთ: ა) მაგარი მასალების გადასაზიდი სა-შუალებანი, ბ) თხევადი მასალების გადასაზიდი საშუალებანი და გ) გაზო-ბრივი მასალების გადასაზიდი საშუალებანი.

თითოეული ამ კლასისაგანი კიდევ მოითხოვს დამატებით კლასიფიკაციას სხვადასხვა ნიშანთვისების მიხედვით.

სატრანსპორტო საშუალებანი მაგარი მასალების გადაზიდვისათვის გა-ნიყოფიან ოთხ ძირითად ჯგუფად იმისდა მიხედვით, თუ როგორი ხასიათი აქვს იმ სამუშაო ორგანოს მოძრაობას, რომელიც უშუალოდ იტაცებს და გა-დაადგილებს ტვირთს. ამ ნიშანთვისების მიხედვით ჩვენ შემდეგ ოთხ ჯგუფს მივიღებთ:

1) პირველ ჯგუფს შეადგენენ ის სატრანსპორტო საშუალებანი, რომ-ლებიც ტვირთს ეზიდებიან სპეციალურად გაყვანილ გზებსა და ლიანდაგებზე.

ასეთებია: ა) ფართო და ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზები, რომლებსაც ვიძლია ვუწოდოთ საერთო სახელი „მიწისზედა რელსიანი გზები“, ბ) ყოველგვარი ურიკები და საზიდები, რომლებიც ტვირთს ეზიდებიან სპეციალურად გაყვანილ ურელსო გზებზე. მათ შეგვიძლია ვუწოდოთ „მიწისზედა ურელსო გზები“ და გ) ისეთი სატრანსპორტო საშუალებანი, რომლებშიაც ტვირთი მოთავსებულია ურიკებში, ურიკები კი მოძრაობენ ჩამოკიდებულ რელსზე ან ბაგირზე. მათ ჩვენ შეგვიძლია ვუწოდოთ „კიდული რელსიანი გზები“ ან „კიდული ბაგირიანი გზები“. პირველი ჯგუფის სატრანსპორტო საშუალებებს, მიუხედავად კონსტრუქციული სხვადასხვაობისა, ერთი რამ აქვთ საერთო: სამუშაო ორგანოების (ურიკების, ვაგონების და სხვ.) მოძრაობის გზას შეიძლება ჰქონდეს მრავალი გადაკვეთა და განშტოება.

2) მეორე ჯგუფს შეადგენენ ისეთი სატრანსპორტო საშუალებანი, რომლებსაც ერთი სამუშაო ორგანო აქვთ. ეს სამუშაო ორგანო ჩამოკიდებულია ამწვე მანქანაზე (ჯალამბარზე), რომელიც შეიძლება სტაციონარულად (უძრავად) იყოს დაყენებული და შეიძლება იდგეს მოძრავ სადგარზე. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება, ევრტიკალური და დახრილი ამწეები, სკრეპერები და სხვა ამის მსგავსი საშუალებანი. ამ შემთხვევაში ტვირთი გადაიზიდება ნაწილ-ნაწილად სამუშაო ორგანოს ტევადობის შესაბამისად.

3) მესამე ჯგუფს შეადგენენ ისეთი სატრანსპორტო საშუალებანი, რომლებშიაც მთელი რიგი სამუშაო ორგანოები შეერთებულია უსასრულო გამწვე ორგანოს საშუალებით. ამ ჯგუფს შეგვიძლია ვუწოდოთ „გამწვე ორგანოიანი სატრანსპორტო საშუალებანი“. ამ ჯგუფს ეკუთვნიან ყოველგვარი ტრანსპორტიორები, ელევატორები და კონვეიერები. სამუშაო ორგანოები ამ შემთხვევაში მოძრაობენ შეკრული წრიული გზით, რომლის ფორმა და ზომაც უცვლელი რჩება.

4) მეოთხე ჯგუფს შეადგენენ ისეთი სატრანსპორტო საშუალებანი, რომლებსაც გამწვე ორგანო სრულიად არ გააჩნიათ. სამუშაო ორგანო კი, მოწყობილია ისეთნაირად, რომ ტვირთის გადაზიდვის დროს სამუშაო ორგანოს არ სჭირდება უკან დაბრუნება ახალი ტვირთის მისაღებად. ამ სატრანსპორტო საშუალებებს შეიძლება ვუწოდოთ „გამწვე ორგანოს მოკლებული სატრანსპორტო საშუალებანი“. ამ ჯგუფს მიეკუთვნებიან: 1) საგრავეტაციო და თვითმდენი სატრანსპორტო საშუალებანი, რომლებშიაც ტვირთის გადაადგილება ხდება საკუთარი წონის მეოხებით, 2) ხრახნიანი ტრანსპორტიორები და კონვეიერები, 3) ჰიდრავლიკური ტრანსპორტი, 4) პნევმატიკური ტრანსპორტი და სხვა.

სატრანსპორტო საშუალებანი თხევადი მასალების გადაზიდვისათვის. სითხეების გადაზიდვა წარმოებაში, როგორც წესი, ხდება დახურულ მილსადენებში. მილსადენებში სითხის გადაადგილებისათვის საჭიროა, რომ მილსადენის საწყის და ბოლო პუნქტებს შორის არსებობდეს წნევათა სხვაობა. ზოგჯერ ეს წნევათა სხვაობა თავისთავად არსებობს. ასეა მაშინ, როდესაც მილსადენის საწყისი პუნქტი ბოლო პუნქტზე უფრო მაღლა მდებარეობს. ამ შემთხვევაში სითხე გადაადგილდება მილსადენში ბუნებრივი ღინებით (თვითღინებით), ხოლო, როდესაც მილსადენის ბოლო პუნქტი საწყის პუნქტზე უფრო მაღლა მდებარეობს, მაშინ სითხის გადაადგილებისათვის საჭირო წნევათა

სხვაობას ჰქმნიან სპეციალური დანადგარები, რომლებსაც ტუმბო ეწოდება. თავისი მოქმედების პრინციპის მიხედვით ტუმბოები სამ ძირითად ჯგუფად განიყოფიან:

1) ტუმბოები, რომელთა სამუშაო კამერაში მოძრაობს დგუში ან თვალი. ესენი ერთი მხრიდან შეიწოვენ სითხეს სამუშაო კამერაში, მეორე მხრიდან კი დაჰრჩნიან სითხეს კამერიდან საჰირხ მილსადენში. ამ ჯგუფს ეკუთვნის პრაქტიკაში ყველაზე უფრო გავრცელებული დგუშიანი, ცენტრიდანული და საროტაციო ტუმბოები.

2) ტუმბოები, რომლებშიც სითხის აწევა ხდება ჰაერის ან ორთქლის წნევის საშუალებით. ამ ჯგუფს მიეკუთვნებიან სიფონი, მონტეიუ და ერლიფტი.

3) ტუმბოები, რომლებშიც სითხის როგორც შეწოვა, ისე დაჰრჩხნა ხდება წყლის ან ორთქლის მოძრაიე ჰაერის ენერგიის მეოხებით. ასეთებია ჰაერული ტუმბოები: ორთქლჰაერული და წყალჰაერული.

სატრანსპორტო საშუალებანი გაზობრივი მასალების გადაზიდვისათვის. გაზობრივი მასალების გადაზიდვა აუცილებლად დახშული მილსადენების საშუალებით წარმოებს. გაზის გადაადგილებისათვის საჰირო წნევის შესაქმნელად გაზი ან უნდა შევკუმშოთ ან გაუაუხშოთ. ამისათვის არსებობს სპეციალური მანქანები. ამ მანქანების ძირითად მაჩვენებელს შეადგენს, ე. წ. შეკუმშვის ხარისხი: $\frac{p_2}{p_1}$, რომელიც წარმოადგენს მანქანიდან გამომავალი გაზის წნევის (p_2) შეფარდებას მანქანაში შემავალი გაზის წნევასთან (p_1). ამ შეკუმშვის ხარისხის სიდიდის მიხედვით ეს მანქანები შემდეგ სამ ჯგუფად განიყოფიან:

1) თუ $\frac{p_2}{p_1} = 3 \div 1000$, მაშინ მანქანას კომპრესორი ეწოდება. წნევა, რომელსაც კომპრესორი ავითარებს 1000 ატ. აღწევს. თუ კომპრესორს გაუხშოებაზე ვამუშავეთ, მას ეაკუმ-ტუმბო ეწოდება. გაუხშოება, რომელსაც ეაკუმ-ტუმბო ავითარებს, აღწევს 0,02 ატა (ეაკუმს 98%-მდე):

2) თუ $\frac{p_2}{p_1} = 1,06 \div 4,0$, მაშინ მანქანას ჰაერსაბერი ეწოდება. წნევა, რომელსაც ჰაერსაბერი ჰქმნის მერყეობს 600 მმ. წყ. სვ. $\div 3$ ატა და გაუხშოება კი 600 მმ. წყ. სვ. $\div 0,3$ ატა ეაკუმში (70%-):

3) თუ $\frac{p_2}{p_1} = 1,0 \div 1,1$, მაშინ მანქანას ვენტილატორი ეწოდება. ვენტილატორისაგან შექმნილი წნევა ან გაუხშოება არ აღემატება 0,1 ატა = 1000 მმ. წყ. სვ.

თუ ჰაერსაბერი ან ვენტილატორი გაუხშოებაზე მუშაობს, ორივეს ექსპაუსტერი ეწოდება. მოქმედების პრინციპის მიხედვით გაზის მანქანები შემდეგ ოთხ ჯგუფად იყოფა:

1) გაზის დგუშიანი ტუმბოები და კომპრესორები, რომლებშიც დგუში უკუქცევად-სწორხაზოვნად მოძრაობს და გაზი იკუმშება სამუშაო კამერის მოცულობის შემცირების გამო.

2) გაზის ცენტრიდანული ტუმბოები და კომპრესორები, რომლებშიც ბრუნავს სამუშაო თვალი და გაზის შეკუმშვა ხდება ცენტრიდანული ძალის საშუალებით.

3) გაზის საროტაციო ტუმბოები და კომპრესორები, რომლებსაც აქვთ მბრუნავი დღეში და გაზის შეკუმშვა ხდება აგრეთვე სამუშაო კამერის ცულობის შემცირების გამო.

4) გაზის ჰეღლიანი ტუმბოები და კომპრესორები, რომლებშიც გაზი კონუსური ნაცმიდან გამოდინება და გაზის შეკუმშვა ხდება მისი დინების სიჩქარის შეცვლის გამო.

§ 4. მ ა ზ ა ლ ი თ ე ბ ი

მაგალითი 1. სხეულზე მოქმედებს ძალა: $P = 12\,000\,000$ დინი. გამოვსახოთ ეს ძალა კგ-ბით.

ამოხსნა: ფორმულის (2) თანახმად: $1\text{ კგ} = 9,81 \cdot 10^5$ დინი, ამიტომ ძალა

$$P = \frac{12\,000\,000}{9,81 \cdot 10^5} = \frac{120 \cdot 10^5}{9,81 \cdot 10^5} = \frac{120}{9,81} = 12,2 \text{ კგ.}$$

მაგალითი 2. რას უდრის წყლის სიმკვრივე, თუ წყლის ტემპერატურაა 20°C ?

ამოხსნა: ფორმულის (11) თანახმად სიმკვრივე: $\rho = \frac{\gamma}{g}$; ჩვენს შემ-

თხვევაში $\rho_{\text{წ}}^{20^\circ} = \frac{\gamma_{\text{წ}}^{20^\circ}}{g}$

$$\gamma_{\text{წ}}^{20^\circ} = 998,62 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}; \quad g = 9,81 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}.$$

მაშასადამე,

$$\rho_{\text{წ}}^{20^\circ} = \frac{998,62}{9,81} = 102 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{მ}^3}.$$

მაგალითი 3. რას უდრის ღვინის ტკბილის სიმკვრივე, თუ ტკბილის ტემპერატურა უდრის 20°C და შაქრიანობა შეადგენს 20% ?

ამოხსნა: წინა მაგალითის ანალოგიურად:

$$\rho_{\text{ღ}}^{20^\circ|20\%} = \frac{\gamma_{\text{ღ}}^{20^\circ|20\%}}{g}; \quad \gamma_{\text{ღ}}^{20^\circ|20\%} = 1080 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}; \quad g = 9,81 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}$$

და მაშასადამე,

$$\rho_{\text{ღ}}^{20^\circ|20\%} = \frac{1080}{9,81} \approx 110 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{მ}^3}.$$

მაგალითი 4. წყლის სიბლანტე 20°C -ის დროს უდრის $1,1$ სპ. გამოვსახოთ ეს სიბლანტე ტექნიკური ერთეულებით.

ამოხსნა: ფორმულის (13) თანახმად სიბლანტის ტექნიკური ერთეული შეიცავს $98,1$ პ. ამიტომ წყლის სიბლანტე, ტექნიკური ერთეულებით გამოვსახული, ტოლი იქნება:

$$\mu_{\text{წ}}^{20^\circ} = \frac{1,1}{100 \cdot 98,1} = 0,000112 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{გ}^2} = 11,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{გ}^2}.$$

მაგალითი 5. ტკბილის სიბლანტე ($t=20^{\circ}\text{C}$; შაქრიანობა 20%) უდრის
2 სპ. გამოვსახოთ სიბლანტე ტექნიკური ერთეულებით.
ამოხსნა: წინა მაგალითის ანალოგიურად:

$$\mu_{\text{ტ}}^{20^{\circ}\text{C}|20\%} = \frac{2}{100 \cdot 98,1} = 0,000204 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{გ}^2} = 20,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{გ}^2}.$$

მაგალითი 6. ძრავის სიმძლავრე უდრის 80 ც. დ. გამოვსახოთ ეს სიმ-
ძლავრე კილოვატობით.

ამოხსნა: ფორმულის (7a) თანახმად:

$$1 \text{ კვ} = 1,36 \text{ ც. დ.}; \text{ მაშასადამე: } N_{\text{კვ}} = \frac{N \text{ ც. დ.}}{1,36} = \frac{80}{1,36} \cong 58,8 \text{ კვ}.$$

მაგალითი 7. ელექტროგენერატორის სიმძლავრე უდრის 150 კვ. გამოვ-
სახოთ ეს სიმძლავრე ცხენის ძალებით.

ამოხსნა: ფორმულის (7) თანახმად:

$$1 \text{ ც. დ.} = 0,736 \text{ კვ}; \text{ მაშასადამე: } N \text{ ც. დ.} = \frac{N \text{ კვ}}{0,736} = \frac{150}{0,736} \cong 204 \text{ ც. დ.}$$

მაგალითი 8. ვერცხლისწყლიანი ბარომეტრი გვიჩვენებს წნევას 600
მმ.ვ.წ.სვ. გამოვსახოთ ეს წნევა წყლის სვეტის სიმაღლით.

ამოხსნა: ხვედრითი წნევა $p = h_{\text{ვ.წ.}} \cdot \gamma_{\text{ვ.წ.}} = h_{\text{წ.}} \cdot \gamma_{\text{წ.}}$.

$$\text{აქედან: } h_{\text{წ.}} = h_{\text{ვ.წ.}} \cdot \frac{\gamma_{\text{ვ.წ.}}}{\gamma_{\text{წ.}}} = 0,6 \cdot \frac{13600}{1000} \cong 8,18 \text{ მ.წ.სვ.}$$

თავი მეორე

ზოზიერტი ცნოპები ზიდრავლიკიდან

§ 5. ზიდრავლიკის სოპანი

ზიდრავლიკა ეწოდება მეცნიერებას, რომელიც შეისწავლის სითხეების წონასწორობისა და მოძრაობის კანონებს. ზიდრავლიკის იმ ნაწილს, რომელიც შეისწავლის სითხეების წონასწორობის კანონებს ზიდროსტატიკა ეწოდება, იმ ნაწილს კი, რომელიც შეისწავლის სითხეების მოძრაობის კანონებს—ზიდროდინამიკა.

ზიდრავლიკა სითხედ იხილავს ყველა იმ ნივთიერებას, რომლებიც თითქმის სრულიად არ ეწინააღმდეგება ცალკე ნაწილაკების ერთმანეთისაგან განშორებას და ფორმის შეცვლას.

სითხე ორნაირია: წვეთოვანი სითხე და გაზობრივი სითხე ანუ გაზი. განსხვავება მათ შორის იმაში მდგომარეობს, რომ წვეთოვანი სითხე თითქმის სრულიად არ იკუმშება და მოცულობითი გაფართოება ძალიან მცირე აქვს. გაზობრივი სითხე კი, პირიქით, ძალიან იკუმშება და აქვს შედარებით დიდი კოეფიციენტი მოცულობითი გაფართოებისა. იმ სიჩქარეების გამოყენებისას, რაც წარმოების პირობებში იხმარება, ზიდრავლიკის კანონები გამოდგება როგორც წვეთოვანი სითხეებისათვის, ისე გაზებისათვის.

§ 6. ზიდროსტატიკა

ზიდროსტატიკური წნევა. ძალას, რომელიც მოდის წონასწორობაში მყოფი სითხის რომელიმე ელემენტის ზედაპირის ერთეულზე, საშუალო ზიდროსტატიკური წნევა ანუ პირდაპირ ზიდროსტატიკური წნევა ეწოდება. თუ აღვნიშნავთ:

P —(კგ)—მთელ მოქმედ ძალას;

F —(მ², სმ²)—ზედაპირის ფართობს.

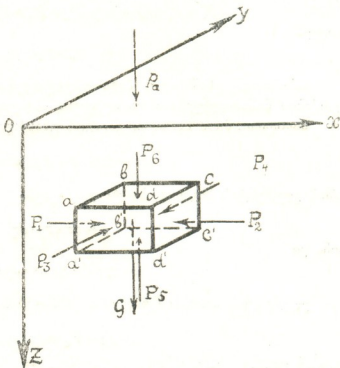
ზიდროსტატიკური წნევა ტოლი იქნება:

$$p = \frac{P}{F} \left(\frac{\text{კგ}}{\text{მ}^2} \right) \text{ ან } \left(\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} \right) \quad (16)$$

ზიდროსტატიკური წნევა მოცემულ წერტილში h ტოლი იქნება:

$$p = \lim \frac{\Delta p}{\Delta F} \left(\frac{\text{კგ}}{\text{მ}^2} \right) \text{ ან } \left(\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} \right). \quad (17)$$

დავუშვათ, რომ გვაქვს კუბი, რომელშიც ასხია სითხე ზედაპირითაა წონით γ (ნახ. 5). განვალაგოთ კოორდინატა ღერძები ისე, რომ x და y ღერძები სითხის ზედაპირს დაემთხვენ და z ღერძი კი მიმართული იყოს ვერტიკალურად ქვემოთკენ. ზემოდან სითხეს ზედაპირზე აწევა ატმოსფერული ჰაერი, რომლის წნევა აღენიშნოთ p_a . სითხის ის ნაწილაკები, რომლებიც ყველაზე უფრო მაღლა მდებარეობენ და სითხის ზედაპირს ჰქმნიან, მხოლოდ გარე ჰაერის წნევას განიცდიან. სითხის ის ნაწილაკები კი, რომლებიც ზედაპირის ქვემოთ მდებარეობენ, გარე ჰაერის წნევის გარდა, განიცდიან კიდევ წნევას სითხის ზემდებარე ნაწილაკების წონისაგან. რადგანაც ატმოსფერული ჰაერის წნევა მოცემულ მომენტში უცვლელია, წნევა, რომელსაც სითხის რომელიმე ელემენტი განიცდის, დამოკიდებული იქნება იმაზე, თუ რა სიღრმეზე მდებარეობს ეს ელემენტი. მაშასადამე, თუ სითხეში ჩვენ გამოვყოფთ ელემენტს პარალელეპიპედის $abcd a' b' c' d'$ სახით (ნახ. 5), მასზე შემდეგი ძალები იმოქმედებს:



ნახ. 5. სითხის ელემენტზე მოქმედ ძალები.

1) ელემენტის სიმძიმის ძალა G , რომელიც პროპორციულია ელემენტის მოცულობისა და მიმართულია ვერტიკალურად ქვემოთკენ.

2) ჰიდროსტატიკური ძალები, რომლებიც ელემენტის წახნაგებზე მოქმედებენ და მიმართული არიან ამ წახნაგების ნორმალურად: P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 და P_6 .

როგორც ცნობილია სტატიკიდან, წონასწორობისათვის საჭიროა, რომ მოქმედი ძალების კოორდინატა ღერძებზე პროექციათა ჯამი ნულს უდრიდეს. მაშასადამე:

$$x \text{ ღერძზე პროექციათა ჯამი: } P_1 - P_2 = 0,$$

$$y \text{ ღერძზე პროექციათა ჯამი: } P_3 - P_4 = 0,$$

$$z \text{ ღერძზე პროექციათა ჯამი: } P_5 - P_6 - G = 0.$$

აქედან

$$P_1 = P_2; P_3 = P_4; P_5 = P_6 + G,$$

ვინაიდან მოცემულ ელემენტს აქვს პარალელეპიპედის ფორმა, რომელშიც მოპირდაპირე წახნაგების ფართობები ტოლნი არიან, ე. ი.

$$F_1 = F_2; F_3 = F_4; F_5 = F_6,$$

ამიტომ საშუალო ჰიდროსტატიკური წნევები ვერტიკალური მოპირდაპირე
წახნაგებისათვის ტოლი იქნებიან:

$$p_1 = \frac{P_1}{F_1} = p_2 = \frac{P_2}{F_2}; \quad p_3 = \frac{P_3}{F_3} = p_4 = \frac{P_4}{F_4}$$

ჰორიზონტალური წახნაგებისათვის კი, ვინაიდან

$$P_5 = P_6 + G \text{ აქიდან კი } P_5 > P_6 \text{ და } F_5 = F_6,$$

ამიტომ

$$p_5 > p_6$$

მაშასადამე, საშუალო ჰიდროსტატიკური წნევა არ იცვლება x და y
ღერძების მიმართულებით და იცვლება მხოლოდ z ღერძის მიმართულებით.

მივიღოთ, რომ პარალელებიპედის უსასრულოდ მცირე წიბოები აქვს, ე. ი.:

$$bc = dx; \quad ab = dy; \quad ac = dz,$$

მაშინ ელემენტის მოცულობა ტოლი იქნება

$$V = dx \cdot dy \cdot dz$$

წონა კი

$$G = \gamma \cdot V = \gamma \cdot dx \cdot dy \cdot dz.$$

ელემენტის ჰორიზონტალური წახნაგების ფართობები:

$$F_5 = F_6 = dx \cdot dy,$$

ამიტომ წნევები ჰორიზონტალურ წახნაგებზე ტოლი იქნებიან:

$$P_5 = p_5 \cdot dx \cdot dy; \quad P_6 = p_6 \cdot dx \cdot dy,$$

და ვინაიდან

$$P_5 = P_6 + G,$$

ამიტომ:

$$p_5 dx \cdot dy = p_6 dx \cdot dy + \gamma dx \cdot dy \cdot dz$$

აქედან კი

$$p_5 - p_6 = \gamma dz.$$

ამ განტოლების მარცხენა მხარე გამოსახავს ჰიდროსტატიკური წნევის
ცვლილებას სიიხის ერთ ფენაში მეორესთან შედარებით, როდესაც მათ შო-
რის მანძილი არის უსასრულოდ მცირე და უდრის dz -ს. ამიტომ ჰიდროსტა-
ტიკური წნევის ცვლილებაც შეგვიძლია უსასრულო მცირედ ჩავთვალოთ და
მივიღოთ, რომ:

$$p_5 - p_6 = dp$$

და, მაშასადამე:

$$dp = \gamma \cdot dz$$

ინტეგრირების შემდეგ კი გვექნება:

$$p = \gamma \cdot z + \text{const.} \quad (18)$$

ინტეგრირების კონსტანტის გასაგებად გამოვიყენოთ ეს განტოლება (18) სითხის ზედაპირისათვის.

სითხის ზედაპირისათვის: $z=0$ და წნევა კი უდრის გარე ჰაერის წნევას, ე. ი. $p=p_a$

ამიტომ განტოლება (18) სითხის ზედაპირისათვის დაიწერება:

$$p_a = \text{const}$$

და განტოლება (18) საბოლოოდ დაიწერება

$$p = \gamma z + p_a. \quad (19)$$

თუ ქურქელი დახურულია და მასში რომელიმე სიმაღლეზე $z=z_0$ მოქმედებს გარე წნევა $p=p_0$, მაშინ ჰიდროსტატიკური წნევა ზედაპირზე ტოლი იქნება განტოლების (18) თანახმად

$$p_0 = \gamma \cdot z_0 + \text{const.} \quad (20)$$

განტოლებას (18) რომ გამოვაკლოთ განტოლება (20), მივიღებთ:

$$p - p_0 = (\gamma - \gamma_0) \gamma$$

ანუ:

$$\frac{p - p_0}{\gamma} = z - z_0; \quad (21)$$

განტოლება (21) არის ჰიდროსტატიკის ძირითადი განტოლება.

ამ განტოლების მარჯვენა მხარეს $(z - z_0)$, ცხადია, რომ სიგრძის განზომილება აქვს, რადგანაც ის წარმოადგენს სიღრმეთა სხვაობას. აგრეთვე სიგრძის განზომილება აქვს ამ განტოლების მარცხენა მხარესაც:

$$\left[\frac{p}{\gamma} \right] = \left[\frac{\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}}{\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^3}} \right] = [\text{სმ}].$$

თუ p_0 უდრის წნევას სითხის ზედაპირზე, მაშინ განტოლების (21) მარჯვენა მხარეს $(z - z_0)$, რომელიც წარმოადგენს სიღრმეთა სხვაობას შესაბამის სიმაღლეს—პიეზომეტრული სიმაღლე ეწოდება.

პასკალის კანონი:

განტოლება (21) რომ ამოვხსნათ p -ს მიმართ, მივიღებთ:

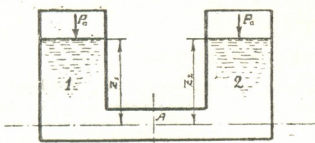
$$p = p_0 + \gamma (z_0 - z). \quad (22)$$

ეს განტოლება (22) გეიჩვენებს, რომ თუ სითხის რომელიმე წერტილში წნევა p_0 (რაიმე სიდიდით შეიცვლება წნევა (p_0) , სითხის ყველა სხვა წერტილში წნევა (p) იმავე სიდიდით შეიცვლება.

განტოლება (22) წარმოადგენს პასკალის კანონის მათემატიკურ გამოსახულებას, რომლის თანახმად წნევა, რომელიც მოქმედებს ჭურჭელში ჩასხმულ სითხეზე, თანაბრად გადაეცემა სითხეში ყველა მიმართულებით.

ეს კანონი გვაძლევს საშუალებას გავარკვიოთ სითხის წონასწორობის პირობები მრავალ შემთხვევაში. მოვიყვანოთ ზოგიერთი მათგანი.

ზიარი ჭურჭლები. ავიღოთ ორი თავლია ჭურჭელი, შეერთებული ერთიმეორესთან მილის საშუალებით და ჩავასხათ სითხე ზედადრით წონით γ (ნახ. 6).



ნახ. 6. ზიარი ჭურჭლების სქემა (ერთი სითხე).

ავიღოთ ნებისმიერი წერტილი A და მასზე გავატაროთ კოორდინატთა ღერძი. აღვნიშნოთ z_1 და z_2 ჭურჭლებში სითხის ზედაპირების კოორდინატები ამ ღერძის მიმართ. თუ A წერტილს მივაკუთვნებთ 1 ჭურჭელს, შეგვიძლია დავწეროთ განტოლების (19) თანახმად:

$$P_1 = p_0 + \gamma z_1$$

თუკი A წერტილს 2 ჭურჭელს მივაკუთვნებთ:

$$P_2 = p_0 + \gamma z_2$$

ვინაიდან სითხე წონასწორობაშია; ამიტომ:

$$P_1 = P_2$$

და, მათსადაბე:

$$p_0 + \gamma z_1 = p_0 + \gamma z_2$$

აქედან კი:

$$z_1 = z_2 \quad (23)$$

ეს ნიშნავს იმას, რომ ზიარ ჭურჭლებში ჩასხმული ერთგვაროვანი სითხე ერთსა და იმავე დონეზე დადგება.

თუ ერთს ამ ჭურჭელთაგანს (ვთქვათ, 1-ს) დაეხურათ და მასში სითხის ზედაპირზე ვიმოქმედებთ წნევით p_0 , მაშინ წონასწორობისათვის საჭირო იქნება, რომ:

$$p_0 + \gamma z_1 = p_a + \gamma z_2$$

აქედან კი

$$\frac{p_0 - p_a}{\gamma} = z_2 - z_1 \quad (24)$$

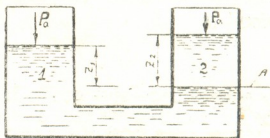
ე. ი. ამ შემთხვევაში ჭურჭლებში სითხის დონეთა სხვაობა პიეზომეტრულ სიმაღლეს უდრის.

თუკი ზიარ კუთრულებში (ორივე თავლია) ჩავახაბთ ორს სხვადასხვა, ერთმანეთში უხსნად სითხეს ხვედრითი წონით γ_1 და γ_2 , (ნახ. 7) წერტილ A ს ავიღებთ მათ მოსაზღვრე ზედაპირზე და მასზე გავავლებთ კოორდინატ-თა ღერძს,—მივიღებთ:

$p_1 = p_2 + \gamma_1 z_1$ და $p_2 = p_a + \gamma_2 z_2$
წონასწორობისათვის საჭიროა, რომ

$p_1 = p_2$ ანუ $p_a + \gamma_1 z_1 = p_a + \gamma_2 z_2$
აქედან კი:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \quad (25)$$



ნახ. 7. ზიარი კუთრულების სქემა
(ორი სითხე).

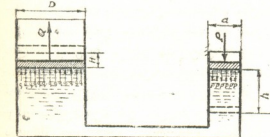
ე. ი. სითხეების დონეთა სიმაღლეები

მათ გამყოფ ზედაპირამდე უკუპროპორციული არიან მათი ხვედრითი წონებისა.

ჰიდრაულიკური მულტიპლიკატორი. ავიღოთ ორი ცილინდრი, ერთი დიამეტრით— D —(მ) და მეორე დიამეტრით— d —(მ), შევეერთოთ ისინი მილით და ჩავახაბთ მათში ერთი და იგივე სითხე. ზემოთქმულის თანახმად, სითხე ორივე ცილინდრში ერთსა და იმავე დონეზე დადგება. მოვათავსოთ ორივე ცილინდრში სათანადო ზომის დგუშები და მცირე ცილინდრის დგუშზე (ნახ. 8) ვიმოქმედოთ ძალით P —(კგ).

ეს ძალა დგუშის საშუალებით გადაეცემა სითხეს და შექმნის სითხეში ჰიდროსტატიკურ წნევას

$$p = \frac{P}{f} \left(\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} \right), \quad (26)$$



ნახ. 8. ჰიდრაულიკური მულტიპლიკატორის სქემა.

სადაც $f = \frac{\pi d^2}{4}$ (სმ²) არის მცირე ცილინდრის კვეთი.

პასკალის კანონის თანახმად ეს წნევა თანაბრად გავრცელდება მთელ სითხეში ყველა მიმართულებით და, მაშასადამე, სითხე დიდ ცილინდრში მიაწვება დგუშს ხვედრითი წნევით $q = p$. თუ დიდი ცილინდრის დგუშს დავუპირისპირებთ რაიმე სხეულს, დგუშში მიაწვება სხეულს ძალით:

$$Q = F \cdot q = F \cdot p \text{ (კგ)},$$

სადაც $F = \frac{\pi D^2}{4}$ (სმ²) არის დიდი ცილინდრის კვეთი.

ჰიდროსტატიკური წნევა დიდ ცილინდრში ტოლი გამოდის;

$$q = p = \frac{Q}{F} \quad (27)$$

განტოლებებიდან (26) და (27) გამომდინარეობს, რომ:

$$\frac{Q}{F} = \frac{P}{f} \text{ ანუ } \frac{Q}{P} = \frac{F}{f}$$

აქედან კი

$$Q = P \frac{F}{f} \text{ (კგ),} \quad (28)$$

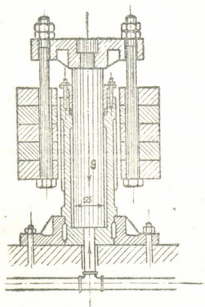
ე. ი. დიდი ცილინდრის დგუშზე შეგვიძლია მივიღოთ Q ძალა იმდენჯერ მეტი მცირე ცილინდრის დგუშზე მოქმედ P ძალაზე, რამდენჯერაც დიდი ცილინდრის კვეთი მეტია მცირე ცილინდრის კვეთზე.

შეფარდება:

$$\frac{Q}{P} = \frac{F}{f} = m \quad (29)$$

მულტიპლიკაციის კოეფიციენტი ეწოდება. ჰიდრავლიკური მულტიპლიკატორის პრინციპი გამოყენებულია ჰიდრავლიკურ წნეხებში.

ჰიდრავლიკური აკუმულატორი. ზოგიერთ წარმოებაში ფართოდაა გამოყენებული სხვადასხვა ჰიდრავლიკური მანქანები (ჰიდრავლიკური წნეხები, ჰიდრავლიკური ამწეები და სხვა), რომელთა წესიერი მუშაობისათვის საჭიროა მათი მაღალი წნევის სითხით უწყვეტი მომარაგება და წნევის სიდიდის დაცვა. ჩვეულებრივად წნევა ქსელში მერყეობს, რადგანაც მანქანები პერიოდულად მუშაობენ. არის მომენტები, როდესაც სამუშაო პერიოდები ამ მანქანებისა ერთმანეთს ემთხვევა, მაშინ ჰიდროქსელში წნევა ეცემა, ხოლო არის მომენტები, როდესაც მანქანების უქმი პერიოდები ემთხვევა ერთმანეთს, მაშინ წნევა ჰიდროქსელში საჭიროზე მეტო ხდება და შეიძლება ქსელიც დაზიანოს. ჰიდროქსელში მუდმივი წნევის დასაცავად, ხართავენ ჰიდრავლიკურ აკუმულატორს, რომელიც წნევის დაცემის დროს ანაზღაურებს მას და წნევის სიჭარბის დროს კი კარბ წნევას ინახავს. ნახ. 9-ზე მოყვანილია სქემატური



ნახ. 9. ჰიდრავლიკური აკუმულატორის სქემა.

სებობს აგრეთვე ჰაერზე მომუშავე ჰიდრავლიკური აკუმულატორი, რომელშიაც ტვირთის მაგივრად გამოყენებულია ჰაერის ცილინდრი. დგუში ქვემო ნაწილში მუშაობს სითხის ცილინდრში და ზემო ნაწილში კი ჰაერის ცილინდრში. ჰიდროქსელში წნევის სიჭარბის დროს დგუში მაღლა ამოდის და ჰაერს

კუმშავს. წნევის დაცემის დროს კი ჰერი ფართოვდება და აწევა დგამს. რომელიც ამის გამო ქვემოთ ეშვება და ადიდება წნევის ჰიდროქსელში.

სითხის წნევა ჭურჭლის ფსკერზე და კედლებზე. თუ სითხე ჩასხმულია ჭურჭელში, რომელსაც ჰორიზონტალური ფსკერი აქვს, მაშინ ჰიდროსტატიკური წნევა ფსკერის ყველა ნაწილში ერთი და იგივე იქნება. ამავე დროს ეს წნევა არ არის დამოკიდებული ჭურჭლის ფორმაზე. ჰიდროსტატიკური წნევა ჭურჭლის ფსკერზე განტოლების (22) თანახმად ტოლი იქნება:

$$p = p_0 + (\rho_0 - \gamma) \gamma$$

ამ შემთხვევაში $\rho_0 - \gamma = H$ სითხის სიმაღლეს ჭურჭელში.
ამიტომ

$$p = p_0 + \gamma H \quad (30)$$

ამ ფორმულაში:

$p - \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)$ არის წნევა ჭურჭლის ფსკერზე;

$p_0 - \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) -$ წნევა სითხის ზემო ზედაპირზე;

$H - (z) -$ სითხის სიმაღლე ჭურჭელში;

$\gamma - \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) -$ სითხის ხვედრითი წონა;

საერთო წნევა კი ჭურჭლის ფსკერზე ტოლი იქნება $P = p \cdot F$ ანუ

$$P = (p_0 + \gamma H) F \quad (31)$$

მაშასადამე, საერთო წნევა ჭურჭლის ფსკერზე არ არის დამოკიდებული ჭურჭლის ფორმასა და მოცულობაზე. ის დამოკიდებულია სითხის ხვედრით წონაზე (γ), ფსკერის ფართობზე (F), სითხის სიმაღლეზე ჭურჭელში (H) და წნევაზე სითხის ზედაპირზე (p_0); ჰიდროსტატიკური წნევა ჭურჭლის კედლებზე კი იცვლება სიმაღლის მიხედვით, ამიტომ საერთო წნევა ვერტიკალურ კედლებზე არათანაბრად ნაწილდება და განისაზღვრება ფორმულით:

$$P = (p_0 + \gamma z) F \quad (32)$$

სადაც: $z - (z)$ არის მანძილი სითხის ზემო ზედაპირიდან კედლის დასველებული ზედაპირის სიმძიმის ცენტრამდე, რაც დამოკიდებულია კედლის გეომეტრიულ ფორმაზე.

ტოლობაში (32) ბრჩილები რომ გავხსნათ, მივიღებთ:

$$P = p_0 F + F \cdot \gamma \cdot z,$$

რაც გვიჩვენებს, რომ საერთო წნევა კედელზე ორი ნაწილისაგან შედგება:

წნევა კედელზე, რომელიც გამოწვეულია სითხეზე მოქმედ გარე წნევით ($p_0 F$) და წნევა კედელზე, რომელიც გამოწვეულია სითხის სიმძიმის ძალით

($F \cdot \gamma \cdot z$). გარე წნევა (p_0) გადაეცემა სითხეში თანაბრად ყველა ელემენტის იმის დამოუკიდებლად, თუ რა სიღრმეზე მდებარეობს ეს ელემენტი. ამიტომ გარე წნევის ტოლქმედი ($p_0 F$) მოდებულია კედლის დასველებული ზედაპირის სიმძიმის ცენტრში. წნევა სითხის სიმძიმის ძალისაგან კი იცვლება სიღრმის ცვალებადობასთან ერთად: რაც უფრო ღრმად მდებარეობს სითხის ელემენტი, მით უფრო მეტ წნევას განიცდის ის სითხის სიმძიმის ძალისაგან. ამიტომ საერთო წნევა კედელზე მოდებულია მუდამ უფრო დაბლა, ვიდრე კედლის დასველებული ზედაპირის სიმძიმის ცენტრი.

§ 7. ჰ ი ღ რ ო დ ი ნ ა მ ი კ ა

სითხის ხარჯი. თუ სითხე მოძრაობს მუდმივი კვეთის მილსადენში ისე, რომ კვეთი მთლიანად გავსებულია სითხით, მაშინ სითხის მოცულობას, რომელიც დროის ერთეულში გადის მილსადენის რომელიმე კვეთში, სითხის ხარჯი ეწოდება.

ეს ხარჯი განიზომება შემდეგი ერთეულებით:

$$\frac{m^3}{წმ}; \frac{ლ}{წმ}; \frac{ლ}{წთ}.$$

სინამდვილეში სითხის მოძრაობის სიჩქარე მილსადენის კვეთში ცვალებადია: უდიდესი სიჩქარე სითხეს აქვს მილსადენის ღერძზე; მილსადენის კედლებისაკენ ის თანდათან კლებულობს და უშუალოდ კედელთან სითხის ნაწილაკების კედლებზე მიკერის გამო ნულს უდრის.

ამიტომ პრაქტიკული მიზნებისათვის ჩვენ ვღებულობთ ე. წ. საშუალო სიჩქარეს, რომელიც შემდეგნაირად უნდა გავიანგარიშოთ: თუ აღვნიშნავთ:

$$V_{\text{სშ}} = \left(\frac{m^3}{წმ} \right) \text{— სითხის ხარჯი;}$$

$$F = (m^2) \text{— მილსადენის კვეთის ფართობი;}$$

$$\omega = \left(\frac{m}{წმ} \right) \text{— სითხის მოძრაობის სიჩქარეს;}$$

მაშინ:

$$\omega = \frac{V_{\text{სშ}}}{F} \left(\frac{m}{წმ} \right)$$

აქედან

$$V_{\text{სშ}} = \omega \cdot F \left(\frac{m^3}{წმ} \right) \quad (33)$$

და

$$F = \frac{V_{\text{სშ}}}{\omega} (m^2)$$

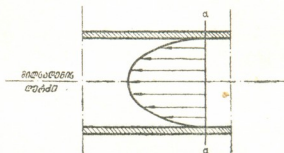
სითხის წონობრივი ხარჯი კი ტოლი იქნება:

$$G_{\text{გვ}} = \gamma \cdot V_{\text{გვ}} = \gamma \cdot \omega \cdot F \left(\frac{\partial \delta}{\partial t} \right), \quad (34)$$

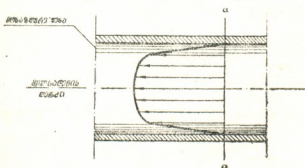
სადაც $\gamma = \left(\frac{\partial \delta}{\partial t} \right)$ არის სითხის ხვედრითი წონა.

სითხის მოძრაობის ხასიათი. ჰიდროდინამიკის ძირითადი საკითხების გადაჭრისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს სითხის მოძრაობის ხასიათს. როდესაც სითხე ნელა მოძრაობს, მისი ცალკეული ნაწილაკები მოძრაობენ სწორხაზოვნად, ჰქმნიან პარალელურ ჰაველაკებს, რომლებიც მოსახვევებში მრუდვითა წესით სისტემას შეადგენენ. ასეთ მოძრაობას ლამინარული (ჰავლოვანი) მოძრაობა ეწოდება. ზოლო, როდესაც სითხის მოძრაობა დიდი სიჩქარით ხდება, სითხის ცალკეული ნაწილაკები უწყვეტივით მოძრაობენ სხვადასხვა და სულ ცვალებადი მიმართულებით. ასეთ მოძრაობას ტურბულენტური (გრივალისებრი) მოძრაობა ეწოდება. ნახ. 10-ზე მოყვანილია სიჩქარეთა განაწილების სქემა მილსადენში ლამინარული მოძრაობის დროს.

როგორც ეს სქემა გვიჩვენებს, მოძრაობის სიჩქარე მაქსიმალურია ღერძის გასწვრივ, კედლისაკენ ის თანდათან იკლებს და უშუალოდ კედელთან ნულს აღწევს. სიჩქარეთა განაწილება მილსადენის დიამეტრზე პარაბოლის კანონით ხდება. მოძრაობის საშუალო სიჩქარე უდრის მაქსიმალური სიჩქარის ნახევარს. ტურბულენტური მოძრაობის დროს კი, სითხის ცალკეული ნაწილაკების სიჩქარე აღარ რჩება მუდმივი, ის ცვალებადია როგორც სიდიდით, ისე მიმართულებით. ეს სიჩქარე მერყეობს ერთგვარი საშუალო სიჩქარის ირგვლივ, რომელიც მილსადენის ღერძის პარალელურადაა მიმართული. ამ საშუალო სიჩქარეების განაწილების სქემა მილსადენის კვეთის დიამეტრზე ნაჩვენებია ნახ. 11-ზე.



ნახ. 10. სითხის დინების სიჩქარეთა განაწილება მილის კვეთში ლამინარული მოძრაობის დროს.



ნახ. 11. სითხის დინების სიჩქარეთა განაწილება მილის კვეთში ტურბულენტური მოძრაობის დროს.

ქარების ცვალებადობა სწორი ხაზის კანონით ხდება. მრავალმა ცდამ, ჩატარებულმა სითხის მოძრაობის რეჟიმის შესწავლისათვის, ცხადყო, რომ ლამინარუ-

ლი მოძრაობა განსაზღვრული პირობების დროს ტურბულენტურ მოძრაობად იქცევა. სითხის იმ მდგომარეობას, როდესაც ლამინარული მოძრაობა ტურბულენტურ მოძრაობად იქცევა, კრიტიკული მდგომარეობა ეწოდება და ამ მდგომარეობის დროს არსებულ სიჩქარეს კი კრიტიკული სიჩქარე. პირობებში, რომლებიც ჰქმნიან კრიტიკულ მდგომარეობას, დამოკიდებული არიან სითხის დინების საშუალო სიჩქარეზე, მილის დიამეტრზე, სითხის სიმკვრივესა და სითხის სიბლანტეზე.

აღნიშნოთ:

$$\omega - \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) - \text{სითხის მოძრაობის სიჩქარე;}$$

$$d - (m) - \text{მილის დიამეტრი;}$$

$$\rho - \left(\frac{kg \cdot m^3}{m^3} \right) - \text{სითხის სიმკვრივე;}$$

$$\mu - \left(\frac{kg \cdot m}{m^2 \cdot s} \right) - \text{სითხის სიბლანტე;}$$

რეინოლდსისა და სხვა მკვლევართა ცდების შედეგად დადგენილია, რომ როდესაც:

$$\frac{\rho \cdot d \cdot \omega}{\mu} = Re < 2320. \quad (35)$$

მოძრაობა ლამინარულია.

როდესაც კი:

$$\frac{\rho \cdot d \cdot \omega}{\mu} = Re > 2320. \quad (36)$$

მოძრაობა ტურბულენტურია.

Re -ით აღნიშნულია „რეინოლდსის კრიტერიუმი“, რაც წარმოადგენს რიცხვს, რომელსაც განზომილება არა აქვს.

მართლაც:

$$[Re] = \frac{[\rho] \cdot [d] \cdot [\omega]}{[\mu]} = \frac{kg \cdot m^3 \cdot m \cdot m}{m^3 \cdot kg \cdot m} [0]$$

მაშასადამე, კრიტიკულ მდგომარეობას ახასიათებს რეინოლდსის კრიტერიუმის სიდიდე

$$Re_{კრ} = 2320$$

კრიტიკული სიჩქარე კი ტოლი გამოდის:

$$\omega_{კრ} = \frac{2320 \cdot \mu}{\rho \cdot d} \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) \quad (37)$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი და ეკვივალენტური დიამეტრი. ზოგიერთ შემთხვევაში სითხე მოძრაობს ისეთ მილსადენში ან არხში, რომელთა კვეთებს წრიული მოხაზულობა არ აქვთ. აგრეთვე არის შემთხვევები, როდესაც სითხე მთლიანად არ ავსებს მილსადენის კვეთს. ცხადია, რომ ყველა ამ შემთხვევისათვის დიამეტრი (d) არ არსებობს, ამიტომ უნდა მივმართოთ ე. წ. ჰიდრაულიკურ რადიუსს r_3 , რომელიც წარმოადგენს მილის ან არხის სითხით გავსებული კვეთის („ცოცხალი კვეთის“) $-F(m^2)$ შეფარდებას მილის ან არხის კვეთის პერიმეტრის იმ ნაწილთან $-s$ (მ), რომელსაც სითხე ეხება („დასველებულ პერიმეტრთან“).

მაშასადამე,

$$r_3 = \frac{F}{s} \text{ (მ).} \quad (38)$$

მაგალითად, თუ მრგვალი კვეთის მილსადენში მთელი კვეთი გავსებულია სითხით, მისი ჰიდრაულიკური რადიუსი ტოლი იქნება:

$$r_3 = \frac{F}{s} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} = \frac{d}{4}$$

ანუ

$$d = 4r_3 = d_{333}. \quad (39)$$

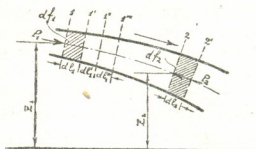
ამის საფუძველზე ჩვენ შეგვიძლია d -ს მაგივრად ვიხმაროთ მისი ტოლი სიდიდე $4r_3$. ჰიდრაულიკური რადიუსის საშუალებით გამოსახულ დიამეტრს ეკვივალენტური დიამეტრი ეწოდება.

ფორმულების (38) და (39) თანახმად შეგვიძლია ყველა შემთხვევისათვის განვსაზღვროთ ეკვივალენტური დიამეტრი შემდეგი ფორმულით:

$$d_{333} = \frac{4F}{s} \text{ (მ).} \quad (40)$$

ბერნულის განტოლება იდეალური სითხისათვის. გამოვეყნოთ დამდგარ მოძრაობაში მყოფი სითხის ნაკადში ელემენტარული ჰავლაკი (ნახ. 12). ამ ჰავლაკში გვატაროთ ორი ნორმალური კვეთი 1 და 1', ერთმანეთისაგან დაშორებულნი dl_1 მანძილით. ეს კვეთები ჰავლაკში გამოყოფენ სითხის ელემენტარულ მოცულობას dV . თუ აღვნიშნავთ ჰავლაკის ცოცხალი კვეთის ფართობს df_1 , მაშინ, ცხადია, რომ

$$dV = df_1 \cdot dl_1$$



ნახ. 12. სითხის ელემენტარული ჰავლაკის სქემა.

დავუშვათ, რომ Δt დროის განმავლობაში სითხის ელემენტარული მოცულობა dV გადაადგილდა ჰავლაკის გასწვრივ და დაიკავა მდებარეობა 2—2' კვეთებს შორის.

ამ გადაადგილების დროს სითხის ელემენტარული მოცულობა დის სიმძიმის ძალისა და აგრეთვე ჰიდრომექანიკური წნევის ძალთა მოქმედებას. ვინაიდან სითხე აღებულია იდეალური, ხახუნის ძალებს მხედველობაში არ ვიღებთ. აღვნიშნოთ $1, 1', 1''$ და 2 კვეთებში მოქმედ ჰიდრომექანიკური წნევის ძალთა ინტენსივობა შესაბამისად p_1, p_1', p_1'' და p_2 . აღვნიშნოთ აგრეთვე f_1 და f_2 კვეთების სიმძიმის ცენტრის სიმაღლე რომელიმე პირობით აღებული ჰორიზონტალურ სიბრტყიდან z_1 და z_2 -თი. მექანიკიდან ცნობილია, რომ მატერიალური ნაწილაკების სისტემის მოძრაობის დროს ცოცხალი ძალის ნამატი ამა თუ იმ დროის განმავლობაში უდრის ყველა მოქმედი ძალის მუშაობის ჯამს. ამ შემთხვევისათვის ცოცხალი ძალის ნამატს გავიგებთ შემდეგნაირად:

გამოყოფილი ელემენტარული მოცულობის dV -ს მასა ტოლია:

$$m = \rho \cdot dV = \frac{\gamma}{g} \cdot dV = \frac{\gamma}{g} df_1 \cdot dl_1$$

ვინაიდან მოძრაობა ქაელაკში უწყვეტია, ამიტომ:

$$df_1 \cdot dl_1 = df_2 \cdot dl_2 = dV = \text{const}$$

ცოცხალი ძალის ნამატი კი ტოლი იქნება:

$$\Delta \left(\frac{m \omega^2}{2} \right) = \frac{m \omega_2^2}{2} - \frac{m \omega_1^2}{2} = \frac{\gamma}{g} dV \left(\frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} \right)$$

ახლა გავიგოთ მოქმედ ძალთა მუშაობა.

dV მოცულობის წონა ტოლია:

$$dG = \gamma dV$$

სიმძიმის ძალის მუშაობა კი ტოლი იქნება:

$$dG(z_1 - z_2) = \gamma dV(z_1 - z_2)$$

ჰიდრომექანიკური წნევის ძალთა მუშაობის გასაგებად, წარმოვიდგინოთ, რომ გამოყოფილი მოცულობა dV თავის გადაადგილების დროს ჯერ დაიკავებს მდებარეობას $1-1'$ მერე მდებარეობას $1'-1''$ და ასე შემდეგ, ვიდრე არ მიაღწევს საბოლოო მდებარეობას $2-2'$.

1 მდებარეობიდან $1'$ მდებარეობაში გადასვლის დროს ჰიდრომექანიკური წნევის ძალთა მუშაობა ტოლი იქნება:

მოცულობის მარცხენა (df_1) კვეთისათვის:

$$p_1 \cdot df_1 \cdot dl_1$$

და მარჯვენა (df_1') კვეთისათვის:

$$-p_1' df_1' \cdot dl_1'$$



ნიშანი მინუსი აღებულია იმიტომ, რომ ძალა p_1 მიმართულია მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. ჰიდრომექანიკური წნევის ძალთა მუშაობის ჯამი ტოლი იქნება:

$$p_1 \cdot df_1 \cdot dl_1 - p'_1 \cdot df'_1 \cdot dl'_1$$

მოცულობის შემდგომი გადაადგილების დროს ($1'$ მდებარეობიდან $1''$ მდებარეობაში) მარცხენა (df'_1) კვეთზე იმოქმედებს წნევა p'_1 , რომელიც მიმართულია მარცხნიდან მარჯვნივ, მარჯვენა (df''_1) კვეთზე კი იმოქმედებს წნევა p''_1 , რომელიც მიმართულია მარჯვნიდან მარცხნისაკენ. ჰიდრომექანიკური წნევის ძალთა მუშაობა ამ გადაადგილების დროს ტოლი იქნება:

$$p'_1 \cdot df'_1 \cdot dl'_1 - p''_1 \cdot df''_1 \cdot dl''_1$$

p_2 ძალის მუშაობა მოცულობის უკანასკნელი გადაადგილების დროს ტოლი იქნება:

$$-p_2 \cdot df_2 \cdot dl_2$$

ჰიდრომექანიკური წნევის ძალთა მუშაობის ჯამი, ამრიგად, შეიძლება ასეთ სტრიქონებად ჩამოვწერთ:

$$\begin{aligned} & p_1 \cdot df_1 \cdot dl_1 - p'_1 \cdot df'_1 \cdot dl'_1 \\ & p'_1 \cdot df'_1 \cdot dl'_1 - p''_1 \cdot df''_1 \cdot dl''_1 \\ & \dots \dots \dots \\ & \dots \dots \dots - p_2 \cdot df_2 \cdot dl_2 \\ & \Sigma = p_1 \cdot df_1 \cdot dl_1 - p_2 \cdot df_2 \cdot dl_2 \end{aligned}$$

ყოველი სტრიქონის მეორე წევრი უდრის შემდეგი სტრიქონის პირველ წევრს შებრუნებული ნიშნით, ამიტომ ისინი შეჯამების დროს გაბათილდებიან.

მაშასადამე, ჰიდრომექანიკური წნევის ძალთა მუშაობის ჯამი გამოყოფილი მოცულობის 1 მდებარეობიდან 2 მდებარეობაში გადაადგილებისას ტოლი გამოდის:

$$p_1 \cdot df_1 \cdot dl_1 - p_2 \cdot df_2 \cdot dl_2 = dV(p_1 - p_2)$$

ოცხალი ძალის კანონის თანახმად შეგვიძლია დავწერთ:

$$\frac{\gamma}{g} dV \left(\frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} \right) = \gamma \cdot dV (z_1 - z_2) + dV(p_1 - p_2)$$

ამ განტოლების თითოეული წევრი რომ გავყოთ $\gamma \cdot dV$ -ზე (ეს კი იმას ნიშნავს, რომ განტოლება სწორი იქნება სითხის წონის ერთეულისათვის), მივიღებთ:

$$\frac{\omega_2^2}{2g} - \frac{\omega_1^2}{2g} = z_1 - z_2 + \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}, \quad (41)$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g}$$

განტოლება (42) არის ბერნულის განტოლება იდეალური სითხის წონის ერთეულისათვის ელემენტარულ ჰავლაკში.

ვინაიდან კვეთები ჰავლაკში ნებისმიერადაა აღებული, ამიტომ, ცხადია, ყოველი ორი კვეთისათვის შეიძლება დაიწეროს:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} = \text{const} \quad (43)$$

ამ განტოლებაში:

$\frac{p}{\gamma}$ არის ჰიდროსტატიკური წნევის ენერგია;

z —მდებარეობის ენერგია სითხის წონის ერთეულისათვის;

$\frac{w^2}{2g}$ —სითხის წონის ერთეულის კინეტიკური ენერგია.

მაშასადამე, ბერნულის განტოლების თანახმად: ჰიდროსტატიკური წნევის ენერგიის $\left(\frac{p}{\gamma}\right)$, მდებარეობის ენერგიისა (z) და კინეტიკური ენერგიის $\left(\frac{w^2}{2g}\right)$ ჯამი იდეალური სითხის წონის ერთეულისათვის ელემენტარულ ჰავლაკში მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს; თუ ენერგიას გამოვსახავთ სითხის სვეტის სიმაღლით, ე. ი.

$$\frac{p}{\gamma} = h_p; \quad z = h_z \quad \text{და} \quad \frac{w^2}{2g} = h_d,$$

მაშინ განტოლება (43) შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$h_{p1} + h_{z1} + h_{d1} = h_{p2} + h_{z2} + h_{d2} = \text{const}. \quad (44)$$

ბერნულის განტოლება რეალური სითხისათვის. რეალური სითხისათვის ბერნულის განტოლების გამოსაყენებლად საჭიროა დამატებით აღვრიცხოთ აგრეთვე ხახუნის ძალების მუშაობაც, რადგანაც რეალურ პირობებში ენერგიის ნაწილი იხარჯება მოძრაობის წინააღობის (ხახუნის) დასაძლევად. თუ აღვნიშნავთ h_r -თი ხახუნის ძალის მუშაობას, რომელიც მოდის მოძრავი სითხის წონის ერთეულზე, მაშინ განტოლება (41) შემდეგნაირად დაიწერება:

$$\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} = z_1 - z_2 + \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} - h_r \quad (45)$$

h_r -ს აქვს ნიშანი მინუსი, რადგანაც ხახუნის ძალის მუშაობა უარყოფითია. განტოლება (45) რომ გარდავქმნათ, მივიღებთ:

$$\bar{z}_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = \bar{z}_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} + h_e \quad (46)$$

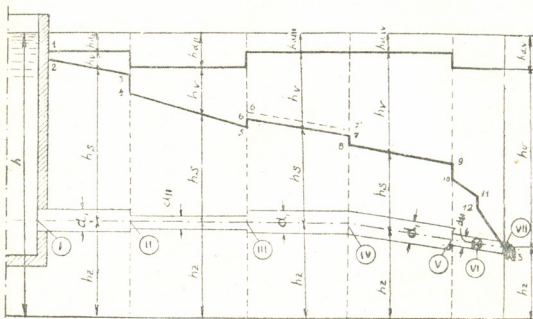
ეს არის ბერნულის განტოლება რეალური სითხისათვის.

თუ ენერგიას გამოვსახავთ სითხის სვეტის სიმაღლით განტოლება (46) შემდეგნაირად დაიწერება:

$$h_{z_1} + h_{s_1} + h_{d_1} = h_{z_2} + h_{s_2} + h_{d_2} + h_e = \text{const.} \quad (47)$$

ბერნულის განტოლების არსის გაგებას აადვილებს შემდეგი მაგალითი:

ავიღოთ რაიმე ჭურჭელი და შიგ ჩავასხათ წყალი. წყლის დონის სიმაღლე, რომელიმე პირობითი სიბრტყის ზედაპირიდან აღენიშნოთ h -ით (ნახ.13).



ნახ. 13. წნევათა განაწილების სქემა დაბრილ მილსადენში.

ჭურჭელთან შეერთებულია მილსადენი, რომელიც შედგება სხვადასხვა დიამეტრის მილებისაგან. ერთ ადგილას მილსადენს აქვს მუხლი, ხოლო მილსადენის ბოლოში დაყენებულია ონკანი. ონკანი ღიაა და წყალი მილსადენიდან გარეთ გამოდის. წარმოვიდგინოთ, რომ ჭურჭელს განუწყვეტლად ემატება წყალი იმ რაოდენობით, რაც მილსადენიდან გარეთ გამოდის. მაშასადამე, ჭურჭელში წყლის დონის სიმაღლე არ იცვლება და მუდამ h -ს უდრის.

შევადგინოთ ღიაგრამა, რომელიც გრაფიკულად გამოსახავს დანაკარგებს და წნევის ცვალებადობას მილსადენის მთელ სიგრძეზე.

ღიაგრამის ასაგებად შემდეგნაირად უნდა მოვიქცეთ:

გავატაროთ ორი პარალელური ხაზი: ერთი—ჭურჭელში წყლის დონის სიმაღლეზე და მეორე— h მანძილით ქვემოთ (ეს იქნება პირობითი სიბრტყის დონე). მილსადენში მოძრაობის დაწყებისას წყალს ექნება წნევა h . ბერნულის განტოლების თანახმად:

$$h = h_z + h_v + h_d + h_e = \text{const.}$$



ამიტომ მილის ღერძიდან რომ გადავზომოთ პირობითი სიბრტყის ღონედ გეოდეზიური სიმაღლე ანუ მდებარეობის ენერგია h_x (რომელიც ცვალებადია კვეთების მიხედვით), მივიღებთ სხვაობას $h-h_x$, რომელიც შეიცავს სამი მონაკვეთის h_x , h_d და h_e ჯამს. წნევა h_x ამ შემთხვევაში არავითარ გავლენას არ ახდენს მილსადენში წყლის მოძრაობაზე. მილსადენიდან (კვეთი VII-დან) გამომავალ წყალს ეს ენერგია თან მიაქვს, ის მას შეიცავს როგორც პოტენციურ ენერგიას. ამიტომაც იმ შემთხვევაში, როდესაც მილსადენი ჰორიზონტალურია, პირობითი სიბრტყის ღონედ მილსადენის ღერძს იღებენ და, მაშასადამე, მდებარეობის ენერგია (h_x) მთლიანად გამოითიშება ანგარიშიდან.

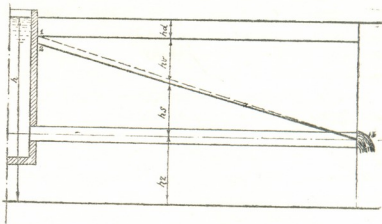
ახლა გადავზომოთ წნევა $h_x = \frac{w^2}{2g}$. ამ წნევას დინამიკური წნევა ეწოდება.

ეს არის ის ენერგია, რომელიც იხარჯება წყლის მოძრაობის სიჩქარის შექმნაზე. ვინაიდან ჩვენს მილსადენს გზადაგზა წყალი არ აკლდება, ე. ი. მილსადენის ყველა კვეთში მოძრაობს წყლის ერთი და იგივე რაოდენობა, ამიტომ მოძრაობის სიჩქარე $\left(w = \frac{4V}{\pi d^2} \right)$ დამოკიდებულია მხოლოდ მილის

დიამეტრზე: რაც უფრო ნაკლებია მილსადენის დიამეტრი (d), მით უფრო მეტი იქნება მოძრაობის სიჩქარე (w). დიაგრამაზე h_d უნდა გადავზომოთ ჭურჭელში სითხის დონის ხაზიდან ვერტიკალურად ქვემოთ. I—II უბანზე ეს იქნება ნაკვეთი h_{dI} , II—III უბანზე h_{dII} . ვინაიდან $d_I > d_{II}$ და, მაშასადამე, $w_I < w_{II}$, ამიტომ, ცხადია, $h_{dII} > h_{dI}$. III—IV და IV—V უბნებზე ერთი და იგივე დიამეტრით (d_I) ამიტომ $h_{dIII} = h_{dIV}$. V—VII უბანზე დიამეტრი ისევ შემცირდა (d_{II}) ამიტომ $h_{dI} > h_{dII}$. მაშასადამე, დინამიკური წნევის (h_d) ცვალებადობა მილსადენის სიგრძეზე გრაფიკულად გამოისახება საფეხუროვანი ტიხილი ხაზით. მონაკვეთები, რომლებიც დიაგრამაზეა მოთავსებული დინამიკური წნევის ხაზსა და მილსადენის ღერძს შორის გრაფიკულად გამოხატავენ h_x და h_e ჯამს. h_x არის სტატიკური წნევა. ის გამოხატავს იმ წნევას, რომელიც არსებობს მილსადენის ღერძზე (პიეზომეტრული სიმაღლე) h_e კი არის დაკარგული წნევა, ე. ი. ის წნევა, რომელიც დაიხარჯა მოძრაობის წინაღობათა დასაძლევად. დაკარგული წნევა h_e თანდათან მატულობს სტატიკური წნევის h_x -ის ხარჯზე. ამ ორი წნევის ცვალებადობა მილსადენის მთელ სიგრძეზე აგრეთვე უნდა ავაკოთ. პირველი დანაკარგი მილსადენში არის ადგილობრივი დანაკარგი, რომელიც გამოწვეულია იმით, რომ წყალს უხდება მილსადენში შესვლა. ვინაიდან მილსადენში შესასვლელი კვეთი გაცილებით ნაკლებია ჭურჭლის კვეთზე, ადგილი ექნება დანაკარგს. ეს დანაკარგი დიაგრამაზე აღნიშნულია მონაკვეთით 1—2. ამის შემდეგ წნევის დანაკარგი თანაბრად მატულობს. მილსადენი, რომ მთელ სიგრძეზე ერთი და იმავე დიამეტრის იყოს, არ ჰქონდეს გზადაგზა ადგილობრივი დანაკარგები და ჰორიზონტალურად მდებარეობდეს, დიაგრამა იმ სახეს მიიღებდა, რომელიც გამოსახულია ნაკ. 14-ზე.

დიაგრამიდან ჩანს, რომ ამ შემთხვევაში გეოდეზიური წნევა h_x მუდმივია მილსადენის მთელ სიგრძეზე და შეიძლება, როგორც ზემოთ ვთქვით, ის მთლიანად გამოვთიშოთ ანგარიშიდან, თუ პირობითი სიბრტყის ღონედ მი-

ვილებთ მილსადენის ღერძს. მუდმივია მილსადენის მთელ სიგრძეზე აგრეთვე დინამიკური წნევა — h_d , რადგანაც უცვლელია მილსადენის მთელ სიგრძეზე წყლის ხარჯი და მილის დიამეტრი და, მაშასადამე, წყლის მოძრაობის სიჩქარეც. ცვალებადია აქ მხოლოდ სტატიკური წნევა h_s და დაკარგული წნევა h_r . ეს ცვალებადობა დიაგრამაზე გამოიხატება ხაზით 2—13. როგორც ვხედავთ, h_s მილსადენის სიგრძის პროპორციულად მცირდება და მის ხარჯზე h_r იზრდება, მილსადენის გამოსასვლელ წერტილში 13 სტატიკური წნევა ნულად იქცევა (მთლიანად დიხარჯა



ნახ. 14. წნევათა განაწილების სქემა ჰორიზონტალურ მილსადენში.

მოძრაობის წინაღობის დასაძლევად). მილსადენის შესასვლელში რომ ადგილობრივი წინაღობა არ იყოს, წერტილი მე-2 დემონსტრაცია 1 წერტილს და 2—13 ხაზი 1—13 ხაზის მდებარეობას დაიკავებდა (დიაგრამაზე წყვეტილი ხაზით არის ნაჩვენები).

დაეუბრუნდეთ ისევ ნახ. 13-ზე მოყვანილ დიაგრამას, როგორც ვთქვეთ, მილსადენში I კვეთიდან II კვეთამდე დანაკარგი თანაბრად მატულობს, რაც დიაგრამაზე გამოსახულია მონაკვეთით 2—3. II კვეთში არის ადგილობრივი დანაკარგი, რომელიც გამოწვეულია მილსადენის კვეთის შემცირებით. ეს დანაკარგი დიაგრამაზე გამოსახულია მონაკვეთით 3—4. II—III უბანზე დანაკარგი ისევ თანაბრად მატულობს (მონაკვეთი 4—5). როგორც ამას ქვემოთ დავინახავთ, წნევის დანაკარგი დამოკიდებულია მოძრაობის სიჩქარეზე, ამიტომ 2—3 და 4—5 ხაზების დაქანება სხვადასხვაა. II—III უბანზე სიჩქარე მცირდება, ვიდრე I—II უბანზე, ამიტომ 4—5 ხაზი 2—3 ხაზზე უფრო მეტად არის დაქანებული. III—IV უბანზე დინამიკურმა წნევამ იკლო და მის ხარჯზე მოიმატა სტატიკურმა წნევამ, მაგრამ, ვინაიდან III კვეთში არის ადგილობრივი დანაკარგი (კვეთის გაფართოება) ამიტომ წერტილმა 6', წერტილ 6-ის ადგილი დაიკირა. IV კვეთში არის კიდევ ადგილობრივი დანაკარგი (მუხლი), რაც დიაგრამაზე გამოსახულია მონაკვეთით 7—8. III—IV უბანზე რომ ადგილობრივი დანაკარგები არ იყოს, ხაზი 6—7 დაიჭერდა ხაზ 6'—7'-ის ადგილს.

შემდეგი ადგილობრივი დანაკარგებია: V კვეთში დიაგრამაზე მონაკვეთი 9—10 და VI კვეთში (ონკანი) დიაგრამაზე მონაკვეთი 11—12; მილსადენის გამოსასვლელ კვეთში VII სტატიკური წნევა უკვე ამოწურულია (დიხარჯა წინააღობაზე), ე. ი. $h_s = 0$.

დაკარგული წნევის (h_r) განგარიშება. სითხეების გადაზიდვის დროს, საერთოდ, ასეთი ამოცანა წამოიჭრება: სითხის განსაზღვრული რაოდენობა დროის ერთეულში ($V_{\text{წ}}$) უნდა მივაწოდოთ ერთი ადგილიდან მეორეში. ამ



ამოცანის გადაჭრა შემდეგი თანმიმდევრობით უნდა ჩავატაროთ: თავდაპირველად უნდა შევარჩიოთ მილის ან არხის კვეთი (f) და სითხის მოძრაობის სიჩქარე (w) ისე, რომ განტოლების (33) თანახმად უზრუნველყოთ სითხის მოცემული ხარჯი ($V_{\text{გა}}$), შემდეგ უნდა გავიანგარიშოთ ის საერთო წნევა $h(\Sigma)$, რომელიც უნდა მივიანიჭოთ სითხეს მისი მოძრაობის საწყისს პუნქტში. როგორც ეს გამომდინარეობს ბერნულის განტოლებიდან და ნათლად ჩანს ზემომოყვანილი დიაგრამებიდან, ეს საერთო წნევა საჭიროა იმისათვის, რომ: 1) სითხემ გადალახოს მილსადენის თავსა და ბოლოს შორის არსებული სიმაღლეთა სხვაობა (წნევა h_z), 2) დაძლიოს გზადაგზა მოძრაობის არსებული წინაღობანი (ამაზე, დაიხარჯება სტატიკური წნევა h_s) და 3) სითხეს ჰქონდეს კიდევ ენერგია მილსადენიდან მისი ბოლო პუნქტში სითხის გამოდინების სიჩქარის შესაქმნელად (ამაზე დაიხარჯება დინამიკური წნევა h_d). მაშასადამე,

$$h = h_s + h_z + h_d. \quad (48)$$

h_s -ის გაანგარიშება ადვილია, რადგანაც ის პირდაპირ უდრის მილსადენის თავსა და ბოლოს შორის არსებულ ღონეთა სხვაობას, როგორც ვიცით, დინამიკური წნევა ტოლია:

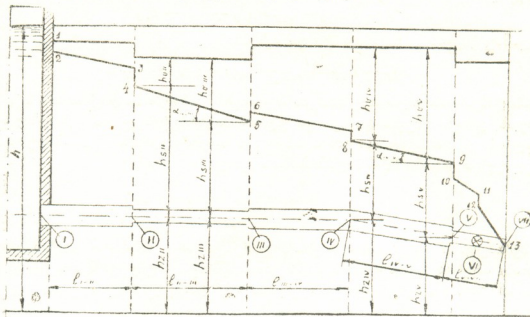
$$h_d = \frac{w^2}{2g}.$$

ვინაიდან სიჩქარე w უკვე შერჩეულია, h_d -ს გამოანგარიშებაც ადვილია. მთელი სიძნელე მდგომარეობს სტატიკური წნევის h_s -ის განსაზღვრაში. როგორც ზემოთ დავინახეთ, სტატიკური წნევა იხარჯება მოძრაობის წინაღობის დასაფარავად. მაშასადამე, ამ წნევის განსაზღვრისათვის საჭიროა წინასწარ, რაც შეიძლება ზუსტად აღვრიცხოთ ყველა ის წინაღობა, რომლებიც სითხემ უნდა გადალახოს თავისი მოძრაობის დროს. თუ h_s -ის გაანგარიშებაში შეცდომა მოგვივიდა (საჭიროზე ნაკლები მივიღეთ), სითხეს მილსადენის გამოსასვლელ კვეთში აღარ აღმოაჩნდება წნევის მარაგი იმ რაოდენობით, რომელიც საჭიროა ნაანგარიშევი სიჩქარის შესაქმნელად. სითხე გამოიძინება მილსადენიდან ნაკლები სიჩქარით და სითხის ხარჯიც გაანგარიშებულზე ნაკლები გამოვა. შეიძლება ისეთი შემთხვევაც წარმოვიდგინოთ, რომ მთელი წნევა მოძრაობის წინაღობაზე დაიხარჯოს, სითხე გამოსასვლელამდე მივიდეს და მილსადენის გარეთ სრულიად არ გამოდინდეს. ამიტომ საჭიროა განვიხილოთ სითხის მილსადენებსა და არხებში მოძრაობის პირობები.

ჰიდრავლიკური ქანობი. წნევის საერთო დანაკარგი ჰიდრავლიკურ წინაღობაზე თავისთავად არ ახასიათებს მილსადენის წინაღობას. დამახასიათებელი იქნება მხოლოდ ხვედრითი დანაკარგი, ე. ი. მილსადენის სიგრძის ერთეულზე მოსული წნევის დანაკარგის სიდიდეს, რომელსაც ჰიდრავლიკური ქანობა ეწოდება და აღინიშნება ასოთი i . წნევა იზომება სითხის სვეტის სიმაღლით, ე. ი. მეტრობით; მეტრობით იზომება აგრეთვე მილსადენის სიგრძე; ამიტომ ჰიდრავლიკური ქანობი განყენებულ რიცხვს წარმოადგენს. ჰიდრავლიკური ქანობის სიდიდის გასაგებად ავიღოთ იგივე ქურჭელ

მილსადენით, რომელიც ნაჩვენებია იყო ნახ. 13-ზე და გავიანგარიშოთ რაველიკური ქანობი ამ მილსადენის ზოგიერთი უბნისათვის (ნახ. 15).

განვიხილოთ უბანი II—III. ამ უბანზე დინამიკური წნევა $h_d = \text{const}$ (დინამიკური უცვლელია და, მაშასადამე, სიჩქარეც უცვლელია), აგრეთვე $h_s = \text{const}$ (რადგანაც მილი ჰორიზონტალურია), ამიტომ ბერნულის განტოლება II და III კვეთებისათვის შემდეგნაირად დაიწერება:



ნახ. 15. სქემა ჰიდრავლიკური ქანობის განსახლებისათვის.

$$h_{sII} + h_{dII} = h_{sIII} + h_{dIII}$$

აქედან წნევის დანაკარგი II—III უბანზე ტოლი იქნება:

$$h_{sIII} - h_{sII} = h_{dII} - h_{dIII} \quad (49)$$

მაშასადამე, ჰორიზონტალურ ცილინდრულ ერთი და იმავე დიამეტრის მილში, როდესაც სიბთხის ხარჯი მუდმივია, წნევის დანაკარგი უდრის პიეზომეტრულ სიმაღლეთა სხვაობას. ხაზს, რომელიც აერთებს პიეზომეტრულ სიმაღლეთა წერტილებს, პიეზომეტრული ხაზი ეწოდება. განხილული უბნისათვის პიეზომეტრული ხაზი იქნება 4—5. უბნის სიგრძე არის l_{II-III} , ამიტომ ჰიდრავლიკური ქანობი II—III უბნისათვის ტოლი იქნება:

$$i_{II-III} = \frac{h_{sIII} - h_{sII}}{l_{II-III}} = \frac{h_{dII} - h_{dIII}}{l_{II-III}} \quad (50)$$

როგორც დიაგრამიდან ჩანს, ამ შემთხვევაში (ე. ი. როდესაც $Q = \text{const}$, $d = \text{const}$, $\omega = \text{const}$ და $h_s = \text{const}$) ჰიდრავლიკური ქანობი უდრის პიეზომეტრული ხაზის ჰორიზონტალ დახრის კუთხის ტანგენსს, ე. ი.:

$$i_{II-III} = \lg \alpha_{II-III} \quad (51)$$

ახლა განვიხილოთ IV—V უბანი. ამ უბანზე მილი დახრილია. სითხის ხაზი მილის დიამეტრი და, მაშასადამე, მოძრაობის სიჩქარე მუდმივი არიან, ამიტომ დინამიკური წნევისა h_{dIV} მუდმივია. ვინაიდან მილი დახრილია, გეომეტრიული წნევა h_s ცვალებადია უბნის მთელ სიგრძეზე. ბერნულის განტოლება ამ უბნის თავისა (IV) და ბოლოს (V) კვეთებისათვის შემდეგნაირად დაიწერება:

$$h_{sIV} + h_{sIV} + h_{sIV} = h_{sV} + h_{eV} + h_{sV},$$

საიდანაც წნევის დანაკარგი ტოლი იქნება:

$$h_{eV} - h_{eIV} = (h_{sIV} + h_{sIV}) - (h_{sV} + h_{sV}). \quad (52)$$

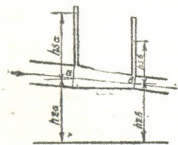
მაშასადამე, დახრილი მილისათვის მუდმივი დიამეტრისა და სითხის მუდმივი ხარჯის დროს წნევის დანაკარგი უდრის პიეზომეტრულ და გეოდეზიურ სიმაღლეთა ჯამთა სხვაობას. ვინაიდან უბნის სიგრძე უდრის l_{IV-V} , ამიტომ ჰიდრავლიკური ქანობი IV—V უბნისათვის ტოლი იქნება:

$$i_{IV-V} = \frac{(h_{sIV} + h_{sIV}) - (h_{sV} + h_{sV})}{l_{IV-V}}. \quad (52)$$

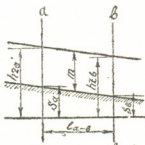
ამ შემთხვევაში l_{IV-V} არის მილის სიგრძე და არა მანძილი პიეზომეტრებს შორის, ამიტომ $i_{IV-V} = \sin \alpha_{IV-V}$. ვინაიდან α_{IV-V} უმეტეს შემთხვევაში მცირეა, ამიტომ არ იქნება დიდი შეცდომა თუ დახრილ მილისთვისაც დავუშვებთ:

$$i_{IV-V} = \tan \alpha_{IV-V}.$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც მილსადენში სითხის მოძრაობის სიჩქარე ა ცვალებადია ან სითხის ხარჯის ცვალებადობის გამო ერთსა და იმავე დიამეტრის დროს ან დიამეტრის ცვალებადობის გამო ერთი და იმავე სითხის ხარჯის დროს (ნახ. 16), მაშინ ცვალებადი იქნება დინამიკური წნევა h_d და,



ნახ. 16. სქემა მილსადენისა ცვალებადი კვეთით.



ნახ. 17. ღია კალაპოტის სქემა.

მაშასადამე, პიეზომეტრული სიმაღლის ცვალებადობა გამოწვეული იქნება არა მარტო წნევის დანაკარგით, არამედ კიდევ დინამიკური წნევის ნაწილის პიეზომეტრულ სიმაღლედ გარდაქმნითაც. პიეზომეტრული ხაზი ამ შემთხვევაში მრუდო იქნება და არა სწორი. a და b კვეთებისათვის (ნახ. 16)

წნევის დანაკარგი ტოლი იქნება:

$$h_{ab} - h_{ea} = (h_{da} + h_{sa} + h_{sa}) - (h_{db} + h_{sb} + h_{sa}). \quad (54)$$

თუ სითხე მოძრაობს ღია კალაპოტში (ნახ. 17), მაშინ სტატიკური წნევა ყველა კვეთისათვის ნულს უდრის. თუ სითხე მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით,

კვეთების სიდიდე და სითხის ხარჯიც მუდმივი არიან, მაშინ სითხის ნაკადის სიღრმეც m კალაპოტში მთელ სიგრძეზე შეგვიძლია მუდმივად მივიჩნიოთ. თუ კალაპოტის ფსკერის სიმაღლეს $a-a$ და $b-b$ კვეთებში პირობითი სიბრტყის ზედაპირზე აღვნიშნავთ შესაბამისად s_a და s_b , მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ, რომ:

$$h_{za} = m + s_a \text{ და } h_{zb} = m + s_b.$$

თუ ამ კვეთებს შორის მილის სიგრძე არის l_{a-b} , მაშინ ჰიდრავლიკური ქანობი $a-b$ უბანზე ტოლი იქნება:

$$i_{a-b} = \frac{h_{za} - h_{zb}}{l} = \frac{s_a - s_b}{l}, \quad (55)$$

სადაც $\frac{s_a - s_b}{l}$ არის კალაპოტის ფსკერის ქანობი. მაშასადამე, ამ კერძო შემთხვევაში ჰიდრავლიკურ ქანობად შეგვიძლია კალაპოტის ფსკერის ქანობი ავიღოთ.

დანაკარგების ხასიათი. როგორც გვიჩვენებს ნახ. 13-ზე მოყვანილი დიაგრამა, წნევის დანაკარგი h_r ორი ნაწილისაგან შედგება: 1) წნევის დანაკარგი, რომელიც გამოწვეულია სითხის მილსადენის კედლებზე ხახუნით. ეს დანაკარგი არსებობს მილის მთელ სიგრძეზე და ამიტომ ის მილის სიგრძის პროპორციულია. დიაგრამაზე ამ დანაკარგის ცვალებადობა გამოსახულია ხაზებით: 2—3, 4—5, 6—7, 8—9, 10—11 და 12—13. 2) ადგილობრივი დანაკარგები, რომლებიც თავს იჩენენ მხოლოდ განსაზღვრულ ადგილას და რომლებიც გამოწვეული არიან მილსადენის გეომეტრიული ფორმის შეცვლით. დიაგრამაზე წნევის ეს დანაკარგები გამოსახულია ხაზებით: 1—2, 3—4, 6—6', 7—7', 9—10 და 11—12.

მილსადენში რომ მოძრაობის წინალობანი არ არსებობდეს, მაშინ მთელი წნევა, რომელიც სითხეს აქვს მოძრაობის დაწყებისას, მთლიანად სიჩქარის შექმნას მოხმარდებოდა. ამ შემთხვევაში $h_d = h$, ვინაიდან $h_d = \frac{\omega^2}{2g}$, ამიტომ $\omega = \sqrt{2g h_d}$. აღვნიშნოთ ამ თეორიული მოძრაობის სიჩქარე ω_0 , მაშინ:

$$\omega_0 = \sqrt{2g \cdot h_d} = \sqrt{2g h}.$$

რეალურ პირობებში კი, როგორც ვიცით, საერთო h წნევის ნაწილი წინალობათა დასაძლევად იხარჯება, ამიტომ მოძრაობის ფაქტიური სიჩქარე ω ნაკლები იქნება, ვიდრე ω_0 . თუ მოძრაობის წინალობათა ჯამს აღვნიშნავთ

$$h_{v1} + h_{v2} + h_{v3} + \dots + h_{vn};$$

მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$h = h_d + h_{v1} + h_{v2} + \dots + h_{vn}.$$



მოძრაობის წინააღმდეგობა რომ არ არსებობდეს, მაშინ თითოეული ამ დანაკარგთაგანი სითხეს დამატებით სიჩქარეს შესძენდა. თუ აღნიშნავთ ამ სიჩქარეებს შესაბამისად

$$w_1, w_2, \dots, w_n,$$

მაშინ ადგილი ექნება ტოლობას:

$$w_0 = w + w_1 + w_2 + \dots + w_n.$$

ენიადან სითხე ფაქტიურად მოძრაობს სიჩქარით w , ამიტომ მასზე იხარჯება საერთო წნევის h -ის მხოლოდ ნაწილი h_d , რომელიც ტოლია

$$h_d = \frac{w^2}{2g}.$$

დანაკარგები წინააღმდეგობაზე შეგვიძლია გამოვსახოთ როგორც დინამიკური წნევის ნაწილი:

$$h_{v1} = \zeta_1 h_d = \zeta_1 \frac{w^2}{2g}$$

$$h_{v2} = \zeta_2 h_d = \zeta_2 \frac{w^2}{2g}$$

$$\dots$$

$$h_{vn} = \zeta_n h_d = \zeta_n \frac{w^2}{2g},$$

სადაც $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n$ არიან წინააღმდეგობის კოეფიციენტები, რომლებიც გვიჩვენებენ, თუ დინამიკურ წნევას რა ნაწილს აკლებს წინააღმდეგობა. ზემოთყვანილი ფორმულებიდან გამომდინარეობს, რომ:

$$\zeta_n = \frac{h_{vn}}{h_d}.$$

ცხადია, რომ კოეფიციენტები $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n$ განყენებული რიცხვები არიან. საერთო წნევა h შეგვიძლია შემდეგნაირად გამოვხატოთ:

$$h = \frac{w^2}{2g} + \zeta_1 \frac{w^2}{2g} + \zeta_2 \frac{w^2}{2g} + \dots + \zeta_n \frac{w^2}{2g}$$

ან საბოლოოდ:

$$h = \frac{w^2}{2g} \left(1 + \sum_1^n \zeta \right) \quad (56)$$

სითხის მოძრაობის ფაქტიური სიჩქარე კი ტოლი იქნება:

$$w = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \sum_1^n \zeta}} \quad (57)$$

სიმატევისათვის ჩვენ განვიხილეთ ჰორიზონტალური მილი, ამიტომ ფორმულები (50) და (57) სწორი არიან მხოლოდ ჰორიზონტალური მილისათვის. ზოგად შემთხვევაში მილსადენის თავსა და ბოლოს შორის არსებობს სიმაღლეთა სხვაობა. ამ სიმაღლის დასაძლევად, როგორც ზემოთ დავინახეთ, საჭიროა კიდევ წნევა h_z . ამიტომ ფორმულები (56) და (57) ზოგად შემთხვევისათვის შემდეგ სახეს მიიღებენ:

$$h = h_z + \frac{\omega^2}{2g} \left(1 + \sum_1^n \zeta \right) \quad (58)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{(h - h_z) 2g}{1 + \sum_1^n \zeta}} \quad (59)$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მოძრაობის წინაღობა არის ორი სახის: 1) ხახუნის წინაღობა მილის სიგრძეზე და 2) ადგილობრივი წინაღობანი. შემოמוყვანილ წინაღობათა კოეფიციენტებიდან ζ_1 -ით აღვნიშნოთ ხახუნის წინაღობის კოეფიციენტი და დანარჩენები კი ($\zeta_2, \zeta_3, \dots, \zeta_n$) გამოვიყენოთ ადგილობრივ წინაღობათა აღსანიშნავად.

ხახუნის წინაღობის კოეფიციენტის (ζ_1) განსაზღვრა. ხახუნის წინაღობა მილსადენის სიგრძეზე მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია მილსადენის სიგრძე და რაც უფრო მცირეა მილსადენის დიამეტრი. გარდა ამისა, აქ მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე მოძრაობის ხასიათს. პრაქტიკულად ხახუნის წინაღობის კოეფიციენტი შეგვიძლია შემდეგნაირად გამოვსახოთ:

$$\zeta_1 = \lambda \frac{l}{d}, \quad (60)$$

სადაც: l —(მ) არის მილსადენის საერთო სიგრძე,

d —(მ)—მილსადენის დიამეტრი,

λ —გარეშე ხახუნის კოეფიციენტი;

გარეშე ხახუნის კოეფიციენტი შეგვიძლია გამოვსახოთ, როგორც რეინოლდსის რიცხვის ფუნქცია, ე. ი.

$$\lambda = f(Re)$$

ამ ფუნქციის სახე დამოკიდებულია მოძრაობის ხასიათზე: ლამინარული მოძრაობის დროს მას ერთი სახე ექნება და ტურბულენტური მოძრაობის დროს კი სულ სხვანაირი. ლამინარული მოძრაობისათვის ფუნქცია $\lambda = f(Re)$ ადვილად ისაზღვრება თეორიულად, აღვნიშნოთ:

$$p_1 - \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \text{— წნევა მილსადენის თავში;}$$

$$p_2 - \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \text{— წნევა მილსადენის ბოლოში;}$$

d — (მ) — მილსადენის დიამეტრი;

μ — $\left(\frac{\partial \delta \cdot \nabla \delta}{\partial^2}\right)$ — სითხის სიბლანტე;

ρ — $\left(\frac{\partial \delta \cdot \nabla \delta^2}{\partial^4}\right)$ — სითხის სიმკვრივე;

l — (მ) — მილსადენის სიგრძე;

ω — $\left(\frac{\partial}{\partial \delta}\right)$ — სითხის მოძრაობის სიჩქარე.

ლაშქარული მოძრაობისათვის შეგვიძლია განოვიყენოთ ხარჯის განტოლება

$$V_{\text{გე}} = \frac{(p_1 - p_2) \pi d^4}{128 \cdot \mu \cdot l} \left(\frac{\partial^3}{\partial \delta^3}\right); \quad (61)$$

მეორე მხრივ,

$$V_{\text{გე}} = \frac{\pi d^2}{4} \omega \left(\frac{\partial^3}{\partial \delta^3}\right).$$

ამიტომ:

$$\frac{(p_1 - p_2) \pi d^4}{128 \cdot \mu \cdot l} = \frac{\pi d^2}{4} \omega,$$

აქედან კი:

$$p_1 - p_2 = \frac{32 \cdot \omega \cdot \mu \cdot l}{d^2}.$$

მაგრამ

$$p_1 - p_2 = \Delta p;$$

ამიტომ

$$\Delta p = \frac{32 \cdot \omega \cdot \mu \cdot l}{d^2}. \quad (62)$$

გავყოთ განტოლების (62) ორივე მხარე $\gamma \cdot \zeta$ -ზე, მაშინ მივიღებთ:

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{32 \cdot \omega \cdot \mu \cdot l}{d^2 \cdot \gamma}.$$

მაგრამ

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = h_{\text{რ1}} = \zeta, \frac{\omega^2}{2g}.$$

მაშასადამე,

$$\zeta_1 \frac{\omega^2}{2g} = \frac{32 \cdot \omega \cdot \mu \cdot l}{d^2 \cdot \gamma}.$$

საიდანაც

$$\zeta_1 = 64 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\mu}{d \cdot \omega} \cdot \frac{g}{\gamma} = 64 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\mu}{d \cdot \omega \cdot \rho} = 64 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{Re} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d}. \quad (62)$$

განტოლებების (60) და (62) შედარების შედეგად, მივიღებთ, რომ ლამინარული მოძრაობისათვის:

$$\lambda_{\text{ლა}} = \frac{64}{Re}. \quad (63)$$

ტურბულენტური მოძრაობისათვის, მოვლენის სირთულის გამო თეორიულად $\lambda = f(Re)$ ფუნქციის განსაზღვრა არ ხერხდება. ამ შემთხვევისათვის საერთო ფორმულა არ არსებობს და უნდა ვისარგებლოთ ემპირიული ფორმულებით, რომლებიც გამოყენებულია მრავალი მკვლევარის მიერ სხვადასხვა პირობისათვის. ეს ფორმულები მოყვანილია ჰიდრავლიკის სახელმძღვანელოებში. მოვიყვანთ ორ მათგანს. ეს ორი ფორმულა გამოსადეგია ყველა სითხისათვის.

ბოლახიუხის ფორმულა:

$$\lambda_{\text{ბოლახიუხ}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (64)$$

ეს ფორმულა იხმარება მაშინ, როდესაც $Re < 100\,000$.

ლისის ფორმულა:

$$\lambda_{\text{ლისი}} = 0,0072 + \frac{0,6104}{Re^{0,31}}.$$

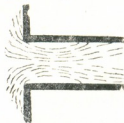
ეს ფორმულა იხმარება მაშინ, როდესაც

$$Re = 2320 \div 460\,000.$$

ადგილობრივ წინაღობათა კოეფიციენტების განსაზღვრა. ადგილობრივ წინაღობათა კოეფიციენტები მიღებულია ცდების შედეგად. მოვიყვანოთ მათი სიდიდეები ზოგიერთი უფრო ხშირად საჭირო შემთხვევისათვის.

1. მილში შესასვლელი, როდესაც შესასვლელში მილს მახვილი პირი აქვს (ნახ. 18)

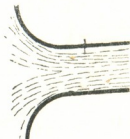
$$\zeta = 0,5. \quad (65)$$



ნახ. 18. მილში შესასვლელი მახვილი პირით.

2. მილში შესასვლელი, როდესაც მილისკენ გადასვლა მდოვრედ ხდება (ნახ. 19)

$$\zeta = 0,04 \div 0,1 \text{ საშუალო } \zeta = 0,08. \quad (66)$$

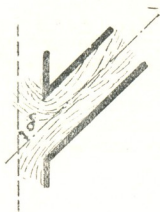


ნახ. 19. მილში შესასვლელი მდოვრი პირით.

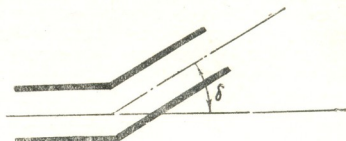
3. ცილინდრული მილი, რომელიც δ კუთხით უერთდება (ნახ. 20)

$$\zeta = 0,505 + 0,303 \sin \delta + 0,226 \sin^2 \delta.$$

(67)



ნახ. 20. მილების შეერთება
მახვილი კუთხით.



ნახ. 21. მოუმრგვალელებელი მუხლი.

4. სიჩქარის მიმართულების შეცვლა. თუ მუხლი მოუმრგვალელებელია (ნახ. 21).

$$\zeta = 0,946 \sin^2 \frac{\delta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\delta}{2}.$$

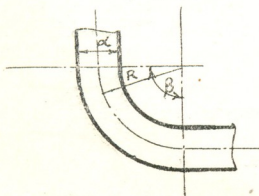
(68)

ამ ფორმულით გაანგარიშებული ζ -ს მნიშვნელობა δ კუთხის მიხედვით მოყვანილია მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 4

δ	20°	40°	60°	80°	90°	100°	120°	140°
ζ	0,046	0,139	0,364	0,74	0,985	1,26	1,861	2,431

თუ მუხლი მომრგვალელებელია (ნახ. 22) და მომრგვალელების კუთხე $\beta = 90^\circ$:



ნახ. 22. მომრგვალელებელი მუხლი.

$$\zeta = 0,131 + 1,847 \left(\frac{d}{D} \right)^{\frac{7}{4}},$$

(69)

სადაც: d —(მ) არის მილის დიამეტრი,
 D —(მ)—მომრგვალელების დიამეტრი.

ζ -ს მნიშვნელობა $\frac{d}{D}$ შეფარდების მიხედვით მოყვანილია მე-5 ცხრილში:

$\frac{d}{D}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ	1,31	0,138	0,158	0,206	0,294	0,44	0,661	0,777	1,408	0,978

თუ მილი არის სწორკუთხოვანი კვეთის, რომელსაც მომრგვალების სიბრტყეში აქვს ზომა b

$$\zeta = 0,124 + 3,104 \left(\frac{b}{D} \right)^{\frac{7}{2}}. \quad (70)$$

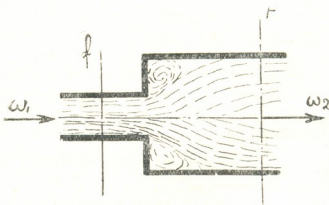
ζ -ს მნიშვნელობა $\frac{b}{D}$ შეფარდების მიხედვით მოყვანილია მე-6 ცხრილში:

ცხრილი 6

$\frac{b}{D}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ	0,124	0,135	0,18	0,25	0,348	0,643	1,015	1,546	2,271	3,228

თუ მუხლის მომრგვალების კუთხე $\beta \neq 90^\circ$ ზემომოცემული მნიშვნელობა ζ -სი უნდა გამრავლდეს შეფარდებაზე $\frac{\beta}{90^\circ}$.

ნ. სიჩქარის სიდიდის შეცვლა. ჰავლის უეცარი გაფართოება (ნახ. 23).



ნა. 23. ჰავლის უეცარი გაფართოება.

წნევის დანაკარგი ამ შემთხვევისათვის განისაზღვრება ბორდას თეორემით (დანაკარგი ჰიდრაულიკურ დარტყმაზე)

$$h_r = \frac{(w_1 - w_2)^2}{2g} = \frac{w_1^2}{2g} \left(\frac{w_1}{w_2} - 1 \right)^2. \quad (71)$$

მაგრამ, ვინაიდან:

$$V_{\text{ვგ}} = w_1 \cdot f = w_2 \cdot F$$

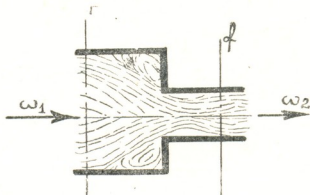
ამიტომ:

$$h_* = \left(\frac{F}{f} - 1 \right)^2 \frac{\omega_1^2}{2g}$$

და საბოლოოდ:

$$\zeta = \left(\frac{F}{f} - 1 \right)^2. \quad (72)$$

ჰავლის უეცარი შევიწროება (ნახ. 24).



ნახ. 24. ჰავლის უეცარი შევიწროება.

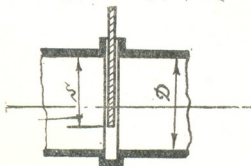
სათანადო გაანგარიშების შემთხვევებში შეგვიძლია ვისარგებლოთ მე-7 ცხრილით:

ცხრილი 7						
$\frac{f}{F}$	0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
ζ	0,5	0,5	0,42	0,33	0,25	0,15

წ. საკეტი (ნახ. 25). წინაღობის კოეფიციენტი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად ღიაა მილის კეეტი, ე. ი.

შეფარდებაზე $\frac{s}{D}$. სათანადო სიდიდე-

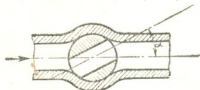
ბი მოყვანილია მე-8 ცხრილში:



ნახ. 25. საკეტი.

ცხრილი 8								
$\frac{s}{D}$	0	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$
ζ	0	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

6. ონკანი (ნახ. 26). წინაღობის კოეფიციენტი ამ შემთხვევაში დამოკიდებულია ონკანის გაღების კუთხეზე α . მისი მნიშვნელობა მოყვანილია მე-9 ცხრილში:



ნახ. 26. ონკანი.

α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°
ζ	0,05	0,29	0,75	1,56	3,1	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6	106	206	486

კოფიციენტები სხვა ადგილობრივი წინაღობებისათვის მოყვანილია სპეციალურ ლიტერატურაში.

სითხის გამოდენა ნახვრეტიდან. ხშირად საჭირო ხდება გაანგარიშება სითხის იმ როდენობისა, რომელიც გამოიღინება ჭურჭლიდან მის კედელში გაკეთებული ნახვრეტის საშუალებით. აღვნიშნოთ:

γ — $\left(\frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}\right)$ — სითხის ხვედრითი წონა;

h — (მ) — სითხის დონის სიმაღლე ჭურჭელში;

f_0 — (მ²) — ჭურჭლის ფსკერში გაკეთებული ნახვრეტის კვეთის ფართი;

ω_0 — $\left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}\right)$ — ნახვრეტიდან სითხის გამოღინების თეორიული სიჩქარე;

ω — $\left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}\right)$ — ნახვრეტიდან სითხის გამოღინების ფაქტიური სიჩქარე;

F — (მ²) — ჭურჭლის კვეთის ფართი;

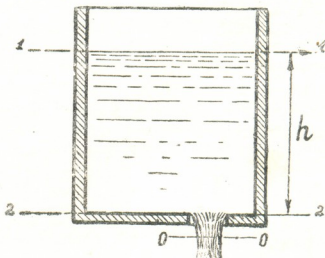
Ω — $\left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}\right)$ — ჭურჭელში სითხის დონის დაწვევის სიჩქარე;

τ — (წმ) — სითხის გამოდენის ხანგრძლიობა.

7. სითხის გამოდენა იმ შემთხვევაში, როდესაც სითხეს ჭურჭელში

მუდმივი დონე აქვს. ავიღოთ ცილინდრული ფორმის ჭურჭელი (ნახ. 27),

რომელშიაც ასხია სითხე h სიმაღლემდე, და ფსკერში აქვს ნახვრეტი, რომლიდანაც სითხე გარეთ გამოდის; დავიცვათ ამ ჭურჭელში სითხის დონე ერთსა და იმავე სიმაღლეზე h , ე. ი. ჭურჭელში განუწყვეტლად ვასხათ იმდენი სითხე, რამდენიც მისგან ნახვრეტის საშუალებით გამოიღინება. ჭურჭელი არის თავლია, ე. ი. სითხის ზედაპირი ატმოსფეროს ეხება. სითხის გამოდენაც უშუალოდ ატმოსფეროში ხდება. ნახვრეტის კვე-



ნახ. 27. სითხის გამოდენა ჭურჭლიდან მუდმივი წნევის დროს.

თი ჭურჭლის კვეთთან შედარებით მცირეა:

$$\frac{F}{f} > 20.$$



განვიხილოთ ორი კვეთი: სითხის ზედაპირზე 1 — 1 და ნახვრეტის დონეზე 2 — 2. თუ არ მივიღებთ მხედველობაში წნევის დანაკარგს გამოდენაზე, ე. ი. განვიხილავთ თეორიულ შემთხვევას, ამ კვეთებისათვის ბერნულის განტოლება შემდეგნაირად დაიწერება:

$$h + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\Omega^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\omega_0^2}{2g}. \quad (73)$$

ვინაიდან ჭურჭლის კვეთი ნახვრეტის კვეთთან შედარებით გაცილებით დიდია, შეგვიძლია მივიღოთ, რომ:

$$\Omega = 0,$$

მაშინ განტოლება (73) შემდეგნაირად დაიწერება:

$$h = \frac{\omega_0^2}{2g}$$

აქედან სითხის გამოდენის თეორიული სიჩქარე ტოლი იქნება:

$$\omega_0 = \sqrt{2gh} \quad (74)$$

ეს ფორმულა ცნობილია ტორიჩელის ფორმულის სახელით. ეს ფორმულა გვიჩვენებს, რომ სითხის გამოდენის თეორიული სიჩქარე უდრის სიჩქარეს სხეულისას, რომელიც თავისუფლად ეცემა თავისი სიმძიმის ძალის მეოხებით h სიმაღლიდან. სინამდვილეში სითხის გამოდენის სიჩქარე თეორიულზე ნაკლებია. საქმე ისაა, რომ სითხის ჭავლი ნახვრეტიდან გამოსვლისას შეეკუმშვას განიცდის. სითხის ცალკე ჭავლაკებს პარალელური მოძრაობა აქვთ მხოლოდ ამ შეკუმშულ კვეთში. ნახვრეტის დონეზე კი პარალელური მოძრაობა არის მხოლოდ ღერძის გასწვრივ, ნაპირებისკენ კი ჭავლაკებს პარალელური მოძრაობა არა აქვთ. ამიტომ ბერნულის განტოლების გამოყენება 2 — 2 კვეთისათვის არ შეიძლება. მაშასადამე, ბერნულის განტოლების გამოყენებისათვის უნდა ავიღოთ კვეთი 0 — 0 ჭავლის შეკუმშვის ადგილზე. გარდა ამისა, ნახვრეტიდან სითხის გამოდენისას გვექნება წნევის დანაკარგი ადგილობრივ წინაღობაზე. თუ ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტს აღვნიშნავთ ζ , მაშინ ბერნულის განტოლება 1 — 1 და 0 — 0 კვეთებისათვის შემდეგნაირად დაიწერება:

$$h + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\Omega^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\omega^2}{2g} + \zeta \frac{\omega^2}{2g} \quad (75)$$

თუ თეორიული შემთხვევის ანალოგიურად მივიღებთ

$$\Omega = 0,$$

მაშინ განტოლება (75) შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$h = (1 + \zeta) \frac{\omega^2}{2g}. \quad (76)$$

აქედან სიჩქარე შეკუმშულ კვეთში ანუ სითხის გამოდენის ფაქტიური სიჩქარე ტოლი იქნება:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \sqrt{2gh}, \quad (77)$$

თუ აღვნიშნავთ

$$\frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} = \varphi, \quad (78)$$

ფორმულა (77) შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\omega = \varphi \sqrt{2gh}, \quad (79)$$

კოეფიციენტს φ -ს სიჩქარის კოეფიციენტი ეწოდება.

თუ გავყოფთ განტოლებას (79) განტოლებაზე (74) ზივილებთ, რომ:

$$\varphi = \frac{\omega}{\omega_0},$$

ე. ი. სიჩქარის კოეფიციენტი არის ფაქტიურ და თეორიულ სიჩქარეთა შეფარდება, ამიტომ ის არის განყენებული რიცხვი, მუდამ ერთზე ნაკლები.

ქაელის შეკუმშული კვეთის ფართი ნაკლებია ნახერეთის კვეთის ფართზე. თუ შეკუმშული კვეთის ფართს აღვნიშნავთ $f(\varphi^2)$, მაშინ შეფარდებას

$$\frac{f}{f_0} = \alpha \quad (80)$$

შეკუმშვის კოეფიციენტი ეწოდება.

სითხის ხარჯის გასაანგარიშებლად უნდა ავიღოთ ქაელის შეკუმშული კვეთის ფართი f და არა ნახერეთის კვეთის ფართი f_0 . შეკუმშული კვეთის ფართი განტოლებიდან (80) ტოლი გამოდის:

$$f = \alpha \cdot f_0. \quad (81)$$

სითხის რაოდენობა, რომელიც გამოიდინება ჭურჭლიდან განტოლების (33) თანახმად ტოლი იქნება:

$$V_{\Sigma} = \omega \cdot f = \varphi \sqrt{2gh} \cdot \alpha \cdot f_0 = \alpha \cdot \varphi \cdot f_0 \sqrt{2gh} \left(\frac{\varphi^3}{\varphi^0} \right), \quad (82)$$

თუ აღვნიშნავთ სიჩქარის კოეფიციენტის (φ) და შეკუმშვის კოეფიციენტის (α) ნამრავლს ასოთი ψ , ე. ი.

$$\psi = \alpha \cdot \varphi, \quad (83)$$

მაშინ განტოლება (82) შემდეგნაირად დაიწერება:

$$V_{\Sigma} = \psi \cdot f_0 \sqrt{2gh} \left(\frac{\varphi^3}{\varphi^0} \right); \quad (84)$$

კოეფიციენტს ψ -ს ხარჯის კოეფიციენტი ეწოდება.

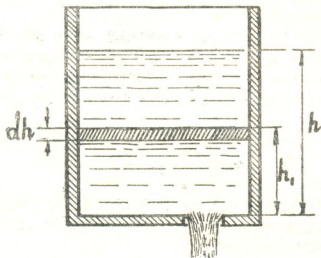
წყლისათვის, მრავალი ცდის შედეგად, დადგენილია ამ კოეფიციენტების შემდეგი მნიშვნელობანი:

$$\alpha=0,64; \varphi=0,97; \psi=0,64 \cdot 0,97=0,62;$$

ამ მნიშვნელობების საფუძველზე:

$$\zeta=\frac{1}{\varphi^2}-1=\frac{1}{0,97^2}-1=0,06.$$

სითხის გამოდენა ნახვრეტიდან იმ შემთხვევაში, როდესაც სითხის დონე ჭურჭელში ცვალებადია. ასეთი შემთხვევა გვექნება ჭურჭლის დაცლის დროს. ცხადია, რომ სითხის გამოდენასთან ერთად მისი დონე ჭურჭელში თანდათან დაიწევს, ე. ი. თანდათან შემცირდება სიმაღლე h და ამასთან ერთად შემცირდება სითხის გამოდენის სიჩქარეც ა. ა. შემთხვევისათვის საინტერესოა, თუ რამდენ ხანში დაიცლება ჭურჭელი. წარმოვიდგინოთ ჭურჭელი კვეთით F (მ²) და ვერტიკალური კედლებით, რომელშიაც ჩასხმულია სითხე h სიმაღლემდე (ნახ. 28). ჭურჭელს ფსკერში აქვს



ნახ. 28. სითხის გამოდენა ჭურჭლიდან ცვალებადი წნევის დროს.

ნახვრეტი კვეთით f_0 საიდანაც ხდება სითხის გამოდენა უშუალოდ ატმოსფეროში. გავიგოთ, რამდენ ხანში დაიწევს ჭურჭელში სითხის დონე h_1 სიმაღლემდე. დავუშვათ, რომ უსასრულოდ მცირე დროის dt განმავლობაში სითხის დონემ ჭურჭელში dh სიდიდით დაიწია ქვემოთ. ასეთ მცირე დროისათვის შეგვიძლია მივიღოთ, რომ სითხის გამოდენა ხდება უცვლელი h_1 წნევის ზემოქმედებით. მაშინ

სითხის ხარჯი ნახვრეტიდან ამ უსასრულოდ მცირე დროის განმავლობაში ტოლი იქნება:

$$dv=\psi \cdot f_0 \sqrt{2gh} \cdot dt \quad (85)$$

ამავე დროის განმავლობაში ჭურჭელს დააკლდება სითხე რაოდენობით:

$$-F \cdot dh$$

ნიშანი მინუსი აღებულია იმიტომ, რომ h მცირდება და, მაშასადამე $dh < 0$ ცხადია, რომ ადგილი უნდა ჰქონდეს ტოლობას:

$$-F \cdot dh = \psi \cdot f_0 \sqrt{2gh} \cdot dt,$$

საიდანაც:

$$dt = - \frac{F \cdot dh}{\psi \cdot f_0 \sqrt{2gh}}, \quad (86)$$

იმის გასაგებად, თუ რამდენ ხანში დაიწვეს სითხის დონე ჭურჭელში h -დან h_1 -მდე საჭიროა განტოლება (86) გავაინტეგრალოთ h ზღვრიდან h_1 ზღვრამდე. ვინაიდან ჭურჭელს ვერტიკალური კედლები აქვს, ამიტომ $F = \text{const}$ და, მაშასადამე, გვექნება:

$$\tau = - \int_{h_1}^h \frac{F \cdot dh}{\psi \cdot f_0 \sqrt{2gh}} = \frac{2F}{\psi \cdot f_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{h} - \sqrt{h_1}), \quad (87)$$

თუ მივიღებთ რომ $h_1 = 0$, ე. ი. ჭურჭელი მთლიანად იცლება, მაშინ მივიღებთ ჭურჭლის მთლიანად დაცლის ხანგრძლიობას:

$$\tau = \frac{2F\sqrt{h}}{\psi \cdot f_0 \sqrt{2g}}, \quad (88)$$

ფორმულებში (87) — (88) მიღებულია, რომ ჭურჭლის კვეთი F უცვლელია მთელ სიმაღლეზე, ე. ი. ჭურჭელს ვერტიკალური კედლები აქვს. თუ კი ჭურჭელს დახრილი კედლები აქვს და, მაშასადამე, ჭურჭლის კვეთი ცვალებადია, უნდა მივმართოთ განტოლებას (86) და ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში გამოვიყენოთ ფუნქციონალური დამოკიდებულება F -სა h -ისაგან და F -იც გავაინტეგრალოთ (იხ. ქვემოთ მაგალითები).

სითხის მოძრაობა ღია კალაპოტში. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ღია კალაპოტში მოძრაობის დროს სითხეს სტატიკური წნევა არ გააჩნია. წნევის დანაკარგები მოძრაობის წინაღობაზე განისაზღვრებიან ჰიდრაულიკური ქანობით i ; სითხის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა ხდება შემდეგი ფორმულით:

$$w = c\sqrt{R \cdot i} \left(\frac{w}{\sqrt{g}} \right), \quad (89)$$

ამ ფორმულაში R არის ჰიდრაულიკური რადიუსი, i — ჰიდრაულიკური ქანობი და c — კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე განისაზღვრება სხვადასხვა ემპირიული ფორმულით (იხ. სპეციალური ლიტერატურა).

§ 8. სითხის დინამიკის სიჩქარისა და წნევის გაზომვა

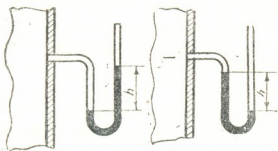
მანომეტრები და ვაკუუმეტრები. ჭურჭელში ან მილსადენში მყოფი სითხის სტატიკური წნევის გასაზომად იხმარება მანომეტრები და ვაკუუმეტრები. როდესაც წნევა ატმოსფერულ წნევაზე მეტია, ის მანომეტრით იზომება. მანომეტრი გვიჩვენებს არა აბსოლუტურ წნევას, არამედ თუ რამდენით მეტია ჭურჭელსა ან მილსადენში არსებული წნევა ატმოსფერულ წნევაზე. ამიტომ მანომეტრით ნაჩვენებ წნევას მანომეტრული წნევა ანუ ჭარბი წნევა ეწოდება. თუ წნევა განზომილია ატმოსფერობით ის აღინიშნება „ატმ“.

აბსოლუტური წნევის გასაგებად მანომეტრის ჩვენებას უნდა მივუმატოთ ერთი ატმოსფერო. უფრო ზუსტად რომ ვიანგარიშოთ, მანომეტრის ჩვენებას უნდა მივუმატოთ ბარომეტრის ჩვენება. აბსოლუტური წნევა, ატმოსფერო-

ბით განზომილი აღინიშნება „ატა“. როდესაც წნევა მილსადენში ან კელში ატმოსფერულ წნევაზე ნაკლებია, ე. ი. არის გაუხშოება ანუ ვაკუუმში მდებარე წნევა ვაკუუმეტრით იზომება. ვაკუუმეტრიც გვიჩვენებს არა აბსოლუტურ წნევას, არამედ სხვაობას ატმოსფერულ წნევასა და კურკელში ან მილსადენში არსებულ წნევას შორის. აბსოლუტური წნევის გასაგებად ამ შემთხვევაში ვაკუუმეტრის ჩვენება უნდა გამოვაკლოთ ერთ ატმოსფეროს. უფრო ზუსტი ანგარიშისათვის, ვაკუუმეტრის ჩვენება ბარომეტრის ჩვენებას უნდა გამოვაკლოთ.

მანომეტრები და ვაკუუმეტრები შეიძლება იყოს სითხიანი და ზამბარიანი.

სითხიანი მანომეტრები და ვაკუუმეტრები. სითხიანი მანომეტრები და ვაკუუმეტრები შემდეგნაირადაა მოწყობილი: *U*-სებრი ფორმის მილში ჩასხმულია სითხე განსაზღვრული ხვედრითი წონით. ორივე ბოლო ამ მილისა ღიაა. მილის ერთი ბოლო შეერთებულია მილსადენთან ან კურკელთან, სადაც უნდა გაიზომოს ჰიდროსტატიკური წნევა. თუ კურკელში ან მილსადენში კარბი წნევაა, მაშინ ეს წნევა დასწევს სითხის დონეს *U*-სებრი მილის მარცხენა



ნახ. 29. სითხიანი მანომეტრი.

ნახ. 30. სითხიანი ვაკუუმეტრი.

ტოტში და, ასწევს სითხის დონეს მარჯვენა ტოტში (ნახ. 29). ეს იქნება სითხიანი მანომეტრი. თუ კურკელში ან მილსადენში არის გაუხშოება (ვაკუუმში), მაშინ—პირიქით: სითხის დონე *U*-სებრი მილის მარჯვენა ტოტში დაიწვევა და მარცხენაში კი აიწვევა (ნახ. 30). ეს იქნება სითხიანი ვაკუუმეტრი. სითხის დონეთა სხვაობა *U*-სებრი მილის ტოტებში არის ხელსაწყოს მარვენებელი.

აღნიშნოთ: h —(მ)—სითხის დონეთა სხვაობა *U*-სებრი მილის ტოტებში;

γ — $\left(\frac{\text{კგ}}{\text{გ}^2}\right)$ —სითხის ხვედრითი წონა;

p_0 — $\left(\frac{\text{კგ}}{\text{გ}^2}\right)$ —წნევა მილსადენში ან კურკელში;

p_a — $\left(\frac{\text{კგ}}{\text{გ}^2}\right)$ —ატმოსფეროს წნევა;

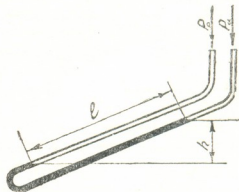
§ 6-ის თანახმად:

$$h = \frac{p_0 - p_a}{\gamma},$$

სადაც h არის სითხის სვეტის სიმაღლე მეტრობით და, მაშასადამე, განზომილი წნევა ტოლია:

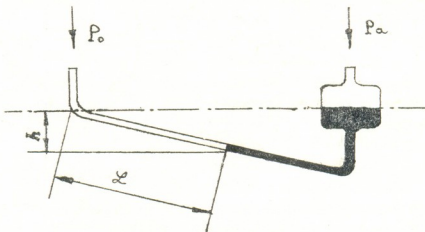
$$p_0 = h \gamma + p_a \left(\frac{\text{კგ}}{\text{გ}^2} \right). \quad (90)$$

ამ განტოლებიდან ჩანს, რომ თუ მანომეტრში ჩასხმულ სითხეს მცირე ხვედრითი წონა აქვს, ჭურჭელში ან მილსადენში წნევის სულ მცირე ცვლილება გამოიწვევს h სიმაღლის დიდ ცვლილებას. ამიტომ მცირე წნევების გასაზომად იხმარება სწორედ ისეთი სითხეები, რომლებსაც მცირე ხვედრითი წონა აქვთ: სპირტი ნავთი და წყალი. იმ წნევებისათვის, რომელთა სიდიდე ერთ ატმოსფეროს უახლოვდებიან, ვერცხლისწყალი იხმარება. თუ მანომეტრში ჩასხმულია იგივე სითხე, რაც ჭურჭელსა ან მილსადენშია, ასეთ მანომეტრს პიეზომეტრი ეწოდება. როდესაც გასაზომი წნევა ძალიან მცირეა, იხმარება სითხიანი ისეთი მანომეტრები, რომლებშიც U -სებრი მილი დახრილად დგას (ნახ. 31). სითხის სიმაღლე, ე. ი. მანომეტრის ჩვენება არის h , დანაყოფები კი აღნიშნულია დახრილ ხაზზე l , რომელიც უფრო გრძელია h -ზე. ამიტომ h -ის ცვალებადობა l ხაზზე გადიდებული გამოიხატება, რაც აადვილებს წნევის უფრო ზუსტად გაზომვას. ანალოგიურად მოწყობილია ვაკუუმეტრიც (ნახ. 32).



ნახ. 31. სითხიანი დახრილი მანომეტრი.

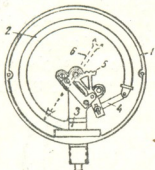
როდესაც გასაზომი წნევა 1 ატმოსფეროზე მეტია, მაშინ სითხიანი მანომეტრის ხმარება უხერხული ხდება, რადგანაც ვერცხლისწყალიც რომ ვიხმაროთ, მანომეტრისათვის დაგჭირდება მილი დაახლოებით 1 მ სიმაღლისა და თუ წყალი ვიხმარეთ მილის სიმაღლე 10 მეტრზე მეტი გამოვა. ამიტომ დიდი წნევების გასაზომად ზამბარიანი მანომეტრები იხმარება.



ნახ. 32. სითხიანი დახრილი ვაკუუმეტრი.

ზამბარიანი მანომეტრები. ზამბარიანი მანომეტრებში წნევის გაზომვა ხდება მიღივანი ზამბარის ან დრეკადი მემბრანის საშუალებით, რომლებიც თავის სიმრუდეს იცვლიან მათზე მოქმედი წნევის პროპორციულად (განსახილვერულ ფარგლებში). ზამბარიანი მანომეტრის (ნახ. 33) ძირითად ნაწილს წარ-

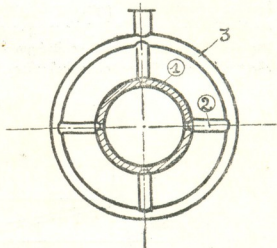
მოადგენს მანომეტრის კორპუსში (1) მოთავსებული წრიულად მოლაშქრული მილოვანი ზამბარა (2). ზამბარას ოვალური კვეთი აქვს და დამზადებულია დრეკადი მასალისაგან. ამ ზამბარის ერთი ბოლო ღიაა და მეორე კი დახშული, ღია ბოლო დამაგრებულია უძრავად მილზე (3), რომელიც შეერთებულია ქურჭელთან ან მილსადენთან.



ნახ. 33. ზამბარიანი მანომეტრი.

პიეზომეტრული რგოლები. როდესაც მილსადენში სტატიკური წნევა ძალიან მცირედ იცვლება, მაშინ მისი ზუსტად გაზომვისათვის (ნახ. 34) მილსადენს (1) გარშემო უკეთდება რამდენიმე ნახვრეტი (2). ყველა ეს ნახვრეტი შეერთებულია რგოლოვანი მილით (3), რომელიც მანომეტრს უერთდება. ამ მოწყობილობას პიეზომეტრული რგოლი ეწოდება.

როგორც ვიცით, მილსადენში სითხის ან გაზის მოძრაობის დროს ყოველ კვეთში ორი სახის წნევაა: სტატიკური და დინამიკური. საერთო წნევა კი უდრის მათ ალგებრულ ჯამს. ჩვეულებრივ მანომეტრს შეუძლია გვიჩვენოს ან საერთო წნევა ან სტატიკური წნევა იმისა და მიხედვით, თუ სად არის მოთავსებული მანომეტრის მიმღები მილი: თუ მიმღები მილი უშუალოდ შეერთებულია მილსადენთან ისე, რომ მიმღები კვეთი კედლის პირისპირ თავსდება, მაშინ მანომეტრი გვიჩვენებს იმ შინაგან წნევას, რომელიც მოქმედებს სითხის



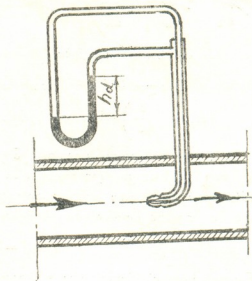
ნახ. 34. პიეზომეტრული რგოლი.

ან გაზის მხრიდან მილსადენის კედლებზე, ე. ი. გვიჩვენებს სტატიკურ წნევას. თუ მანომეტრის მილი დაყენებულია ისე, რომ მისი მიმღები კვეთი პერპენდიკულარულია მოძრაი სითხის ან გაზის ნაკადისა, მაშინ მანომეტრი გვიჩვენებს წნევას, რომელიც შეესაბამება სითხის ან გაზის მთელ ენერგიას, ე. ი. გვიჩვენებს სრულ წნევას. უშუალოდ დინამიკური წნევის გაზომვა არ ხერხდება. ამიტომ დინამიკური წნევა განისაზღვრება როგორც სრული წნევისა და სტატიკური წნევის სხვაობა. სრული წნევა და სტატიკური წნევა შეიძლება ერთდროულად განიზომოს ერთი მანომეტრის საშუალებით, როდესაც ორი მუხლი აქვს. ერთი მათგანი ზომავს სრულ წნევას, მეორე კი სტატიკურ

წნევის. ასეთ მანომეტრს დიფერენციული მანომეტრი ეწოდება. დიფერენციული მანომეტრი გამოყენებულია მრავალ საზომ იარაღში (ნახ. ნახ. 35, 36, 38 და 39).

პიტოს მილი. ერთ-ერთ ასეთ იარაღს პიტოს მილი წარმოადგენს (ნახ. 35).

პიტოს მილი ორი კონცენტრული მილია, რომლებიც მოღუნული არიან სწორი კუთხით. ეს მილები შეერთებულია დიფერენციულ მანომეტრთან. შინაგანი მილის მიმღები კვეთი პერპენდიკულარულია სითხის ან გაზის მოძრაე ნაკადისა, გარე მილს კი ზედაპირზე აქვს ნახვრეტები. ამიტომ შინაგან მილში სუფევს საერთო წნევა და გარე მილში კი სტატიკური წნევა. ცხადია, რომ მანომეტრის ერთი მუხლში ნაჩვენები იქნება სტატიკური წნევა, მეორეში კი — სრული წნევა. ხოლო მათი სხვაობა ტოლი იქნება h_d დინამიკური წნევისა. უფრო ზუსტ შედეგს იძლევა პიტოს მილი, როდესაც

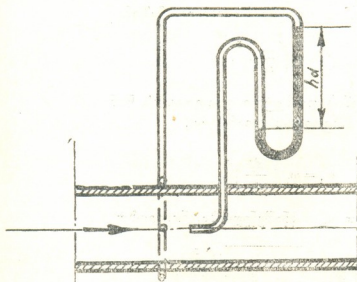


ნახ. 35. პიტოს მილი.

სტატიკური წნევის გაზომვა ხდება პიეზომეტრული რგოლის საშუალებით. პიტოს მილის ასეთი კონსტრუქცია მოყვანილია ნახ. 36-ზე.

პიტოს მილის ჩვენების საფუძველზე შეგვიძლია გავიგოთ სითხის ან გაზის მოძრაობის სიჩქარე:

$$w = V \sqrt{2gh_d} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right).$$



ნახ. 36. პიტოს მილი პიეზომეტრული რგოლით.

დიაფრაგმები. სითხის ან გაზის მოძრაობის სიჩქარის გაზომვა შეიძლება აგრეთვე დიაფრაგმის საშუალებით. დიაფრაგმა შემდეგ პრინციპზე მუშაობს: მოძრავე სითხის ან გაზის ნაკადში გარდვიარდმო იდგმება ფირფიტა, რომელსაც განსაზღვრული ზომის ნახვრეტი აქვს (ნახ. 37).

ვინაიდან დიაფრაგმის ნახვრეტის გავლისას ნაკადი უეცრად იკუმშება, დიაფრაგმის წინ სიჩქარე იზრდება, რის გამოც კლებულობს სტატიკური წნე-

ვა და მისი ნაწილი უშუალოდ დიაფრაგმის შემდეგ დინამიკურ წნევაზე
ცევა. სტატიკური წნევის შემცირება ამ შემთხვევაში განისაზღვრება შემდე-
გი ფორმულით:



$$h = \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2g \cdot \varphi^2}, \quad (91)$$

ნახ. 37. დიაფრაგმები.

სადაც: $\omega_1 = \left(\frac{\pi}{\sqrt{m}} \right)$ არის სითხის სა-

შუალო სიჩქარე დიაფრაგმის წინ;

$\omega_2 = \left(\frac{\pi}{\sqrt{m}} \right)$ — სითხის საშუალო სიჩქარე დიაფრაგმაში გავლის დროს;

φ — სიჩქარის კოეფიციენტი.

თუ გავზომავთ დიაფრაგმაში სტატიკური წნევის დაკლებას, სითხის მოძრაობის სიჩქარეს შემდეგნაირად გავიგებთ: განტოლებიდან (91) დიაფრაგმაში სითხის მოძრაობის სიჩქარე განისაზღვრება:

$$\omega_2^2 = 2gh \varphi^2 + \omega_1^2, \quad (92)$$

ვინაიდან სითხის მოძრაობა უწყვეტია ამიტომ:

$$\omega_2 f_2 = \omega_1 f_1$$

აქედან:

$$\omega_1 = \omega_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right),$$

თუ მილსადენისა და დიაფრაგმის კვეთები მრგვალია, მაშინ:

$$\frac{f_2}{f_1} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2,$$

სადაც: d_1 — (მ) არის მილსადენის დიამეტრი დიაფრაგმის წინ;

d_2 — (მ) — დიაფრაგმის ნახვრეტის დიამეტრი,
და, მაშასადამე:

$$\omega_1 = \omega_2 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2,$$

ფორმულაში (92) რომ ჩავსვათ ω_1 -ს მნიშვნელობა, მივიღებთ:

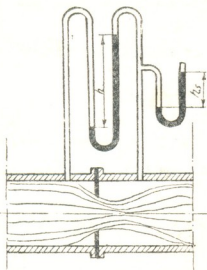
$$\omega_2 = \varphi \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4}} \left(\frac{\pi}{\sqrt{m}} \right), \quad (93)$$

კოეფიციენტი φ უნდა განისაზღვროს ცდის შედეგად. საერთოდ კი კოეფიციენტი φ -ს მნიშვნელობა დიაფრაგმის კონსტრუქციის მიხედვით მერყეობს 0,6 ÷ 0,62. პრაქტიკულად დიაფრაგმის ნახვრეტის დიამეტრს მილსადენის

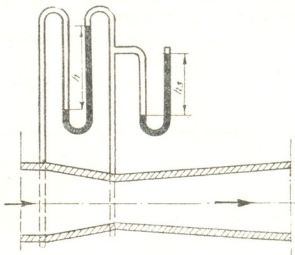
დიამეტრზე ხუთჯერ ნაკლებს იღებენ. ამ პირობებში სიჩქარე w_1 25-ჯერ ნაკლები იქნება, ვიდრე სიჩქარე w_2 . ამიტომ სიჩქარე w_1 შეგვიძლია მხედველობაში არ მივიღოთ. მაშინ (თუ $w_1 = 0$) განტოლება (92) შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$w_2 = \varphi \sqrt{2gh} \left(\frac{m}{\sqrt{m}} \right), \quad (94)$$

დიაფრაგმაში სტატიკური წნევის დაკლების გაზომვა ხდება დიფერენციული მანომეტრის საშუალებით, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 38-ზე.



ნახ. 38. დიფერენციული მანომეტრის დაყენება დიაფრაგმასთან.



ნახ. 39. დიფერენციული მანომეტრის დაყენება ვენტურის წყალსაზომთან.

h_2 არის სტატიკური წნევა მილსადენში დიაფრაგმის შემდეგ, h —კი არის სტატიკური წნევის დაკლება ანუ დინამიკური წნევის მომატება. h -ის მნიშვნელობა უნდა ჩავსვათ ფორმულებში (93) ან (94) და გავიგებთ w_2 . სითხის ხარჯი კი მილსადენში ტოლი იქნება:

$$V_{\text{ვ}} = f_2 w_2 \left(\frac{m^3}{\text{წმ}} \right). \quad (95)$$

ვენტურის წყალსაზომი. ვენტურის წყალსაზომის სქემა მოყვანილია ნახ. 39-ზე. ამ წყალსაზომში დიაფრაგმის მაგივრად მილსადენში ჩართულია ორი კონუსური მილის ნაკვეთი. აქაც დიფერენციული მანომეტრის საშუალებით იზომება h —სტატიკური წნევის დაკლება ანუ დინამიკური წნევის მომატება.

ფორმულებში (93) ან (94) ჩავსვამთ h -ის მნიშვნელობას და გავიგებთ w_2 —სითხის მოძრაობის სიჩქარეს უვიწროვს კვეთში და მის მიხედვით ფორმულის (95) საშუალებით განვსაზღვრავთ სითხის ხარჯს მილსადენში. კოეფიციენტი φ ვენტურის წყალსაზომისათვის მერყეობს $0,97 \div 0,98$.

§ 9. მ ა გ ა ლ ი თ ე ბ ი

მაგალითი 9. თავლია კურქელში ასხია წყალი 1,5 მ სიმაღლემდე. რა წნევას განიცდის კურქელის ფსკერის ფართის ერთეული?

ამოხსნა: განტოლების (30) თანახმად ეს წნევა ტოლი იქნება:

$$p = p_0 + \gamma h = 1 + 0,001 \cdot 1,5 \cdot 100 = 1,15 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}$$

სადაც: $\gamma = 0,001 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^3}$ არის წყლის ხვედრითი წონა.

მაგალითი 10. დახშულ ჭურჭელში ჩასხმულია წყალი 1,5 მ სიმაღლემდე. წყლის ზედაპირზე მოქმედებს წნევა 2 ატმ. რა წნევას განიცდის ჭურჭლის ფსკერის ფართის ერთეული?

ამოხსნა: განტოლების (30) თანახმად ეს წნევა ტოლი იქნება:

$$p = 2 + 0,001 \cdot 1,5 \cdot 100 = 2,15 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}$$

მაგალითი 11. თავლია კოდში, რომლის ფსკერის ფართი $F = 1,75 \text{ მ}^2$, ასხია ღვინის ტკბილი ($\gamma = 1,08 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^3}$) 2,5 მ. სიმაღლემდე. რა წნევას განიცდის კოდის ფსკერი?

ამოხსნა: 1. წნევა ფსკერის ფართის ერთეულზე განტოლების (30) თანახმად შეადგენს:

$$p = 1 + 1,08 \cdot 0,001 \cdot 2,5 \cdot 100 = 1,27 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}$$

2. მთელ ფსკერზე მოქმედი ძალა ტოლი იქნება:

$$P = p \cdot F = 1,27 \cdot 1,75 \cdot 10\,000 = 22\,225 \text{ კგ.}$$

თუ ჩვენ გვაინტერესებს მხოლოდ ჰარბი წნევით გამოწვეული ფსკერზე მოქმედი საერთო ძალა, მაშინ იგი შეიძლება გავიგოთ უშუალოდ:

$$P_1 = \gamma \cdot h \cdot F = 1,08 \cdot 1000\,000 \cdot 0,001 \cdot 2,5 \cdot 1,75 = 4725 \text{ კგ.}$$

მაგალითი 12. ჭურჭლის ჰორიზონტალურ ფსკერში გაცემებულია ნახვრეტი ფართით $f = 2,5 \text{ სმ}^2$. წყალი ჭურჭელში დგას 1,5 მ სიმაღლეზე. ნახვრეტი გადახურულია ბრტყელი საკეტით. რა ძალა არის საჭირო საკეტის გამოსაწევად, თუ ხახუნის კოეფიციენტი უდრის 0,15?

ამოხსნა: 1. სითხის წნევა საკეტზე შეადგენს:

$$P = \gamma \cdot h \cdot f = 1000 \cdot 1,5 \cdot 2,5 \cdot 0,0001 = 0,375 \text{ კგ.}$$

2. ძალა, რომელიც საჭიროა საკეტის გამოსაწევად:

$$T = f \cdot P = 0,15 \cdot 0,375 \approx 0,188 \text{ კგ.}$$

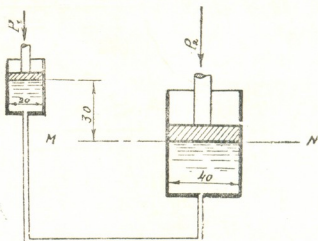
მაგალითი 13. ორი ვერტიკალური ცილინდრი დიამეტრებით $d = 20 \text{ სმ}$ და $D = 40 \text{ სმ}$ (ნახ. 40) შეერთებულია მილით. ცილინდრებში მოთავსებულია

დგუშები. მცირე ცილინდრის დგუში დატვირთულია ძალით $P_1 = 80$ კგ, ამავე დროს 30 სმ უფრო მაღლა დგას, ვიდრე დიდი ცილინდრის დგუში. რა ტვირთი უნდა დაედაოთ დიდ დგუშს, რომ დგუშები წონასწორობაში იყვნენ? (ხახუნს მხედველობაში არ ვღებულობთ).

ამოხსნა: დიდ დგუშზე უნდა იმოქმედოს ძალამ P_2 . დგუშის ფართის ერთეულზე მოდის წნევა ამ ძალისაგან:

$$\frac{P_2}{\pi D^2} = \frac{P_2}{1256} \left(\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} \right),$$

ქვემოდან დიდ დგუშს აწევა წყალი. წყლის წნევა, რომელიც მოდის დგუშის ფართის ერთეულზე, ორი ნაწილისაგან შედგება:



ნახ. 40. სქემა მაგ. № 13-სათვის.

ა) წნევა P_1 ძალისაგან, რომელიც ტოლია: $\frac{P_1}{\pi d^2}$,

ბ) წნევა წყლის სვეტისა სიმაღლის 30 სმ, რომელიც ტოლია: γh მაშასადამე, დიდი დგუშის ფართის ერთეულზე მოდის წნევა ქვემოდან:

$$\frac{P_1}{\pi d^2} + \gamma h = \frac{80}{\frac{3,14 \cdot 20^2}{4}} + 0,001 \cdot 30 = 0,255 + 0,03 = 0,285 \left(\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} \right)$$

წონასწორობისათვის საჭიროა რომ, წნევა, რომელიც მოქმედებს დიდი დგუშის ფართის ერთეულზე ქვემოდან, უდრიდეს წნევას, რომელიც მოდის დიდ დგუშის ფართის ერთეულზე ზემოდან, ე. ი.

$$\frac{P_2}{1256} = 0,285 \text{ აქედან კი } P_2 = 0,285 \cdot 1256 = 358 \text{ კგ.}$$

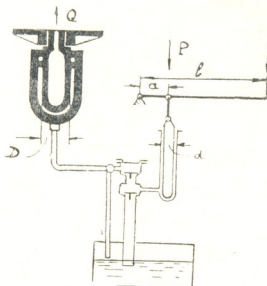
მაგალითი 14. განვსაზღვროთ ნახ. 41-ზე მოყვანილი ჰიდრაულიკური წნეხის დამწნეხი ძალა Q , თუ $a = 0,1$ მ; $l = 1$ მ; $D = 0,4$ მ; $d = 2$ სმ და $T = 25$ კგ (ერთი მუშის ძალა).

ამოხსნა: 1. ძალა, რომელიც ტუმბოს ბერკეტიდან სითხეს გადაეცემა ტოლი იქნება:

$$P = T \cdot \frac{l}{a} = 25 \cdot \frac{1}{0,1} = 250 \text{ კგ.}$$

2. ჰიდროსტატიკური წნევა, რომელსაც გადასცემს სითხეს პლუნჯერი ტოლი იქნება:

$$p = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{250}{\frac{3,14 \cdot 2^2}{4}} \approx 80 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}.$$



ნახ. 41. სქემა მაგ. № 14-სათვის.

3. დამწნეხი ძალა, რომელსაც განავითარებს წნეხის პლუნჯერი, ტოლი იქნება;

$$Q = p \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 80 \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \approx 100\,000 \text{ კგ.}$$

სინამდვილეში დამწნეხი ძალა ხახუნზე, დანაკარგების გამო, გაანგარიშებულზე ნაკლები იქნება. თუ ვივარაუდებთ ამ დანაკარგებს — 20%, ფაქტიური დამწნეხი ძალა ტოლი გამოვა:

$$Q_{\text{ფ}} = (1 - 0,2) 100\,000 = 80\,000 \text{ კგ.}$$

მაგალითი 15. მილსადენიდან დიამეტრით 2" 1 საათში გამოდის 8000 კგ ლენის ტკბილი ($\gamma = 1,08 \frac{\text{კგ}}{\text{ლ}}$).

გავიგოთ მისი მოძრაობის სიჩქარე.

ამოხსნა: განტოლების (34) თანახმად:

$$G_{\text{გ}} = \gamma \cdot \omega \cdot F \left(\frac{\text{კგ}}{\text{წმ}^2} \right),$$

აქედან მოძრაობის სიჩქარე ტოლია

$$\omega = \frac{G_{\text{გ}}}{\gamma \cdot F} = \frac{8000}{3600 \cdot 1080 \cdot 0,00196} \approx 1,05 \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \right),$$

სადაც მილის კვეთის ფართი

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 (2'')^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ მ}^2.$$

მაგალითი 16. რას უნდა უდრიდეს მილსადენის დიამეტრი, თუ მასში გასატარებელია 3 საათის განმავლობაში ტკბილი რაოდენობით 12 000 დკლ. სიჩქარით $0,5 \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \right)$?

ამოხსნა: 1. სითხის წამობრივი ხარჯი მილსადენში შეადგენს:

$$V_{\text{ვ}} = \frac{12000}{100 \cdot 3.3600} = 0,0111 \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} \right).$$

2. განტოლების (33) თანახმად:

$$V_{\text{ვ}} = \omega \cdot F;$$

აქედან

$$F = \frac{V_{\text{ვ}}}{\omega} = \frac{0,0111}{0,5} = 0,0222 \text{ მ}^2$$

მილსადენის დიამეტრი ტოლი უნდა იყოს:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0222}{3,14}} = 0,168 \text{ მ} = 168 \text{ მმ}.$$

OCT-ის მიხედვით უახლოესი $6'' \approx 150 \text{ მმ} = 0,15 \text{ მ}$ ზომის მილი არის დიამეტრით, რომლისთვისაც კვეთი $F = 0,0176 \text{ მ}^2$, ამიტომ ტკბილის მოძრაობის ფაქტიური სიჩქარე ტოლი იქნება: $\omega_{\text{ფ}} = \frac{0,0111}{0,0176} = 0,63 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}.$

მაგალითი 17. რამდენ ტკბილს $\left(\gamma = 1,08 \frac{\text{კგ}}{\text{ლ}} \right)$ გაატარებს ერთ საათში მილსადენი დიამეტრით $4''$, თუ ტკბილის მოძრაობის სიჩქარე მასში შეადგენს $1,2 \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \right)$?

ამოხსნა: განტოლების (33) თანახმად სითხის ხარჯი წამში შეადგენს:

$$V_{\text{ვ}} = F \cdot \omega = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \omega = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 1,2 = 0,00945 \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} \right)$$

საათში კი

$$V_{\text{ს}} = 3600 \cdot V_{\text{ვ}} = 3600 \cdot 0,00945 \approx 34 \frac{\text{მ}^3}{\text{ს}} = 3400 \frac{\text{დკლ}}{\text{ს}}$$

წონით კი:

$$G_{\text{ს}} = V_{\text{ს}} \cdot \gamma = 34 \cdot 1080 = 36800 \frac{\text{კგ}}{\text{ს}}.$$

მაგალითი 18. რას უდრის ეკვივალენტური დიამეტრი კვადრატული კვეთის მილსადენისათვის, თუ მთელი კვეთი გაგვებულია სითხით და კვეთის გვერდი უდრის a მ?

ამოხსნა: განტოლების (40) თანახმად, ეკვივალენტური დიამეტრი ტოლი იქნება:

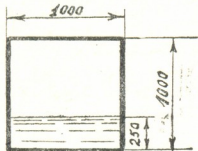
$$d_{\text{ეკ}} = \frac{4F}{s} = \frac{4a^2}{4a} = a \text{ (მ)}.$$

მაგალითი 19. რას უდრის ეკვივალენტური დიამეტრი სწორკუთხედიანი კვეთის მილსადენისათვის, თუ მთელი კვეთი ავსებულია სითხით და კვეთის გვერდები ტოლი არიან a (მ) და b (მ)?

ამოხსნა: განტოლების (40) თანახმად, ეკვივალენტური დიამეტრი ტოლი იქნება:

$$d_{\text{ეკვ}} = \frac{4F}{S} = \frac{4ab}{2(a+b)} = 2 \frac{ab}{a+b} \text{ (მ)}.$$

მაგალითი 20. რას უდრის ეკვივალენტური დიამეტრი კვადრატული კვეთის მილსადენისათვის, (ნახ. 42) თუ კვეთის გვერდი უდრის 1 მ და სითხე ავსებს კვეთს მხოლოდ 0,25 მ სიმაღლემდე (ნახაზზე ზომები მოცემულია მილიმეტრებით)?



ნახ. 42. სქემა მაგ. № 20-სათვის.

ამოხსნა: 1. სითხით დასველებული პერიმეტრი უდრის:

$$S = 2 \cdot 0,25 + 1 = 1,5 \text{ მ}.$$

2. სითხით გავსებული კვეთი ტოლია;

$$F = 1 \cdot 0,25 = 0,25 \text{ მ}^2.$$

3. ეკვივალენტური დიამეტრი უდრის:

$$d_{\text{ეკვ}} = \frac{4F}{S} = \frac{4 \cdot 0,25}{1,5} \approx 0,667 \text{ მ}.$$

მაგალითი 21. განესაზღვროთ წყლის ($t=20^\circ$) მოძრაობის ხასიათი მილსადენში დიამეტრით $2''$, თუ მასში გადის წყალი რაოდენობით $200 \frac{\text{ლ}}{\text{ს}}$?

ამოხსნა: 1. წყლის მოძრაობის სიჩქარე განტოლების (33) თანახმად

$$w = \frac{V_{\text{გ}}}{F} = \frac{200}{1000 \cdot 3600 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4}} = 0,0284 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}}.$$

2. წყლის სიმკვრივე 20° -ის დროს ფორმულის (11) თანახმად უდრის:

$$\rho_{\text{წ}}^{20^\circ} = \frac{\gamma_{\text{წ}}^{20^\circ}}{g} = \frac{998,62}{9,81} = 102 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{მ}^3}.$$

3. წყლის სიბლანტე 20° -ის დროს $\mu_{\text{წ}}^{20^\circ} = 1,113$ ან ტექნიკურ ერთეულებში ფორმულის (13) თანახმად:

$$\mu_{\text{წ}}^{20^\circ} = \frac{0,01 \cdot 1,1}{98,1} = 0,000112 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{მ}^2} = 11,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{მ}^2}.$$

4. რეინოლდსის რიცხვი ტოლი გამოდის

$$Re = \frac{d \cdot w \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,05 \cdot 0,0284 \cdot 102}{11,2 \cdot 10^{-5}} \approx 1275 < 2320.$$

მაშასადამე, მოძრაობა ლამინარულია.

მაგალითი 22. განვსაზღვროთ ლენის ტკბილის ($\gamma = 1,08 \frac{\text{კმ}}{\text{წმ}}$) მოძრაობის

ობის ხასიათი მილსადენში დიამეტრით $1''$, თუ ხარჯი შეადგენს $200 \frac{\text{დკლ}}{\text{წმ}}$.

ამოხსნა 1: ტკბილის მოძრაობის სიჩქარე განტოლების (33) თანახმად ტოლია:

$$w = \frac{V_{\text{გ.}}}{F} = \frac{200}{100 \cdot 3600 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4}} \approx 1,13 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}},$$

2. ლენის ტკბილის სიმკვრივე ფორმულის (11) თანახმად უდრის:

$$\rho_{\text{ბ}} = \frac{\gamma_{\text{ბ}}}{g} = \frac{1080}{9,81} = 110 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{მ}^4},$$

3. ლენის ტკბილის სიბლანტე $\mu_{\text{ბ}} = 21$ პ ანუ ტექნიკურ ერთეულებში ფორმულის (13) თანახმად:

$$\mu_{\text{ბ}} = \frac{0,01 \cdot 2}{98,1} = 0,000204 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{მ}^2} = 20,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{მ}^2}.$$

4. რეინოლდსის რიცხვი ტოლი გამოდის:

$$Re = \frac{d \cdot w \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,025 \cdot 1,13 \cdot 110}{20,4 \cdot 10^{-5}} \approx 15200 > 2320.$$

მაშასადამე, მოძრაობა ტურბულენტურია.

მაგალითი 23. ცილინდრულ კოდში ჩასხმულია ლენის ტკბილი. კოდს ფსკერში აქვს ნახვრეტი დიამეტრით $1''$. რამდენი ტკბილი გამოვა კოდიდან დროის ერთეულში, თუ მასში ტკბილის დონე მუდმივ სიმაღლეზეა და უდრის 3 მ?

ამოხსნა: 1. ნახვრეტის კვეთი შეადგენს:

$$f_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4} = 0,00049 \text{ მ}^2.$$

2. თუ ავიღებთ ხარჯის კოეფიციენტს $\psi = 0,6$ ტკბილის რაოდენობა, როგორც გამოვა კოდიდან დროის ერთეულში ფორმულის (84) თანახმად ტოლი იქნება:

$$V_{\text{გ.}} = \psi \cdot f_0 \sqrt{2gh} = 0,6 \cdot 0,00049 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,00255 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}},$$

ანუ საათში

$$V_{\text{ს}} = 3600 \cdot V_{\text{გ.}} = 3600 \cdot 0,00255 \approx 9,2 \frac{\text{მ}^3}{\text{ს}}.$$

მაგალითი 24. ცილინდრული კოდი დიამეტრით 2 მ გავსებულია ჰაერით 2,5 მ სიმაღლემდე. რამდენ ხანში დაიცლება კოდი, თუ მას აქვს ნახვრეტი დიამეტრით $1\frac{1}{2}$ ''?

ამოხსნა: 1. ნახვრეტის კვეთი უდრის:

$$f_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,038^2}{4} = 0,00114 \text{ მ}^2.$$

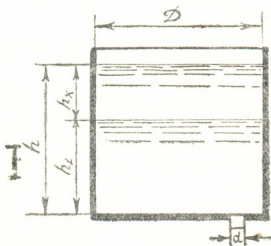
2. კოდის კვეთი შეადგენს:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ მ}^2.$$

3. თუ შივილებზე ხარჯის კოეფიციენტი $\psi = 0,6$ კოდის დაცლის ხანგრძლიობა ფორმულის (88) თანახმად ტოლი იქნება:

$$\tau = \frac{2 \cdot F \cdot \sqrt{h}}{\psi \cdot f_0 \cdot \sqrt{2g}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{2,5}}{0,6 \cdot 0,00114 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 2}} \approx 3280 \text{ წმ} \approx 55 \text{ წთ},$$

მაგალითი 25. ცილინდრული ფორმის საკუბაჟე კოდი დიამეტრით $D=2,2$ მ ავსებულია ღვინით $h=3$ მ სიმაღლემდე (ნახ. 43). უნდა ჩამოვშვათ კოდიდან დაკუბაჟებული ღვინის ნაწილი 500 დკლ. რამდენი დრო დასჭირდება ამ ოპერაციას, თუ კოდის ფსკერში გაკეთებული ნახვრეტის დიამეტრი უდრის: $d=2$ ''.



ამოხსნა: 1. ნახვრეტის კვეთი უდრის:

$$f_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ მ}^2.$$

2. კოდის კვეთი ტოლია:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,2^2}{4} = 3,8 \text{ მ}^2.$$

3. ღვინის ღონე კოდში 500 დკლ. ჩამოსხმის შემდეგ დაიწვეს:

$$h_x = \frac{V}{F} = \frac{500}{100 \cdot 3,8} = 1,3 \text{ მეტრით.}$$

ნახ. 43. სქემა მაგ. № 25-სათვის.

4. ღვინის ღონე კოდში 500 დკლ. ჩამოსხმის შემდეგ ტოლი იქნება:

$$h_1 = h - h_x = 3,0 - 1,3 = 1,7 \text{ მ.}$$

5. 500 დკლ. ღვინის ჩამოსხმის ხანგრძლიობა, თუ ხარჯის კოეფიციენტი $\psi = 0,6$, განტოლების (87) თანახმად შეადგენს

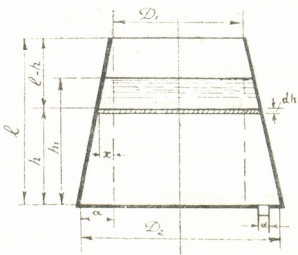
$$\tau_1 = \frac{2F}{\psi \cdot f_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{h} - \sqrt{h_1}) = \frac{2 \cdot 3,8}{0,6 \cdot 0,00196 \sqrt{2 \cdot 9,81}} (\sqrt{3,0} - \sqrt{1,7}) = 611 \text{ წმ} = 10,25 \text{ წთ.}$$

მაგალითი 26. თავმოკვეთილი კონუსის ფორმის კოდი (ნახ. 44) ავსებულ
ლია ტკბილით $h_1=1,5$ მ სიმაღლემდე. რამდენ ხანში დაიცლება კოდი, თუ
ფსკერში აქვს ნახვრეტი დიამეტრით $d=1''$ და თუ კოდს აქვს ზომები:

$$D_1=2,0 \text{ მ}; D_2=2,2 \text{ მ და } l=1,8 \text{ მ?}$$

ამოხსნა: ვინაიდან ამ
შემთხვევაში კუროპლის კვეთი იც-
ვლება სითხის დონის დაწვევასთან
ერთად, ამიტომ უნდა ავიღოთ
განტოლება (მ6) და მასში h -ის
გარდა, აგრეთვე F -იც მივიჩნიოთ
ცვალებადად. მაშინ ინტეგრალი
შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \int_{h_1}^0 - \frac{F}{\psi \cdot f_0 \cdot \sqrt{2gh}} dh = \\ &= \frac{1}{\psi \cdot f_0 \cdot \sqrt{2g}} \int_0^{h_1} \frac{F}{\sqrt{h}} dh. (A) \end{aligned}$$



ნახ. 44. სქემა მაგ. № 26-სათვის.

ვინაიდან კოდი მთლიანად იცლება, ამიტომ ინტეგრალის ერთი ზღვარი,
ცხადია, ნულს უდრის. ინტეგრალის

$$\int_0^{h_1} \frac{F}{\sqrt{h}} dh$$

ამოხსნისათვის გამოვიყენოთ ფუნქციური დამოკიდებულება კოდის კვეთ F -სა
და სიმაღლის h -ს შორის; ნახაზიდან მივიღებთ:

$$F = \pi (R_1 + x)^2;$$

ამავე დროს:

$$\frac{a}{l} = \frac{x}{l-h}$$

აქედან კი:

$$x = \frac{a(l-h)}{l};$$

მაშასადამე, კუროპლის კვეთი ტოლია:

$$F = \pi \left[R_1 + \frac{a(l-h)}{l} \right]^2;$$

ჩავსვათ F -ის მნიშვნელობა განტოლებაში (4) და მოვახდინოთ ინტეგრირება:

ეროვნული
ბიბლიოთეკა

$$\tau_1 = \frac{\pi}{\psi \cdot f_0 \cdot \sqrt{g}} \int_0^{h_1} \frac{R_1 + \left[\frac{a(l-h)}{l} \right]^2}{\sqrt{h}} dh =$$

$$= \frac{\pi}{\psi \cdot f_0 \cdot \sqrt{g}} \sqrt{h_1} \left[2(R_1 + a)^2 - \frac{4a(R_1 + a)h_1}{3l} + \frac{2a^2}{5l^2} h_1^2 \right]$$

პირობის თანახმად:

$$h_1 = 1,5 \text{ მ}; R_1 = \frac{D_1}{2} = \frac{2,0}{2} = 1,0 \text{ მ}; a = \frac{D_2 - D_1}{2} = \frac{2,2 - 2,0}{2} = 0,1 \text{ მ}$$

$$l = 1,8 \text{ მ}; f_0 = \frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4} = 0,00049 \text{ მ}^2; \psi = 0,6 \text{ (წინანდებურად)}.$$

ყველა ამ სიდიდის ჩასმის შემდეგ კოდის დაცლის ხანგრძლიობა ტოლი იქნება:

$$\tau = \frac{3,14}{0,6 \cdot 0,00049 \sqrt{2 \cdot 9,81}} \sqrt{1,5} \left[2(1+0,1)^2 - \frac{4 \cdot 0,1(1,0+0,1)1,5}{31,8} + \right.$$

$$\left. + \frac{2 \cdot 0,1^2}{5 \cdot 1,8^2} 1,5^2 \right] \approx 675 \text{ წმ} = 11 \text{ წთ } 15 \text{ წმ}.$$

მაგალითი 27. ცენტრიდანული ტუმბო ჭაჩავს ტბილის მიმდებარედან, რომელიც მოთავსებულია I სართულში, სადღლარ კასრებში, რომლებიც მოთავსებულია II სართულში (ნახ. 45). რაოდენობა ტბილისა შეადგენს 1000 ღმლ. მილსადენის ცალკეული უბნების სიგრძეები (მეტროებით) მოცემულია ნახაზზე. განვსაზღვროთ მილსადენის დიამეტრი და საჭირო წნევა, რომელიც უნდა განავითაროს ტუმბომ.

ამოხსნა 1. ავიღოთ ვარაუდად ტბილის მოძრაობის სიჩქარე:

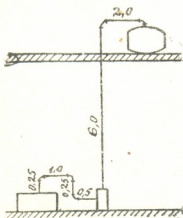
$$\omega = 2 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$$

სითხის ხარჯი ტოლია:

$$V_{\text{ვ}} = \frac{1000}{100 \cdot 3600} = 0,00278 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}}$$

მილის კვეთი უნდა იყოს:

$$f = \frac{V_{\text{ვ}}}{\omega} = \frac{0,00278}{2} = 0,00139 \text{ მ}^2.$$



ნახ. 45. სქემა მაგ. № 27-სათვის.

აქედან მილის დიამეტრი ტოლი იქნება:

$$d = \sqrt{\frac{4f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00139}{3,14}} = 0,042 \text{ მ} = 42 \text{ მმ.}$$

მისი უახლოესი მილი სტანდარტის მიხედვით არის მილი დიამეტრით 2" ($d \approx 50 \text{ მმ}$), ამიტომ ფაქტიური კვეთი ტოლი იქნება:

$$f = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ მ}^2$$

და ფაქტიური სიჩქარე კი:

$$\omega = \frac{0,00278}{0,00196} = 1,41 \frac{\text{მ}}{\text{წმ.}}$$

2. ტკბილის აწევის სიმაღლე ნახაზის მიხედვით შეადგენს:

$$h_z = 6 \text{ მ.}$$

3. დინამიკური წნევა ტოლია:

$$\frac{\omega^2}{2g} = \frac{1,41^2}{2 \cdot 9,81} = 0,101 \text{ მ,}$$

4. რეინოლდსის რიცხვი:

$$Re = \frac{\omega \cdot \alpha \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,41 \cdot 0,05 \cdot 110}{20,4 \cdot 10^{-5}} \approx 38000 > 3230,$$

სადაც:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= 110 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^3}{\text{მ}^3} \\ \mu &= 20,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}}{\text{მ}^2} \end{aligned} \right\} \text{ მაგ. 22-დან}$$

მოდრაობა ტურბულენტურია.

5. ხახუნის კოეფიციენტი ტურბულენტური მოძრაობისათვის ფორმულა (64)-ის თანახმად ტოლია:

$$\lambda_0 = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}};$$

$$\lambda_0 = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{38000}} = 0,0235.$$

6. ხახუნის წინაღობის კოეფიციენტი ფორმულის (60) თანახმად ტოლი იქნება:

$$\zeta_1 = \lambda \frac{l}{d} = 0,0235 \frac{10}{0,05} = 4,7;$$

$$l=0,25+1,0+0,25+0,5+6+2=10 \text{ მ.}$$

7. ადგილობრივი წინალობანი:

ა) წინალობა 5 მუხლის ტაბულის (5) მიხედვით, როდესაც $R=d$; ე. ი.

$$D=2d \text{ და } \frac{d}{D}=0,5$$

შეადგენს:

$$\zeta_2=5 \cdot 0,294 \cong 1,5.$$

ბ. წინალობა მილში შესვლისას და მილიდან გამოსვლისას ფორმულა (65) თანახმად

$$\zeta_3=2 \cdot 0,5=1.$$

8. ჯამი ყველა დანაკარგისა უდრის

$$\sum_1^3 \zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 = 4,7 + 1,5 + 1 = 7,2.$$

9. საერთო საჭირო წნევა ფორმულის (58) თანახმად შეადგენს:

$$h=h_s + (1 + \sum_1^n \frac{\omega^2}{2g}) = 6 + (1 + 7,2) 0,101 \cong 7 \text{ მ}$$

ანუ

$$p=\gamma h=1080 \cdot 7=7560 \frac{\text{პზ}}{\text{მ}^2}=0,756 \frac{\text{პზ}}{\text{სმ}^2}.$$

მაგალითი 28. გადასაქაჩია ტკბილი საერთო რაოდენობით 500 $\frac{\text{დკლ}}{\text{ს}}$.

ტკბილი მიეწოდება სამ ადგილას: კოდში (3) რაოდენობით 200 $\frac{\text{დკლ}}{\text{ს}}$, კოდში

(5) — 120 $\frac{\text{დკლ}}{\text{ს}}$ და კოდში (6) — 180 $\frac{\text{დკლ}}{\text{ს}}$; კოდების მდებარეობა და მილ-

სადენის უბნების სიგრძეები (მეტრობით) მოცემულია აქსონომეტრიულ სქემაზე (ნახ. 46). განვსაზღვროთ მილსადენის დიამეტრები და საჭირო წნევა.

ამოხსნა: განვსაზღვროთ მილსადენის უბნები, რომელთა ფარგლებშიაც სითხის მოძრაობის პირობები არ იცვლება. ასეთი უბანი იქნება ხუთი: 1—2, 2—3, 2—4, 4—5 და 4—6. ყველა გაანგარიშება უბან-უბან უნდა ჩატარდეს.

1. ვივარაუდოთ მოძრაობის სიჩქარე $w=(1 \div 2) \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$, საშუალოდ კი $w=1,5 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$. მილსადენის დიამეტრებს გავიანგარიშებთ ფორმულით (33), საი-

$$f = \frac{0,00055}{1,5} = 0,00037 \text{ მ}^2; \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00037}{3,14}} = 0,0218 \text{ მ} = 21,8 \text{ მმ.}$$

ვიღებთ სტანდარტის მიხედვით მილს დიამეტრით $1'' \cong 25,4 \text{ მმ.}$ მაშასადამე,

$$d_{2-3} = 0,0254 \text{ მ}; \quad f_{2-3} = \frac{3,14 \cdot 0,254^2}{4} \cong 0,0005 \text{ მ}^2;$$

$$\omega_{2-3} = \frac{0,00055}{0,0005} = 1,1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}.$$

$$\text{უბანი 2-4.} \quad V_{2-4} = \frac{120 + 180}{100 \cdot 3600} = 0,000835 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}}$$

$$f = \frac{0,000835}{1,5} = 0,000556 \text{ მ}^2; \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000556}{3,14}} = 0,0266 \text{ მ} = 26,6 \text{ მმ.}$$

ვიღებთ სტანდარტის მიხედვით მილს დიამეტრით $1'' \cong 25,4 \text{ მმ.}$ მაშასადამე,

$$d_{2-4} = 0,0254 \text{ მ}; \quad f_{2-4} = 0,0005 \text{ მ}^2; \quad \omega_{2-3} = \frac{0,000835}{0,0005} = 1,67 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}.$$

$$\text{უბანი 4-5.} \quad V_{4-5} = \frac{120}{100 \cdot 3600} = 0,000332 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}}$$

$$f = \frac{0,000332}{1,5} = 0,000222 \text{ მ}^2; \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000222}{3,14}} = 0,0168 \text{ მ} = 16,8 \text{ მმ};$$

ვიღებთ სტანდარტის მიხედვით მილს დიამეტრით $\frac{3}{4}'' \cong 19 \text{ მმ.}$ მაშასადამე,

$$d_{4-5} = 0,019 \text{ მ};$$

$$f_{4-5} = \frac{3,14 \cdot 0,019^2}{4} = 0,000283 \text{ მ}^2; \quad \omega_{4-5} = \frac{0,000332}{0,000283} = 1,18 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}.$$

$$\text{უბანი 4-6.} \quad V_{4-6} = \frac{180}{100 \cdot 3600} = 0,0005 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}};$$

$$f = \frac{0,0005}{1,5} = 0,000333 \text{ მ}^2; \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000333}{3,14}} = 0,0206 \text{ მ} = 20,6 \text{ მმ.}$$

ვიღებთ სტანდარტის მიხედვით მილს დიამეტრით $\frac{3}{4}'' \cong 19 \text{ მმ.}$ მაშასადამე,

$$d_{4-6} = 0,019 \text{ მ}; \quad f_{4-6} = 0,000283 \text{ მ}^2; \quad \omega_{4-6} = \frac{0,0005}{0,000283} = 1,77 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}.$$

2. განვსაზღვროთ რეინოლდსის რიცხვი და მისი მიხედვით მოძრაობის ხასიათი. როგორც ვიცით, რეინოლდსის რიცხვი $Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}$.

წინა მაგალითებიდან ტკბილისათვის:

$$\rho = 110 \cdot \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{გ}^4} \text{ და } \mu = 20,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{გ}^2}$$

$$Re^{1-2} = \frac{\omega_{1-2} \cdot d_{1-2} \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,23 \cdot 0,038 \cdot 110}{20,4 \cdot 10^{-5}} \approx 25200;$$

$$Re^{2-3} = \frac{1,1 \cdot 0,0254 \cdot 110}{20,4 \cdot 10^{-5}} \approx 15100;$$

$$Re^{3-4} = \frac{1,67 \cdot 0,0254 \cdot 110}{20,4 \cdot 10^{-5}} \approx 22900;$$

$$Re^{4-5} = \frac{1,18 \cdot 0,019 \cdot 110}{20,4 \cdot 10^{-5}} \approx 12100;$$

$$Re^{4-6} = \frac{1,77 \cdot 0,019 \cdot 110}{20,4 \cdot 10^{-5}} \approx 18200.$$

3. განესაზღვროთ ხახუნის კოეფიციენტი λ . ვინაიდან ყველა უბნისათვის $Re > 2320$, ამიტომ ყველა უბანზე მოძრაობა ტურბულენტურია და ხახუნის კოეფიციენტი უნდა განისაზღვროს ფორმულით (64) $\lambda_{\text{ტურბ.}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$

$$\lambda_{\text{ტურბ.}}^{1-2} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{25200}} = 0,0252;$$

$$\lambda_{\text{ტურბ.}}^{2-3} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{15100}} = 0,0282;$$

$$\lambda_{\text{ტურბ.}}^{3-4} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{22900}} = 0,0257;$$

$$\lambda_{\text{ტურბ.}}^{4-5} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{12100}} = 0,0291;$$

$$\lambda_{\text{ტურბ.}}^{4-6} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{18200}} = 0,0272.$$

4. განესაზღვროთ ხახუნის დანაკარგის კოეფიციენტი ζ_1 ფორმულით (60); $\zeta_1 = \lambda \frac{l}{d}$

$$\zeta_1^{1-2} = \lambda_{1-2} \frac{l_{1-2}}{d_{1-2}} = 0,0252 \frac{0,25+1,0+0,25+0,5+4}{0,038} \approx 4;$$

$$\zeta_1^{3-3} = 0,0282 \frac{19,0}{0,0254} \approx 21,1;$$

$$\zeta_1^{2-3} = 0,0257 \frac{5}{0,0254} \approx 5;$$

$$\zeta_1^{4-3} = 0,0291 \frac{15}{0,019} \approx 23;$$

$$\zeta_1^{4-6} = 0,0272 \frac{55}{0,019} \approx 78,6.$$

5. განესაზღვროთ ადგილობრივ წინაღობათა კოეფიციენტები.

უბანი 1—2.

მუხლი—2 ცალი: $\zeta_2 = 2 \cdot 0,294 = 0,584$ (ტაბ. 5);
წინაღობა შესასვლელში $\zeta_3 = 0,5$ [ფორმულა (65)].

უბანი 2—3.

მუხლი—4 ცალი: $\zeta_2 = 4 \cdot 0,294 = 1,168$;
წინაღობა გამოსასვლელში: $\zeta_3 = 0,5$;
ვენტილი—(იხ. ქვემოთ).

უბანი 2—4.

ერთი მუხლი $\alpha = 60^\circ$; $\zeta_2 = 0,294 \frac{60}{90} = 0,195$; $\zeta_3 = 0$.
განსტოება უბნის თავში ფორმულის (67) თანახმად
 $\zeta_4 = 0,505 + 0,303 \sin 30^\circ + 0,226 \sin^2 30^\circ = 0,713$;
განსტოება უბნის ბოლოში იმავე ფორმულით:
 $\zeta_5 = 0,505 + 0,303 \sin 90^\circ + 0,226 \sin^2 90^\circ = 1,021$.

უბანი 4—5.

ვენტილი (იხ. ქვემოთ).
მუხლი—2 ცალი: $\zeta_2 = 2 \cdot 0,294 = 0,584$;
წინაღობა გამოსასვლელში $\zeta_3 = 0,5$.

უბანი 4—6.

მუხლი—2 ცალი: $\zeta_2 = 2 \cdot 0,294 = 0,584$;
წინაღობა გამოსასვლელში $\zeta_3 = 0,5$.
6. შეეჯამოთ ყველა დანაკარგის, კოეფიციენტები
 $(\Sigma \zeta)_{1-2} = 4 + 0,584 + 0,5 = 5,084$;
 $(\Sigma \zeta)_{2-3} = 21,1 + 1,168 + 0,5 = 22,768$;
 $(\Sigma \zeta)_{3-4} = 5 + 0,195 + 0,713 + 1,021 = 6,929$;
 $(\Sigma \zeta)_{4-5} = 23 + 0,584 + 0,5 = 24,084$;
 $(\Sigma \zeta)_{5-6} = 78,6 + 0,584 + 0,5 = 79,684$.

7. განესაზღვროთ აწევის სიმაღლე:

$$h_x^{1-2} = 4,0 \text{ მ};$$

$$h_x^{2-3} = 1 + 5 = 6 \text{ მ};$$

$$h_x^{3-4} = 0;$$

$$h_x^{4-5} = 0;$$

$$h_x^{5-6} = 0.$$

8. განესაზღვროთ დინამიკური წნევა იმ უბნებისათვის, რომელთა ბოლოშიაც ხდება სითხის თავისუფალი გამოდენა სისტემის გარეთ

$$h_d^{2-3} = \frac{\omega_2^{2-3}}{2g} = \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,062 \text{ მ};$$

$$h_d^{4-5} = \frac{\omega_4^{2-5}}{2g} = \frac{1,18^2}{2 \cdot 9,81} = 0,071 \text{ მ};$$

$$h_d^{4-6} = \frac{\omega_4^{2-6}}{2g} = \frac{1,74^2}{2 \cdot 9,81} = 0,16 \text{ მ}.$$

9. განესაზღვროთ სრული წნევა, რომელიც საჭიროა თითოეულ კოლში ტკბილის მისაწოდებლად. ფორმულის (58) თანახმად სრული წნევა ტოლია:
 $h = h_s + \left(1 + \sum_1^n \zeta\right) \frac{\omega^2}{2g}$; კოლში (3) მისაწოდებლად ტკბილმა უნდა გაიაროს უბნები: 1—2 და 2—3.

კოლში (5) მისაწოდებლად უბნები: 1—2, 2—4 და 4—5;

კოლში (6) მისაწოდებლად უბნები: 1—2, 2—4 და 4—6.

კოლი (3)

$$h_s = h_x^{1-2} + h_x^{2-3} = 4 + 6 = 10 \text{ მ};$$

$$\frac{\omega^2}{2g} = \frac{\omega_2^{2-3}}{2g} = 0,062 \text{ მ}$$

$$\sum_1^n \zeta = \left(\sum_1 \zeta\right)_{1-2} + \left(\sum_1 \zeta\right)_{2-3} = 5,084 + 22,768 \approx 27,9.$$

სრული წნევა კოლისათვის (3) შეადგენს:

$$h_{1-2-3} = 10 + (1 + 27,9) \cdot 0,062 \approx 11,8 \text{ მ}.$$

კოლი (5):

$$h_s = h_x^{1-2} + h_x^{2-4} + h_x^{4-5} = 4,0 \text{ მ}.$$

$$\frac{\omega^2}{2g} = \frac{\omega_4^{2-5}}{2g} = 0,071 \text{ მ}.$$

$$\sum_1^5 \zeta = \left(\sum_1^5 \zeta \right)_{1-2} + \left(\sum_1^5 \zeta \right)_{2-4} + \left(\sum_1^5 \zeta \right)_{4-5} = 5,084 + 6,929 + 24,084 \approx 36,1$$

სრული წნევა კოდისათვის (5) შეადგენს:

$$h_{1-2-4-5} = 4,0 + (1 + 36,1) 0,071 = 6,6 \text{ მ.}$$

კოდი (6):

$$h_z = h_z^{1-2} + h_z^{2-4} + h_z^{4-5} = 4,0 \text{ მ;}$$

$$\frac{\omega^2}{2g} = \frac{\omega^2}{2g} = 0,16 \text{ მ.}$$

$$\sum_1^6 \zeta = \left(\sum_1^6 \zeta \right)_{1-3} + \left(\sum_1^6 \zeta \right)_{2-4} + \left(\sum_1^6 \zeta \right)_{4-6} = 5,084 + 6,929 + 79,684 \approx 91,7.$$

სრული წნევა კოდისათვის (6) შეადგენს:

$$h_{1-2-4-6} = 4 + (1 + 91,7) 0,16 \approx 18,80.$$

საანგარიშო წნევად ტუმბოსათვის უნდა მივიღოთ

$$h = 18,8 \text{ მ ანუ } p = \gamma \cdot h = 1080 \cdot 18,8 \approx 20304 \frac{\text{მგ}}{\text{სმ}^2} = 2,03 \frac{\text{მგ}}{\text{სმ}^2}.$$

სისტემის რეგულირება. ტუმბო მიაწოდებს ტბილის წნევას $h = 18,8 \text{ მ.}$ ეს წნევა საჭიროა იმისათვის, რომ ტბილი მივიდეს კოდში (6) და გამოდინდეს მილსადენიდან კოდში განსაზღვრული სიჩქარით, რომელიც უზრუნველყოფს, ანგარიშის თანახმად, კოდში (6) ტბილის მოცემული რაოდენობის მიწოდებას დროის ერთეულში. როდესაც ტბილი მიაღწევს წერტილს (2), რომელშიაც ხდება ტბილის ნაკადის ორ ნაწილად გაყოფა, ტბილის ექნება წნევის მარაგი, რომელიც საკმარისია კოდში (6) ტბილის მისაწოდებლად, მაგრამ ეს მარაგი წნევისა მეტია, ვიდრე ეს საჭიროა კოდისათვის (3) ნაანგარიშევი რეჟიმის დასაცავად. თუ მილსადენს ასე დავტოვებთ, ტბილი გაეშურება მეტწილად კოდისაკენ (3), ვინაიდან ამ მიმართულებით წინალობა უფრო ნაკლებია და, მაშასადამე, ნაანგარიშევი რეჟიმი დაირღვევა. ამიტომ საჭიროა 2—3 უბნის თავში წერტილში (A) დავაყენოთ ვენტილი, რომლის საშუალებით, შევქმნით დამატებით წინალობას და ამით შევამცირობთ წნევას იმ სიდიდემდე, რაც საჭიროა უბანზე (2—3) ნაანგარიშევი რეჟიმის დასაცავად. მსგავსი სურათი გვექნება წერტილში (4), სადაც ხდება ტბილის ნაკადის კიდევ ორ ნაწილად გაყოფა. აქაც (4—5) უბნის თავში წერტილში (B) უნდა დავაყენოთ ვენტილი.

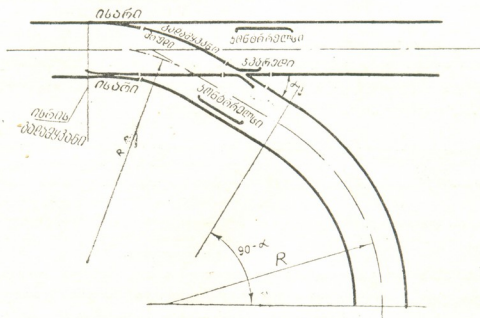
თავი მესამე

მაგარი მასალების გადაზიდვა

§ 10. მიწისზედა გზები

რელსიანი და ურელსო გზები. მიწისზედა გზები ორი ტიპისაა: ურელსო და რელსიანი. ურელსო გზა თავისი წესიერი ექსპლოატაციისათვის მოითხოვს კარგად მოპირკეთებულ ზედაპირს და ამიტომ უფრო ფართოდ არის გავრცელებული საწარმოთა სათავსების შიგნით მოძრაობისათვის, რადგანაც სათავსის შიგნით იატაკის ზედაპირი, როგორც წესი, ტექნოლოგიური პროცესისა და სანიტარიის მოთხოვნის თანახმად, კარგად არის დამუშავებული. რელსიანი გზა კი მოითხოვს სპეციალური რელსიანი ლიანდაგის დაგებას წინასწარ მომზადებულ ფუძეზე.

ამიტომ რელსიანი გზა უფრო ხშირად ქარხნის ცალკეულ შენობათა შორის მოძრაობისათვის იხმარება.

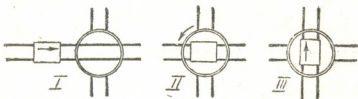


ნახ. 47. რკინიგზის ისრიანი განშტოების სქემა.

ლიანდაგის სიგანე უფრო ხშირად უდრის 600 მმ და 700 მმ, ე. ი. ის გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ჩვეულებრივი რკინიგზის ლიანდაგის სიგანე (1524 მმ). ამიტომ ამ გზებს ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზები ეწოდება. ხაზიდან განშტოების გაყვანა ხდება ისრების საშუალებით, რაც მოითხოვს სათანადო ნორმების (უმთავრესად ლიანდაგის მომრგვალება R -ის) დაცვას (ნახ. 47).

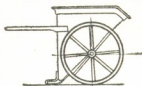
ზოგჯერ ამ ნორმების დაცვა ადგილის სიეწროვის გამო შეუძლებელი ხდება მაშინ ვაგონეტის ერთი ლიანდაგიდან მეორეზე გადაყვანას ახორციელებენ ე. წ. „საბრუნის წრის“ საშუალებით, რომლის მოქმედების პრინციპი ნათლად ჩანს ნახ. 48-დან.

ვაგონეტები და ურიკები. ყველაზე უფრო ფართოდ გავრცელებული სა-



ნახ. 48. საბრუნო წრის მოქმედების სქემა.

ბიც იხმარება ან შეიძლება მოხმარებულ იქნას ღვინის მრეწველობის საწარმოებში. ნახ. 49 ÷ 54 — მოყვანილია ურიკები, რომლებიც ურელსო გზებზე იხმარება. ნახ. 49-ზე მოყვანილია ხელით საგორებელი ორთველიანი ურიკა. მისი ტვირთისაგან დაცლა ხდება აკვნის ღერძის ირგვლივ მოტრიალვით.

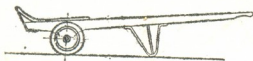


ნახ. 49. ხელით საგორებელი ორთველიანი ურიკა.



ნახ. 50. ხელით საგორებელი ორთველიანი ურიკა.

ნახ. 50-ზე მოყვანილ იმავე ტიპის ურიკის ტვირთისაგან დაცლა გაადვილებულია იმით, რომ მისი აკვანი დაშვარებულია ბერკეტზე სახსრულად. ურიკის სახელურების მცირედ აწევის დროს აკვანი მოტრიალდება და დაიცლება, სახელურების დაწევის დროს კი აკვანი უკან ტრიალდება.



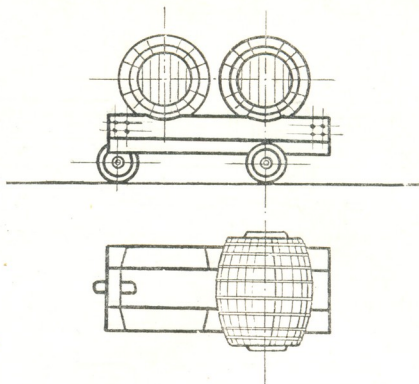
ნახ. 51. ხელით საგორებელი ურიკა კასრებისათვის.

ნახ. 51-ზე მოყვანილია აგრეთვე ხელით საგორებელი ორთველიანი ურიკა, რომლის საშუალებითაც ხდება კასრების გადაზიდვა. ურიკის სახელურების აწევით ურიკის წინა ნაწილი იატაკამდე დაიწევს, რაც აადვილებს ურიკაზე კასრის შეგორებას და აგრეთვე გადმოგორებას.

ნახ. 52-ზე მოყვანილია სამთველიანი ხელით საგორებელი ურიკა, რომლის ზესადგარში ამოჭრილია სპეციალური ბუდეები კასრების დასადებად.

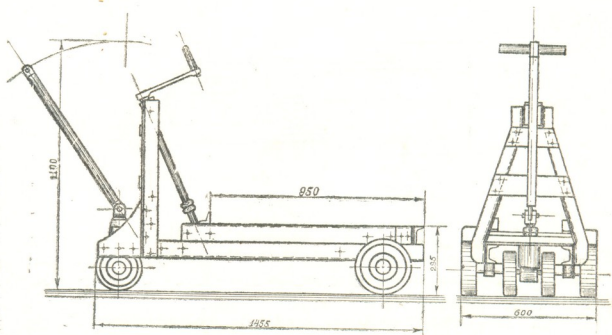
ურიკებისა და ვაგონეტების რაციონალურად გამოყენებისათვის საჭიროა მაქსიმალურად შევამციროთ დატვირთვა-განტვირთვისათვის საჭირო დრო. ამისათვის ყველაზე მიზანშეწონილია, რომ გადასაზიდი მასალა წინასწარ შევაგროვოთ სპეციალურ მაგიდაზე, ურიკა კი აიტაცებს და გადაიტანს ტვირთს თავის მაგიდიანად. ასეთი ურიკის მაგალითი მოყვანილია ნახ. 53-ზე. მას წევარიან ურიკას უწოდებენ.

ეს ურიკა ხელით საგორებელი და სამთვლიანია. მისი შემოღობის პრინციპი ნათლად ჩანს ნახ. 54-დან: ურიკის ძირითად ჩარჩოზე (a) დადებულია



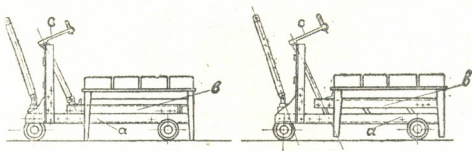
ნახ. 52. ხელით საგორებელი სამთვლიანი ბაქანი კასრებისათვის.

მეორე ჩარჩო (b). სახელურის (c) მოტრიალებით შეიძლება ჩარჩო (b) მაღლა აიწიოს 50 მმ-მდე.



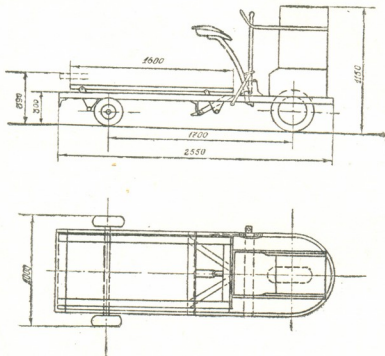
ნახ. 53. წვეარიანი ურიკა.

ნახ. 55-ზე მოყვანილია ურიკა, რომელსაც ამოძრავებს შიგაწვის ძრავა. გარდა ამისა, ურიკას ასაწევი ბაქანი აქვს. ურიკის წამყვანი სპეციალური საჯდომზე ზის და ურიკის მოძრაობას განაგებს. ამ ურიკას ავტოკარა ეწოდება.



ნახ. 54. წვეარიანი ურიკის მოქმედების პრინციპი.

დებოდა. ავტოკარა თავისი მუშაობის დროს ნამუშევარ გაზებს უშვებს. ამიტომ საწარმოს შიგნით მუშაობის დროს იგი გაძლიერებულ ვენტილაციას მოითხოვს. ეს გარემოება ავტოკარის დიდ ნაკლად უნდა ჩაითვალოს.

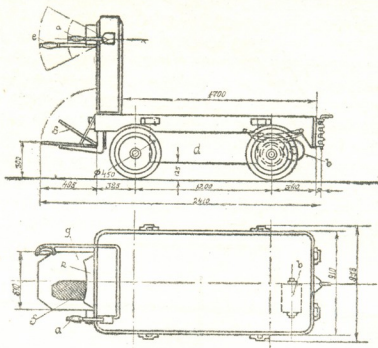


ნახ. 55. ავტოკარა

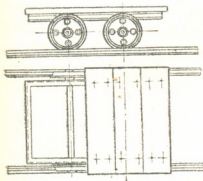
ნახ. 56-ზე მოყვანილია ურიკა, რომელსაც ელექტრომოდული ამოძრავებს. ელექტრომოდულის დენით კვება წარმოებს ურიკაზე დაყენებული ელექტროაქუმულატორით, რომელიც დროგამოშვებით უნდა დაიტენოს სპეციალურ დამტენ სადგურში.

ნახ. 57 და 58-ზე მოყვანილია ვაგონეტები, რომლებიც რელსიან გზებზე იხმარება. ერთი მათგანი (ნახ. 57) წარმოადგენს ღია ბაქანს, რომლის ზე-

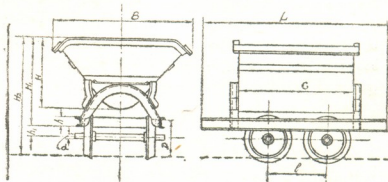
დაპირზე იდგება გადასაზიდი ცალობითი ტვირთი. მეორეს კი (ნახ. 58) ტვირთს ჩასაყრელად აქვს სპეციალური ფორმის რკინის ყუთი, რომელიც გვერდ-



ნახ. 56. ელექტროკრა.ა.



ნახ. 57. საგორებელი ბაქანი.



ნახ. 58. ყუთიანი ვაგონეტი.

ზე მობრუნებით ადვილად იცვლება. მისი ზომები მოყვანილია ცხრილში № 10.

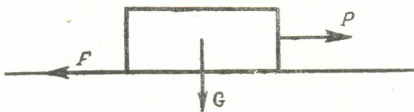
ვაგონეტების ზომები (ნახ. 58) მილიმეტრებით

ცხრილი 10

ტევადობა	B	C	H	H ₁	H ₂	h	h ₁	L	l	D	d	ლიანდაგის სიგანე	ვაგონეტის საკუთარი წონა კგ
0,35	990	1000	610	800	990	80	65	1500	500	250	40	600	380
0,5	1220	1000	700	840	1055	100	65	1600	600	300	40	600	420
0,75	1410	1230	833	988	1200	100	65	1735	600	300	50	600—750	480
1,0	1580	1400	800	1140	1325	120	65	2100	600	300	50	750	520

ამ ვაგონეტის გამოყენება განსაკუთრებით მიზანშეწონილია ქაქის ზიდვისათვის. რელსიან გზებზე ვაგონეტებს უფრო ხშირად ხელით მიადგებიან. ზოგიერთ შემთხვევაში ვაგონეტების გასაწევად (უფრო ხშირად აღმართში) ხმარობენ ბაგირს, რომელსაც სტაციონარული ჯალამბარი ეწევა. როდესაც მანძილი და გადასაზიდი ტერითის რაოდენობა დიდია, მიზანშეწონილი ხდება, რომ რამდენიმე ვაგონეტი ერთმანეთს გადავაბათ; თავში დაუყუვნოთ გამწევი მანქანა (ორთქლმავალი, მოტომავალი, ელექტრომავალი და სხვა) და, ამრიგად, შევადგინოთ მატარებელი. ზოგიერთ შემთხვევაში გამართლებული იქნება ვაგონეტში მუშა-საქონლის შებმაც. წვეის საშუალების შერჩევა ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში სათანადო გაანგარიშებით უნდა იყოს დასაბუთებული.

ვაგონეტებისა და ურიკებისათვის საჭირო წვეის ძალის გაანგარიშება. როგორც ცნობილია მექანიკიდან, თუ სხეული წონით 9 კგ. თავისუფლად დევს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე (ნახ. 59), მის გადასადგილებლად, თეო-

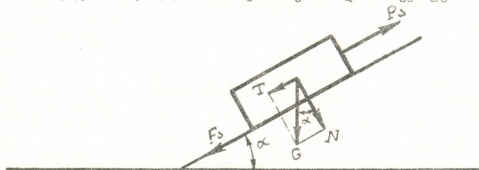


ნახ. 59. ტერითის გადაადგილება ჰორიზონტ სიბრტყეზე.

რიულად არავითარი ძალა არ არის საჭირო, ფაქტიურად კი საჭიროა ძალა P , რომელმაც უნდა დასძლიოს მოძრაობის წინააღობის ძალა F , გამოწვეული სხეულსა და ზედაპირს შორის არსებული ხახუნით. თუ f_1 არის სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი, წინააღობის ძალა ტოლი იქნება: $F = f_1 \cdot G$ (კგ). ვინაიდან გამწევი ძალა $P = F$, ამიტომ

$$P = f_1 \cdot G. \quad (96)$$

აქედან ცხადია, რომ, რაც უფრო ნაკლებია ხახუნის კოეფიციენტი f_1 , მით უფრო ნაკლები ძალა (P) არის საჭირო ერთი და იმავე ტერითის (G)

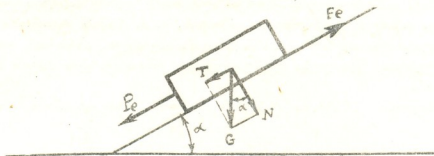


ნახ. 50. ტერითის გადაადგილება აღმართში.

გადასადგილებლად. თუ სხეულის გადაადგილება ხდება არა ჰორიზონტალურ, არამედ დახრილ სიბრტყეზე (ნახ. 60 და 61), მაშინ მოძრაობის წინა-

ლობის (ხახუნის) ძალა შეიქმნება სხეულის არა მთელი წონის პროპორციულად, ლად, არამედ მხოლოდ მისი ნორმალური შემდგენელის N -ის პროპორციულად, ე. ი. ამ შემთხვევაში:

$$F = f_1 \cdot N \quad (97)$$



ნახ. 61. ტვირთის გადაადგილება დაღმართში.

წონის ძალის (G) მხეტი შემადგენელი მუდამ მიმართულია ქვემოთკენ. მოძრაობის წინააღობის ძალა (F) კი მიმართულია მოძრაობის წინააღმდეგ, ე. ი. ის იცვლის თავის მიმართულებას იმისდა მიხედვით, თუ საიაკენ ვეწევით ტვირთს: თუ ტვირთს (G) ავწევთ აღმართში (P_e ძალის საშუალებით), F_e მიმართულია ქვემოთკენ (ნახ. 60). თუ ტვირთს წავწევთ დაღმართში (P_e ძალის საშუალებით), F_e მიმართულია ზემოთკენ (ნახ. 61). ორივე შემთხვევაში ძალთა პარალელოგრამიდან გამოვძინარეობს:

$$T = G \sin \alpha \quad (98)$$

$$N = G \cos \alpha. \quad (99)$$

წონასწორობისათვის საკიროა, რომ მოქმედ ძალთა დახრილ სიბრტყეზე პროექციების ჯამი 0-ს უდრიდეს. ამიტომ თუ მოძრაობა აღმართში წარმოებს (ნახ. 60)

$$P_e - F_e - T = 0, \text{ აქედან } P_e = F_e + T$$

თუ ჩავსვამთ ძალთა მნიშვნელობას, განტოლებებიდან (97), (98) და (99), მივიღებთ:

$$P_e = f_1 \cdot G \cos \alpha + G \sin \alpha.$$

ანუ საბოლოოდ:

$$P_e = G(f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (100)$$

თუკი მოძრაობა დაღმართში წარმოებს:

$$F_e - P_e - T = 0, \text{ აქედან } P_e = F_e - T$$

ანუ საბოლოოდ:

$$P_e = G(f_1 \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (101)$$

ამ ფორმულიდან გამოვძინარეობს, რომ, ვინაიდან $G \neq 0$, ამიტომ $P_e = 0$ მაშინ, როდესაც $f_1 \cos \alpha - \sin \alpha = 0$, ე. ი. როდესაც $f_1 \cos \alpha = \sin \alpha$, ანუ



$f_1 = \operatorname{tg} \alpha$. როგორც ვიცით, $f_1 = \operatorname{tg} p$, სადაც p არის ხახუნის კუთხე, რომ $\operatorname{tg} p = \operatorname{tg} \alpha$ და საბოლოოდ $p = \alpha$.

მაშასადამე, როდესაც აღმართის კუთხე (α) უდრის ხახუნის კუთხეს (p), ტვირთის დაღმართში ჩასაწევად არავითარი ძალა არ არის საჭირო: ტვირთი თავისთავად ჩასრიალდება. თუკი აღმართის კუთხე ხახუნის კუთხეზე მეტია ($\alpha > p$), მაშინ P_x უარყოფითი გამოდის, ე. ი. მაშინ ტვირთის დაღმართში ჩასაწევად არა თუ არ არის საჭირო რაიმე ძალა, პირიქით, უნდა შეიქმნას დამატებითი წინაღობა (დამუხრუჭება), რათა კარბმა ძალამ მოძრაობა არ ააჩქაროს.

ფორმულები (100) და (101) შეგვიძლია გავერთიანოთ ერთ ფორმულაში

$$P = G(f_1 \cos \alpha \pm \sin \alpha). \quad (102)$$

წვევის გაანგარიშებას აადვილებს, ე. წ., წვევის კოეფიციენტის (μ_F) შემოღება. ეს კოეფიციენტი წარმოადგენს ტვირთის წონისა და მისი გადაადგილებისათვის საჭირო ძალის შეფარდებას:

$$\mu_F = \frac{P}{G}. \quad (103)$$

ზემოგანხილული შემთხვევისათვის წვევის კოეფიციენტი ტოლი გამოდის: პორიზონტალური სიბრტყისათვის:

$$\mu_F = \frac{P}{G} = \frac{f_1 \cdot G}{G} = f_1. \quad (104)$$

აღმართ-დაღმართისათვის:

$$\mu_F = \frac{P}{G} = \frac{G(f_1 \cos \alpha \pm \sin \alpha)}{G} = f_1 \cos \alpha \pm \sin \alpha. \quad (105)$$

ურჩიებისა და ვაგონეტების მოძრაობის წინაღობას უფრო რთული ხასიათი აქვს. მოძრაობის საერთო წინაღობა — W_b — (კგ) ამ შემთხვევაში ორი ნაწილისაგან შედგება:

- 1) ხახუნის წინაღობისაგან ღერძის საკისრებში — $W_{საკ} (კგ)$, და
- 2) ხახუნის წინაღობისაგან თვალსა და იატაკს ან რელსს შორის — $W_{თვ} — (კგ)$,

ე. ი.
$$W_b = W_{საკ} + W_{თვ}. \quad (106)$$

როგორც ცნობილია მექანიკიდან, ხახუნის წინაღობის ძალა საკისრებში ტოლია:

$$W_{საკ} = G_{საერთო} \frac{d}{D} f_1 (კგ), \quad (107)$$

სადაც: $W_{საკ} — (კგ)$ არის ხახუნის წინაღობა ღერძის საკისრებში;
 $G_{საერთო} — (კგ)$ — თვით ურჩისა და მასზე დადებული ტვირთის საერთო წონა;

D —(სმ)—თვლის დიამეტრი;

d —(სმ)—ლერძის პოპოჭიკის დიამეტრი;

f_1 —სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი.

ხახუნის წინაღობა თვალსა და იატაკს ან რელსს შორის განისაზღვრება ფორმულით:

$$W_{\text{თვ}} = G_{\text{საერთო}} \frac{f_2}{R} \quad (\text{კგ}) \quad (108)$$

მაღაც: $W_{\text{თვ}}$ — (კგ) არის ხახუნის წინაღობა თვალსა და იატაკს ან რელსს შორის;

f_2 —(სმ)—გორგის ხახუნის კოეფიციენტი;

R —(სმ)—თვლის რადიუსი.

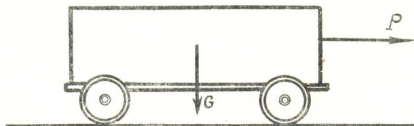
მოდრაობის საერთო წინაღობა (თუ მხედველობაში არ მივიღებთ ჰაერის წინაღობას და სიჩქარის შეცვლას) ტოლი იქნება:

$$W_s = W_{\text{საკ.}} + W_{\text{თვ}} = G_{\text{საერთო}} \frac{d}{D} f_1 + G_{\text{საერთო}} \frac{f_2}{R},$$

ანუ

$$W_s = G_{\text{საერთო}} \left(\frac{d}{D} f_1 + \frac{f_2}{R} \right). \quad (109)$$

თუ ურიკა ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოძრაობს (ნახ. 62), მაშინ წევის კოეფიციენტი ტოლი გამოდის:



ნახ. 62. ურიკა ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე.

$$\mu_{\text{წ}} = \frac{P}{G_{\text{საერთო}}} = \frac{G_{\text{საერთო}} \left(\frac{d}{D} f_1 + \frac{f_2}{R} \right)}{G_{\text{საერთო}}},$$

ანუ

$$\mu_{\text{წ}} = \frac{d}{D} f_1 + \frac{f_2}{R} \quad (110)$$

თუ ურიკა აღმართ-დაღმართში მოძრაობს (ნახ. 63), მაშინ ძალთა პარალელოგრამიდან მივიღებთ შემდეგს:

$$N = G_{\text{საერთო}} \cdot \cos \alpha; \quad T = G_{\text{საერთო}} \cdot \sin \alpha.$$

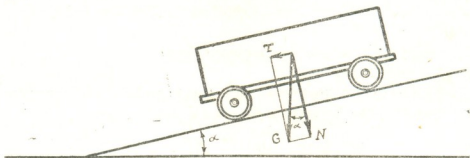


მოდრაობის წინალობა, რასაც ჰქმნის ნორმალური შემდგენელი ნება ანალოგიური ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოძრაობის წინალობისა და ტოლი იქნება:

$$\mu_5 \cdot N = \mu_5 \cdot G_{\text{საერთო}} \cos \alpha.$$

მხები შემდგენელი კი T , აღმართში მოძრაობის დროს ამ წინალობას მიემატება $(+T)$, დაღმართში კი მოაკლდება $(-T)$.

ამიტომ ძალა P_a , რომელიც საჭიროა ურეკის აღმართში ასაგორებლად, ტოლი იქნება:



ნახ. 63. ურეკა აღმართ-დაღმართში.

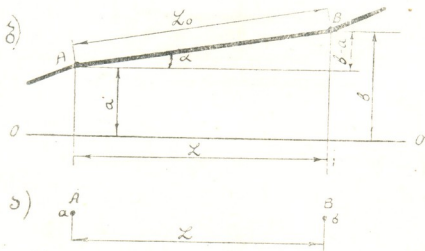
$$P_a = \mu_5 \cdot G_{\text{საერთო}} \cos \alpha + G_{\text{საერთო}} \sin \alpha = G_{\text{საერთო}} (\mu_5 \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (111)$$

დაღმართში კი:

$$P_d = \mu_5 G_{\text{საერთო}} \cos \alpha - G_{\text{საერთო}} \sin \alpha = G_{\text{საერთო}} (\mu_5 \cos \alpha - \sin \alpha). \quad (112)$$

ფორმულები (111) და (112) შეგვიძლია ერთ ფორმულაში გავეერთიანოთ:

$$P = G_{\text{საერთო}} (\mu_5 \cos \alpha \pm \sin \alpha). \quad (113)$$



ნახ. 64. გზის პროფილი და გეგმა.

აღმართ-დაღმართი კუთხის (α) განსაზღვრა. გზების გაყენის დროს, შეუღებრივად სარგებლობენ ადგილის ტოპოგრაფიული გეგმით, რომელზე-



დაც მოცემულია (ზედ აწერია) გზის ხაზის სხვადასხვა წერტილის სიმაღლე მეტრობით (a და b ნახ. 64, ა) ან ზღვის დონესთან შედარებით (აბსოლუტური სიმაღლე) ან რაიმე სხვა დონესთან შედარებით, რომლის სიმაღლე პირობით 0-ად არის მიჩნეული (შეფარდებითი ან პირობითი სიმაღლე). ამიტომ აღმართ-დაღმართის კუთხის α -ს გასაგებად საჭიროა განვიხილოთ გზის პროექცია, ე. ი. ადგილის კრილი ვერტიკალური სიბრტყითი (ნახ. 64, ბ). შეფარდებას $\frac{b-a}{L} = i$ ქანობი ეწოდება.

აღმართ-დაღმართის კუთხე α კი ტოლი იქნება:

$$\alpha = \arctg i = \arctg \frac{b-a}{L}. \quad (114)$$

აღსანიშნავია, რომ მანძილი A და B წერტილებს შორის— L ტოპოგრაფიულ რუკაზე უშუალოდ განზომილი, არ იძლევა ნამდვილ მანძილს ამ წერტილებს შორის მიწის ზედაპირზე, არამედ წარმოადგენს ამ მანძილის ჰორიზონტალურ პროექციას. ამიტომ ფაქტიური (საანგარიშო) მანძილი A და B წერტილებს შორის ტოლი იქნება:

$$L_0 = \frac{L}{\cos \alpha}. \quad (115)$$

ვაგონეტების მუშაობის გაანგარიშება. ზემოთ ნახმარ აღნიშვნებს დაუშვავტოთ შემდეგი აღნიშვნები:

- $Q - \left(\frac{კგ}{ს} \right)$ — ერთ საათში გასაზიდი ტვირთის წონა;
- $V_3 - (მ^3)$ — ვაგონეტის ტევადობა მოცულობით;
- $G_1 - (კგ)$ — ვაგონეტის ტევადობა წონით;
- $G_0 - (კგ)$ — ვაგონეტის საკუთარი წონა;
- $\tau_1 - (წმ)$ — ვაგონეტის დატვირთვის ხანგრძლიობა;
- $\tau_2 - (წმ)$ — დატვირთული ვაგონეტის მოძრაობის ხანგრძლიობა;
- $\tau_3 - (წმ)$ — ვაგონეტის განტვირთვის ხანგრძლიობა;
- $\tau_4 - (წმ)$ — ცარიელი ვაგონეტის მოძრაობის ხანგრძლიობა;
- $\tau - (წმ)$ — ვაგონეტის ერთი ბრუნვის ხანგრძლიობა;
- $L_0 - (მ)$ — ტვირთზიდვის მანძილი;
- $\omega_{\text{დატ.}} - \left(\frac{მ}{წმ} \right)$ — დატვირთული ვაგონეტის მოძრაობის სიჩქარე;
- $\omega_{\text{ცარ.}} - \left(\frac{მ}{წმ} \right)$ — ცარიელი ვაგონეტის მოძრაობის სიჩქარე;
- k — ვაგონეტის ბრუნვათა რაოდენობა ერთ საათში;
- $b - \left(\frac{კგ}{ს} \right)$ — ტვირთის წონა, რასაც ვაგონეტი ერთ საათში გადაიტანს;
- π — ვაგონეტების რაოდენობა.

ვაგონეტების მუშაობის გაანგარიშება შემდეგი თანმიმდევრობით ჩატაროთ:

ვაგონეტის ტევადობა წონით შეადგენს:

$$G_{\Sigma} = V_{\Sigma} \cdot \gamma_{\Sigma} \text{ (კგ).}$$

ერთი ვაგონეტისათვის საჭირო წვეის ძალა ფორმულის (113) თანახმად შეადგენს:

დატვირთულისათვის:

$$P_{\Sigma \text{ტ.}} = (G_1 + G_0) (\mu_{\Sigma} \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha), \quad (116)$$

ცარიელისათვის:

$$P_{\Sigma \text{არ.}} = G_0 (\mu_{\Sigma} \cos \alpha \pm \sin \alpha), \quad (116 \text{ ა})$$

სადაც μ_{Σ} და α უნდა განესაზღვროთ ფორმულების (110) და (114) მიხედვით. დატვირთული ვაგონეტის მოძრაობის ხანგრძლიობა

$$\tau_2 = \frac{L_0}{a_{\Sigma \text{ტ.}}} \text{ (წმ).} \quad (117)$$

ცარიელი ვაგონეტის მოძრაობის ხანგრძლიობა

$$\tau_4 = \frac{L_0}{a_{\Sigma \text{არ.}}} \text{ (წმ).} \quad (118)$$

ფორმულებში (117) და (118) ჩასასმელად L_0 უნდა განესაზღვროთ ფორმულის (116) მიხედვით; ვაგონეტის ერთი ბრუნვის ხანგრძლიობა

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 \text{ (წმ),}$$

სადაც τ_1 —(წმ)—ვაგონეტის დატვირთვის ხანგრძლიობა და

τ_2 —(წმ)—ვაგონეტის განტვირთვის ხანგრძლიობა აღებული უნდა იქნას ამ ოპერაციის ჩატარების ხასიათის მიხედვით.

ერთი ვაგონეტი ერთ საათში გააკეთებს ბრუნვას:

$$k = \frac{360}{\tau} \quad (119)$$

და გადაიტანს ტვირთს რაოდენობით:

$$b = k \cdot G_1 \left(\frac{\text{კგ}}{\text{ს}} \right). \quad (120)$$

ურიკების საჭირო რაოდენობა შეადგენს:

$$n = \frac{Q}{b} \text{ (ცალი).} \quad (121)$$

შემდგომი გაანგარიშება დამოკიდებულია არჩეული წვევის ძალის სახეობაზე. ვაგონეტის ხელით ვაგონების დროს ერთი მუშის ძალა უნდა აეიღოს: $P \leq$

$\leq (20 + 25) \text{ კგ}$ და მოძრაობის სიჩქარე $w = 0,75 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$. ერთ ვაგონეტზე პრაქ-

ტიკულად ორ მუშაზე მეტი ვერ იმუშავენ. ამიტომ იმ შემთხვევაში, როდესაც წვევის ძალა 40—50 კგ-ზე მეტი გამოდის, უნდა გამოვიყენოთ მუშა-საქონელი. სათანადო მონაცემები მუშა-საქონლის შესახებ მოყვანილია მე-11 ცხრილში.

დიდი წვევის ძალის დროს უნდა მივმართოთ მექანიკურ წვევის ძალას. ამის განხორციელება ორნაირად შეიძლება: 1) გამწვევი ძრავი დავაყენოთ სტაციონარულად და წვევა გავახორციელოთ ბაგირის საშუალებით. ამისათვის მოხერხებულია ჯალამბარის ხმარება (იხ. ქვემოთ) და 2) ვაგონეტს, ან

დასახელება	წვევის ძალა კგ	ცხრილი 11 მოძრაობის სიჩქარე მ წმ
ცხენი . . .	75	1,1 ÷ 1,2
ხარი . . .	75	0,8
ვირი . . .	50	0,8

შეიძლება ვაგონეტებისაგან შემდგარ მთელ მატარებელს, შევუბათ სატრანსპორტო გამწვევი მანქანა, რომელიც მატარებელთან ერთად ივლის. სატრანსპორტო გამწვევ მანქანებში ძრავის ნაწილი (ზოგიერთ მანქანაში 0,5-მდე) საკუთარ გადაადგილებაზე იხარჯება. ამიტომ წვევითი გაანგარიშების დროს ვიხელმდევანელოთ ე. წ. „სიმძლავრით კავზე“. ეს ის სიმძლავრეა, რომელსაც ძრავი გამწვევ კავზე ავითარებს და რომელიც შეიძლება მთლიანად მოხმარდეს ტვირთის გაწვევას.

როგორც მექანიკიდან ვიცით, სიმძლავრე განზომილი ცხენის ძალე-ბით ტოლია

$$N \text{ ც. ძ.} = \frac{P \cdot w}{75 \cdot \eta},$$

სადაც:

P —(კგ) არის ძალა;

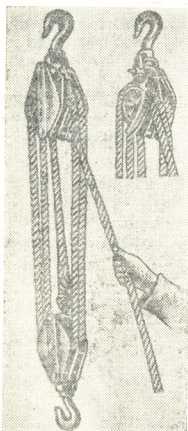
w — $\left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}\right)$ —მოძრაობის სიჩქარე.

η —გადამცემი მექანიზმის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

როგორც ეს ფორმულა გვიჩვენებს, ერთი და იმავე სიმძლავრის ფარგლებში შეგვიძლია გავზარდოთ წვევის ძალა (P) სიჩქარის (w) ხარჯზე და პირიქით (მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვალებადობას მხედველობაში არ ვიღებთ). ზოგიერთ სატრანსპორტო მანქანაში, როგორც არის, მაგალითად, ტრაქტორები და ავტომანქანები, აქვთ სპეციალური მექანიზმი („სიჩქარეთა კოლოფი“), რომელიც ძრავიდან თვლებზე გადაცემის შეცვლის საშუალებით ან ამცირებს მოძრაობის სიჩქარეს და ამით აღიდებს წვევის ძალას, ან, პირიქით, აღიდებს სიჩქარეს და ამით ამცირებს წვევის ძალას. საპირო მონაცემები სატრანსპორტო გამწვევი მანქანების შესახებ მრავლად მოიპოვება სპეციალურ ლიტერატურაში.

ამწეების დანიშნულება. ამწეების დანიშნულებას შეადგენს ტვირთების აწევ-დაწევა, უფრო ხშირად, ვერტიკალური მიმართულებით, ზოგჯერ კი დახრილი მიმართულებითაც.

პოლისპასტები და ტალები. უმარტივეს ამწვე საშუალებას წარმოადგენს პოლისპასტი და ტალი. პოლისპასტი შედგება ორი მჭიდვსაგან (ზედა და ქვედა). თითოეულ მჭიდვში ერთ საერთო ღერძზე თავისუფლად დაყენებულია რამდენიმე ქალი. ზედა მჭიდვ მუდამ უძრავად არის ჩამოკიდებული, ქვედა მჭიდვს კი აქვს კავი, რომელზედაც ასაწევი ტვირთი კიდია. ორივე მჭიდვის ყველა ქალზე შემოხვეულია ერთი მთლიანი ბაგირი. ამ ბაგირის გაწევით ხდება ქვედა მჭიდის და მასზე ჩამოკიდებული ტვირთის აწევა (ნახ. 65).



ნახ. 65. პოლისპასტი.

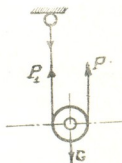
თავისთავად აღებულ ერთ ქალში, თუ ის დამაგრებულია (ნახ. 66), უძრაობის დროს ბაგირის ორივე შტოს დაჭიმვა და ასაწევი ტვირთის წონა ტოლნი არიან:

$$P = P_1 = G.$$

როგორც კი ქალი დატრიალდება, შეიქმნება მოძრაობის წინაღობის ძალა (ბაგირის სიხისტე და ხახუნი ღერძზე). ამიტომ ტვირთის (G) ასაწევად საჭირო ძალა (P) ტოლი იქნება:



ნახ. 66. დამაგრებული ქალი.



ნახ. 67. მოძრავი ქალი.

$$P = \frac{G}{\eta},$$

სადაც: η არის ქალის მარგი ქმედების კოეფიციენტი. თუ ქალი მოძრავია (ნახ. 67), მაშინ გვექნება:

$$P + P_1 = G; \quad P = \frac{P_1}{\eta} = \frac{G - P}{\eta},$$

აქედან ამწევი ძალა ტოლი გამოდის:

$$P = \frac{1}{1+\eta} G. \quad (122)$$

მაგალითად, თუ ასაწევი ტვირთის წონა $G = 100$ კგ და ქალის მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\eta = 0,96$, მაშინ საჭირო ამწევი ძალა P ტოლი იქნება:

უძრავად დამაგრებული ქალისათვის (ნახ. 66) ფორმულის (121) თანახმად:

$$P = \frac{100}{0,96} \cong 104 \text{ კგ}$$

ე. ი. ამწევი ძალა ასაწევ ტვირთზე ცოტა მეტია.

მოდრავი ქალისათვის კი (ნახ. 67) ფორმულის (122) თანახმად:

$$P = \frac{1}{1+0,96} \cdot 100 = 51 \text{ კგ.}$$

ე. ი. ამწევი ძალა დაახლოებით შეადგენს ასაწევი ტვირთის ნახევარს; მაშასადამე, მხოლოდ ერთი ქალის რაციონალური დაყენება ამწევი ძალის ეკონომიას გვაძლევს. თუ აღვნიშნავთ განვლილ მანძილს: G ტვირთისათვის— h_g ; P ძალისათვის— h_p , და მოძრაობის სიჩქარეს შესაბამისად— w_g და w_p , მაშინ დამაგრებული ქალისათვის (ნახ. 66) იქნება:

$$h_g = h_p \text{ და } w_g = w_p;$$

მოდრავი ქალისათვის კი (ნახ. 67):

$$h_p = 2 h_g \text{ და } w_p = 2 w_g,$$

ე. ი. მოძრავ ქალში ბაგირის გამწევი ბოლოს ქალიდან გადმოსვლის სიჩქარე ორჯერ მეტია ტვირთის აწევის სიჩქარეზე და ქალიდან გადმოსული ბაგირის სიგრძე ორჯერ მეტია ტვირთის აწევის სიმაღლეზე.

მრავალქალიან ბოლისპასტებში შეფარდება ასაწევი ტვირთის წონასა (G) და ამწევ ძალას (P) შორის დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელი ქალიდან ჩამოდის ბაგირის გამწევი ბოლო: ზედა (უძრავი) მჭიდის, თუ ქვედა (მოდრავი) მჭიდის ქალიდან. თუ ბაგირის გასაწევი ბოლო ზედა (უძრავი) მჭიდის თალიდან ჩამოდის, მაშინ ორქალიანი ბოლისპასტისათვის (ნახ. 68): $P = \frac{Q}{2\eta}$, სამქალიანისათვის (ნახ. 69): $P = \frac{Q}{3\eta}$, ოთხ-

ქალიანისათვის (ნახ. 70): $P = \frac{Q}{4\eta}$, საერთოდ კი:

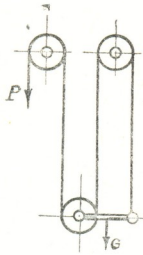
$$P = \frac{Q}{\eta \cdot n}, \quad (123)$$



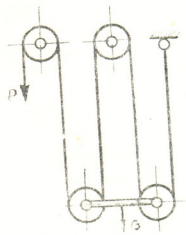
ნახ. 68. ორქალიანი ბოლისპასტი.

სადაც n არის ქალების რიცხვი. ამ შემთხვევაში n არის აგრეთვე ბაგირის ამტანი შტოების რიცხვიც. თუ ტვირთის აწევის სიმაღლე არის h_6 , მაშინ ბაგირის თითოეული ამტანი შტო ამ სიდიდით უნდა დამოკლდეს და საერთო სიგრძე ბაგირისა, რომელიც უკანასკნელი ქალიდან გადმოვა, ტოლი იქნება:

$$h_6 = n \cdot h_6,$$



ნახ. 69. სამქალიანი პოლისპასტი.

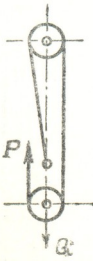


ნახ. 70. ოთხქალიანი პოლისპასტი.

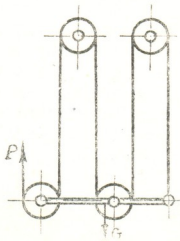
ცხადია, რომ

$$\omega_6 = n \cdot \omega_6.$$

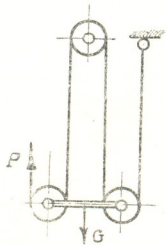
თუ ბაგირის გასაწევი ბოლო ქვედა (მოძრავი) მქიდის ქალიდან ჩამოდის, მაშინ ბაგირის ამტანი შტოების რაოდენობა ერთით მეტია ქალების რაოდენობაზე. ამიტომ ორქალიანი პოლისპასტისათვის (ნახ. 71): $P = -\frac{Q}{3 \cdot \eta}$, სამქალი-



ნახ. 71. ორქალიანი პოლისპასტი.



ნახ. 72. სამქალიანი პოლისპასტი.



ნახ. 73. ოთხქალიანი პოლისპასტი.

ნისათვის (ნახ. 72): $P = \frac{Q}{4 \cdot \eta}$, ოთხპალიანისათვის (ნახ. 73): $P = \frac{Q}{5 \cdot \eta}$,
ერთო კი:

$$P = \frac{Q}{(n+1) \cdot \eta} \quad (124)$$

ბაგირის საერთო სიგრძე, რომელიც უკანასკნელი პალიდან გადმოვა, ტოლი იქნება:

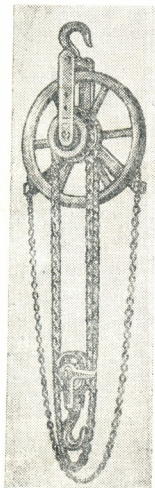
$$h_a = (n+1) h_b$$

სიჩქარეთა შეფარდება კი:

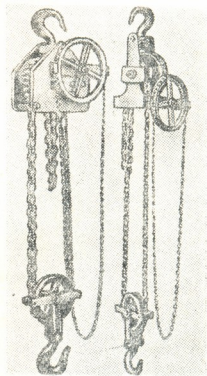
$$\frac{\omega_a}{\omega_b} = n+1, \text{ აქედან: } \omega_a = (n+1) \omega_b.$$

ტალი მოქმედებს იმავე პრინციპზე, როგორც პოლისპასტი, მხოლოდ უფრო ხშირად ბაგირის მაგივრად გამწვევ ელემენტად ჯაჭვი იხმარება (ნახ. 74).

ხშირად ტალს უკეთებენ გადაცემას ან კბილანებით (ნახ. 75) ან კიახრაზნულით (ნახ. 76) ჩვეულებრივად ტალები მზა სახით გამოდიან მანქანათმშენებელი ქარხნებიდან განსაზღვრული ტვირთშეიდაობით და ტვირთის აწევის სიმაღლით.



ნახ. 74. ჯაჭვიანი ტალი.



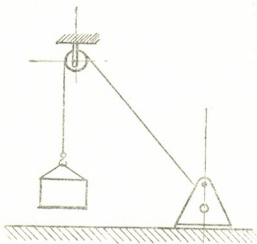
ნახ. 75. ტალი კბილანა გადაცემით.

ნახ. 76. ტალი კიახრაზნული გადაცემით.

პოლისპასტებში ტალების მარგი ქმედების კოეფიციენტის შეფასების დროს შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ მე-12 ცხრილით.

ჭაღების რაოდენობა "	2	3	4	5	6	7	8	9	10
მ. ტ. კ. უ	0,94	0,92	0,9	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,81

ჯალამბარი. ჯალამბარი ძირითადად ამწვე მანქანას წარმოადგენს, მაგრამ მას ხშირად ხმარობენ აგრეთვე, როგორც დატვირთული ბაგირის გამწვე მანქანადაც.



ნახ. 77. ჯალამბარის გამოყენება ტვირთის აწევაზე.

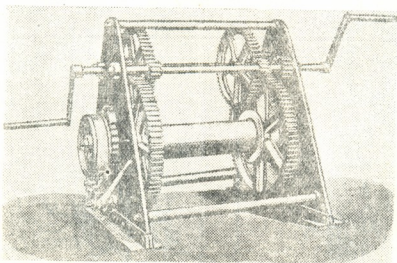
ჯალამბარს შეუძლია გასწიოს დატვირთული ბაგირი როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტალური მიმართულებით. ნახ. 77-ზე ჯალამბარი მუშაობს ტვირთის აწევაზე, ხოლო ნახ. 78-ზე კი ჯალამბარი ვაგონეტს ეწევა.

ზოგიერთ ამწვე მანქანაში ჯალამბარი შედის როგორც ბაგირის გამწვე.



ნახ. 78. ჯალამბარის გამოყენება ჯოჯის გაწევაზე.

ვი ელემენტი (მაგ, ლიჭტებში, იხ. ქვემოთ). ჯალამბარის ძირითად ნაწილს შეადგენს დოლი, რომელზედაც დახვეულია ბაგირი. დოლის ამოძრავება



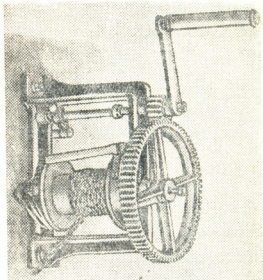
ნახ. 79. ჯალამბარი კბილანა გადაცემით.

მარტივ დანადგარებში ხდება სახელურის საშუალებით; უფრო დიდ ტვირთ-ამტან ჯალამბარებში სახელურიდან დოლამდე ეწყობა კბილანებით გადაცემა



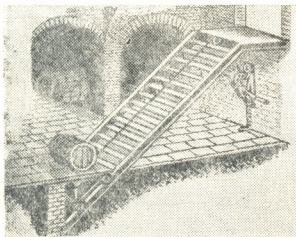
(ნახ. 79), მძიმე ჯალამბრებში კი დოლის ამოძრავება ხდება ძრავის (უფრო სწორად ელექტრომოტორის) საშუალებით.

მსუბუქი ჯალამბარი ადვილად მაგრდება კრონშტეინის საშუალებით კედელზე (ნახ. 80) ჯალამბარი შეიძლება დიდგას გორგოლაკებზე, რაც საშუალებას იძლევა ადვილად შეცვალოთ მისი მუშაობის ადგილი. ჯალამბარს ჩვენი მანქანათმშენებელი ქარხნები უშვებენ სხვადასხვა ტიპისას საჭიროებისდა მიხედვით. ზოგიერთ ჯალამბარში მოწყობილია ცვალებადი გადაცემა, რომელიც სიჩქარეთა კოლოფის მსგავსად იძლევა საშუალებას გამწევი ძალა გავადიდოთ სიჩქარის ხარჯზე და პირიქით.



ნახ. 80. კედელზე დაჭაგრებული ჯალამბარი.

დახრილი ამწევი ურიკა. ნახ. ნახ. 81 და 82 ნაჩვენებია დახრილი ამწევი ურიკა, რომელიც მოხერხებულად გამოიყენება ლეინის ქარხნებში კასრების ერთი სართულიდან მეორეში ასატან-ჩაშოსატანად. ყველაზე უფრო გამოსადეგია ეს ურიკა სარდაფსა და ეზოს შორის კასრების მოძრაობისათვის. ურიკის გასაწეველ შეგვიძლია ვიხმაროთ ჯალამბარი. ჯალამბრის შერჩევისათვის უნდა განვსაზღვროთ საჭირო წვეის ძალა. წვეის ძალის განსაზღვრა უნდა მოვახდინოთ ისე, როგორც ეს აღნიშნულია § 10-ში.



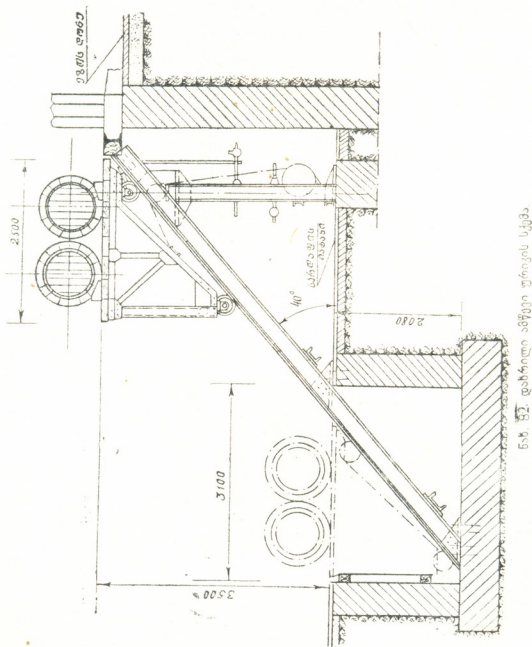
ნახ. 81. დახრილი ამწევი ურიკა (სურათი).

შტაბელიორი. ნახ. 83-ზე მოყვანილია ე. წ. შტაბელიორი, რომელიც წარმოადგენს ვერტიკალურად ასაწევ პლატფორმას. პლატფორმა აღი-ჩამოდის ვერტიკალურ რკინის ჯოხებზე. მთელი კონსტრუქცია დაყენებულია გორგოლაკებზე, ასე რომ პლატფორმას, გარდა აწევ-დაწევისა, შეუძლია ტვირთის გადატანაც. პლატფორმის ამწევ მექანიზმად გამოყენებულია ხელით სამუშაო ჯალამბარი.

შტაბელიორის გამოყენება მიზანშეწონილია კასრების შტაბელზე დაწყობისათვის. ჯალამბრის შერჩევისათვის საჭირო წვეის ძალა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$P = \frac{Q_0 + Q_1}{\eta} \quad (38) \quad (125)$$

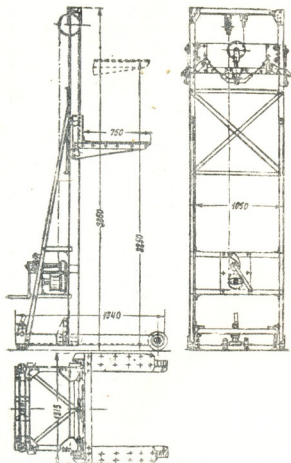
სადაც: P —(კვ) არის საჭირო წვევის ძალა ბაგირზე;
 Q_0 —(კვ) —ამწვევი პლატფორმის საკუთარი წონა;
 Q_1 —(კვ) —საწვევი ტვირთის წონა;
 η —მიმმართველი ჭაღების მარგი ქმედების კოეფიციენტი;



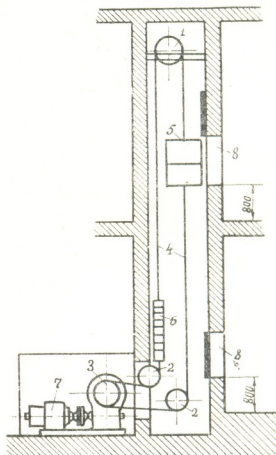
ლიფტი. ლიფტი წარმოადგენს ამწვე მანქანას, რომელიც მხოლოდ ვერტიკალურად მუშაობს. მისი პრინციპული სკემა მოყვანილია ნახ. 84-ზე.

შენობაში გამოყოფილია შახტისებრი სათავსო, რომელიც გადის შენობის ყველა სართულში. ეს სათავსო შეიძლება შემოფარგლული იყოს კაპიტალური კედლებით, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 84-ზე, ანდა მავთულის ბადით. ამ შემთხვევაში ამწის სათავსოში სპეციალური ამტანი კონსტრუქცია

კია იდგება, რომელსაც ამწის უჯრედი ეწოდება. უჯრედის ზემო ნაწილში დაფარებულია დატვირთული ქალი (1), ქვემო ნაწილში კი დაყენებულია ორი მიმართველი ქალი (2). ყველა ამ ქალზე და აგრეთვე ჯალამბრის დოლზე (3) გადაქიშულია უსასრულო გამწვევი ბაგირი (4). ბაგირის ერთ შტოზე დამა-



ნახ. 83. შტაბელიორი.

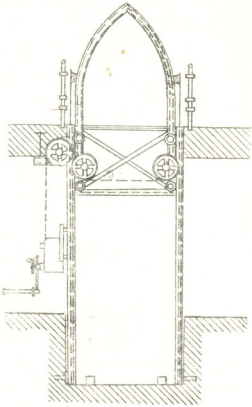


ნახ. 84. ლიფტის სქემა.

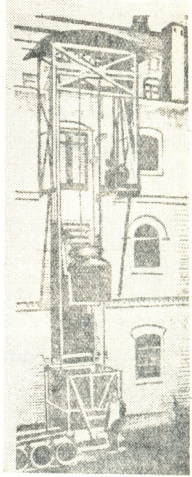
რბეულია ტვირთის კაბინა (5) ან პლატფორმა, ბაგირის მორე შტოზე კი საპირწონე (6). ჯალამბარს და მასთან ერთად გამწვევ ბაგირს ამოძრავებს ელექტრომობოტორი (7). შენობის ყოველ სართულზე უჯრიდს გაკეთებული აქვს სარკმელები (8), რომლებიდანაც ხდება ლიფტის როგორც დატვირთვა, ისე განტვირთვა. ნახ. 85-ზე მოყვანილია ხელით სამუშაო ლიფტის სქემა, რომელიც იხმარება, ჩვეულებრივად, შედარებით მსუბუქი ტვირთის ასატანად ერთი სართულიდან მეორეში. უჯრედი (1) გაკეთებულია რკინის კონსტრუქციისა. ამ უჯრედში ქალებზე ჩამოკიდებულია ტვირთის კაბინა (2). კაბინის აწევ-დაწევა ხდება ხელით სამუშაო ჯალამბარის (3) საშუალებით. ზოგჯერ, როდესაც შიგ შენობაში აღდგოის სივნიწოეა, ლიფტი შენობის გარეთ იდგმება (ნახ. 86). ლიფტის გამოყენება მელვინებომაში მიხანშეწონილია კასრების ასატანად მრავალსართულიან ლვინის ქარხნებში, როდესაც სართულებს შორის ხშირი მიმოსვლაა. ლიფტი შეიძლება გამოვიყენოთ ბოთლების ასატანადაც. ამისათვის უფრო მოხერხებულია ბოთლების ყუთებში წინასწარ ჩალაგება. შეიძლება



ბოთლები წინასწარ ჩაეღებოთ ხელით საგორებელ ურიკაში და ეს ლიფტის პლატფორმაზე შეეგვროთ. ლიფტს უკეთდება საპირწონე, დანიშნულებაა გაწევის ძალის შემცირება. საპირწონე შემდეგ პრინციპზე მუშაობს: წარმოვიდგინოთ, რომ კალზე გადაკიდებული ბაგირი, რომლის ერთ ბოლოზე კიდია საპირწონე G (ნახ. 87) და მეორეზე კი ლიფტის კაბინა Q . თუ $Q = G$, მაშინ (თუ მხედველობაში არ მივიღებთ ბაგირის

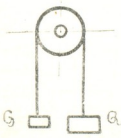


ნახ. 85. ხელით სამუშაო ლიფტი.



ნახ. 86. შენობის გარეთ დაყენებული ლიფტი.

წონას) სისტემა წონასწორობაშია და მოძრაობაც არ გვექნება. კაბინის ასაწევად საჭირო იქნება სულ უმნიშვნელო ძალა, რომელიც საწყისში აჩქარებას მიანიჭებს და შემდეგ კი დაიხარჯება ბაგირის სიხისტისა და კალში მოძრაობის წინაღობათა დასაძლევად. ფაქტიურად ასეთი გაწონასწორება არ ხერხდება, რადგანაც, კაბინის დატვირთვა ცვალებადია. ამიტომ მიღებულია, რომ საპირწონეს წონა უნდა უდრიდეს კაბინის საკუთარ წონას ასაწევი ტვირთის წონის ნაწილის მიმატებით, ე. ი.:



ნახ. 87. სკემა საპირწონეს გაანგარიშებით-სათვის.

$$G = P + \epsilon Q \quad (\text{კგ}), \quad (126)$$

სადაც: G —(კგ) არის საპირწონეს წონა;
 P —(კგ)—კაბინის საკუთარი წონა;

Q—(კგ)—სასწვევი ტვირთის წონა;

c—კოეფიციენტი, რომელიც მერყეობს 0,3 ÷ 0,5. ამის შესაბამისად ლიფტში (ნახ. 88) ბაგირის გამწვევ შტოზე საჭირო გაწვევის ძალა ტოლი იქნება:

$$S_1 = P + Q,$$

დამწვევ შტოზე კი:

$$S_0 = G.$$

მაშასადამე, გაწვევის ძალა, რომელიც უნდა განავითაროს ჯალამბარის დოღმა ტოლი, იქნება:

$$S = S_1 - S_0 = P + Q - G \quad (127)$$

და საჭირო სიმძლავრე კი უდრის:

$$N = \frac{S \cdot \omega}{75 \cdot \eta} \quad (\text{კვ. ძ.}), \quad (128)$$

სადაც: $\omega = \left(\frac{\pi}{60} \right)$ არის მოძრაობის სიჩქარე;

η —ჯალამბარის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

მოძრაობის სიჩქარე უნდა შევარჩიოთ მე-13 ცხრილის მიხედვით.

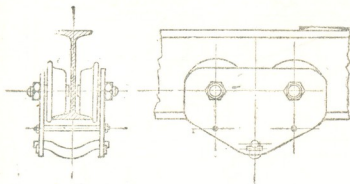
ჯალამბარის მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\eta = 0,4 \div 0,8$ გადაცემის სისტემის მიხედვით.

§ 12. კიდულნი გზები

მაგარი მასალის გადაზიდვისათვის იხმარება კიდული გზა. სათავსოში გამოყენების დროს კიდული გზა ფართობის ეკონომიის იძლევა, რადგანაც უმეტეს შემთხვევაში მას ცალკე ფართობი არ ჭირდება. ნახ. 89-ზე მოყვანილია უმარტივესი კიდული გზა: ორტესებრი კოჭი, რომელსაც მონორელსი ეწოდება, დამაგრებულია სათავსო ჭერზე ან უშუალოდ გადახურვაზე. მის ქვედა თაროზე დაგო-

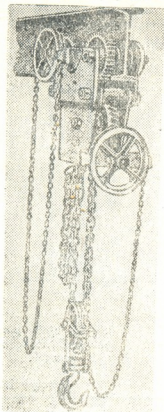
ცხრილი 13.	
სასწვევი ტვირთის წონა კგ	მოძრაობის სიჩქარე $\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$
100	0,4 ÷ 0,8
500 ÷ 1000	0,4 ÷ 0,5
3000	0,2 ÷ 0,3
5000	0,1 ÷ 0,16

რავს თვლიანი ურიკა, რომელსაც კატა ეწოდება. კატას ქვემო ნაწილში დამაგრებული აქვს ტრავერსი, რომელზედაც ჩამოიკიდება ტვირთი. კატის გადაადგილება ხდება ხელით (კატაზე დამაგრებული ჯაჭვის ან ბაგირის გაწვევით). ასეთი მოძრავე კატა გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც გადასაზიდია მცირე



ნახ. 89. ხელით საფორბელი კატა.

წონის ტვირთი, მცირე სიჩქარით და როდესაც მოძრაობა მონორელსზე იხსნება, ისე ხშირია. მძიმე ტვირთის გადასაზიდად იხმარება გადაცემიანი კატა (ნახ. 90).

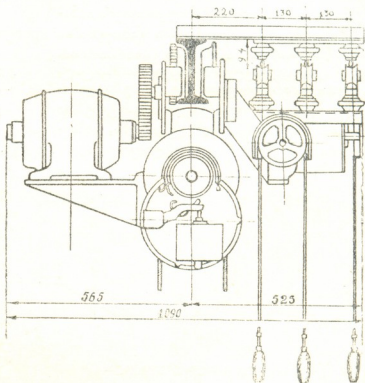


ნახ. 90. გადაცემიანი კატა.

ლად გამოიყენება აგრეთვე უნდა გაუკეთდეს საყუთარი საყრდენები.

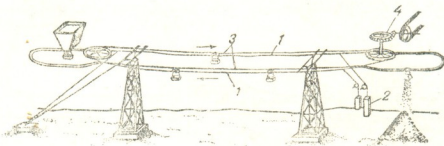
კიდულ გზებს ეკუთვნის აგრეთვე ბაგირიანი გზა. ყველაზე უფრო მიღებულია ე. წ. ორბაგირიანი გზა. მიხი სქემა მოყვანილია ნახ. 92-ზე. ორბაგირიან გზას ორი ბაგირი აქვს: ერთი (1) წარმოადგენს ამტან ბაგირს. ის უძრავად არის დამაგრებული საყრდენებზე (უფრო ხშირად ხის ან რკინის ანძებზე) და მასზე დაგორავს ურიკები, რომლებზედაც ჩამოკიდე-

90). გადაცემა უმეტეს შემთხვევაში განხორციელებულია კბილანებით. კატის ერთ-ერთ ღერზე აყენებენ ჯაჭვიან ბორბალს, ჯაჭვის სათანადო შტოს ხელით ჩამოვწევთ; ამით მოხდება გადამცემი მექანიზმის ამოძრავება და კატის გადაადგილება სასურველი მიმართულებით. ასეთი კატის ტრავერსზე, ჩვეულებრივად, იკიდება მარტივი ამწევი მექანიზმი (უფრო ხშირად ხელით სამუშაო ტალი). ამ ამწევი მექანიზმსაც აქვს გადაცემა (ზოგჯერ კბილანებით, ზოგჯერ ქიხრახნული), რომელიც აგრეთვე ჯაჭვიანი ბორბლით ამოძრავდება და მოახდენს ტვირთის აწევ-დაწევას. იმ შემთხვევაში, როდესაც მონორელსზე მოძრაობა ხშირია და გადასაზიდია მძიმე ტვირთი, იხმარება ე. წ. ტელფერი, რომელშიაც კატის მონორელსზე მოძრაობა ხდება ელმოტორის საშუალებით (ერთმოტორიანი ტელფერი). ზოგჯერ ტელფერს უდგანენ ორ ელმოტორს, რომელთაგანაც ერთი ამოძრავებს კატას, მეორე კი ახდენს ტვირთის აწევ-დაწევას. ასეთ ტელფერს ორმოტორიანი ტელფერი ეწოდება (ნახ. 91). მონორელსი ადგილ-სათავსოს გარეთაც. ამ შემთხვევაში მონორელსს



ნახ. 91. ორმოტორიანი ტელფერი.

ბულია ვაგონეტები. ამტან ბაგირს ორი შტო აქვს. ერთი ბოლო ამ შტოზე ბისა დამაგრებულია, მეორე ბოლოში კი ჩამოკიდებულია ტვირთი (2), რომელიც ბაგირს ჰქმნის. ვაგონეტების როგორც დატვირთვის, ისე განტვირთვის ადგილას ამტან ბაგირებთან დაყენებულია მონორელსები, რომელთა საშუალებითაც ხდება ურიკების გადაყვანა ამტანი ბაგირის ერთი შტოდან მეორეზე. ამტანი ბაგირის ზემოთ და უფრო ხშირად კი ქვემოთ განუწყვეტლივ მოძრაობს მეორე (გამწვევი) ბაგირი (3). ამ ბაგირზე განსაზღვრულ მან-

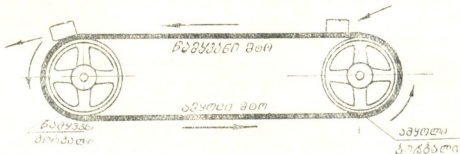


ნახ. 92. ორბაგირიანი კიდული გზა.

ძილზე დაყენებულია ამტაცები, რომლებიც იტაცებენ ურიკას და მიაგორებენ. ამ ბაგირის ამოძრავება ხდება ამძრავის (4) საშუალებით. როდესაც გზის მანძილი დიდია, მაშინ ამტანი ბაგირის გაჭიმვა მხოლოდ ერთი ადგილიდან შეუძლებელი ხდება; ამტანი ბაგირის გაჭიმვას ახორციელებენ რამდენსამე ადგილას, სადაც იდგმება შუალედი გამჭიმვი სადგურები. ბაგირიანი გზის გაყვანა მიზანშეწონილია ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც გზის ტრასა გადის მთაგორიან ადგილებში, გადაკვეთს ხრამებსა და მდინარეებს, ე. ი. იმ შემთხვევაში, როდესაც ჩვეულებრივი გზების გაყვანა ბევრად უფრო ძვირი ჯდება.

§ 13. ტრანსპორტიორები

ლენტისანი ტრანსპორტიორები. ლენტისანი ტრანსპორტიორი თავისი მოქმედების პრინციპით ლველურ გადაცემას მოგვაგონებს. წარმოვიდგინოთ, რომ



ნახ. 93. ლველურ გადაცემის სქემა.

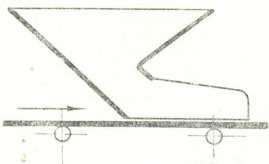
ორჯობობალზე გადაჭიმულია ლვედი (ნახ. 93). თუ ერთ ბორბალს ავბარუნებთ რაიმე ძალის საშუალებით, ამოძრავდება მთელი ლვედი და მეორე ბორბალიც აბრუნდება. თუ ამ ლვედის წამყვან შტოზე დავდებთ რაიმე ტვირთს,

ლევდი გადაიტანს ხას ბოლომდე. ამ შემთხვევაში ლევდი მუშაობს, როგორც ელემენტი და ამავდროულად როგორც გადამტანი ელემენტი. ასეთ სატრანსპორტო საშუალებას ლენტეხიანი ტრანსპორტიორი ეწოდება. ლენტეხიანი ტრანსპორტიორი იხმარება იმ შემთხვევაში, როდესაც გადასაზიდვია პირი-ზონტალური ან ცოტად დახრილ მიმართულებით ფხვიერი ან ნატეხივანი მასალა და აგრეთვე ცალბოთით ტვირთი, როგორიც არის ტომრები, ყუთები, ქასრები და სხვა.

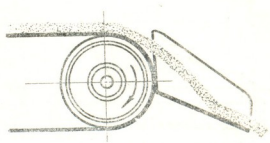
ლენტიანი ტრანსპორტიორის სქემა მოყვანილია ნახ. 94-ზე.

ნახ. 94. ლენტეხიანი ტრანსპორტიზაციის სქემა.

ტრანსპორტიორის განტვირთვა შეიძლება მოეხდინოთ ტრანსპორტიორის ბოლოში, სადაც ლენტი დოლს უფლის და იცვლის თავის მოძრაობის მიმართ.

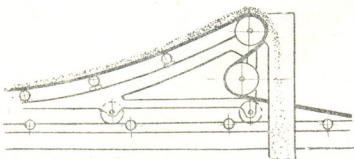


ნახ. 95. დამტვირთავი ძაბრი.

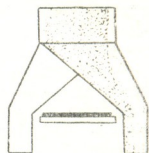


ნახ. 96. ლენტის ტრანსპორტიორის განტვირთვა ბოლოდან.

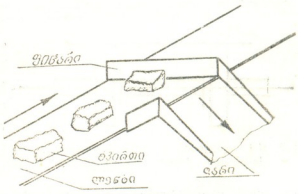
თულებას, მასალა კი ინერციის გამო ლენტიდან ღარზე გადმოიყრება (ნახ. 96). თუკი საჭიროა ტრანსპორტიორის განტვირთვა სხვადასხვა ადგილას, მაშინ იხმარება განმტვირთავი ურიკა (ნახ. 97), რომელზედაც დაყენებულია ორი მიმართველი დოლი. ტრანსპორტიორის ლენტი შემოხვეულია ამ დოლებზე.



ნახ. 97. განმტვირთავი ურიკა.

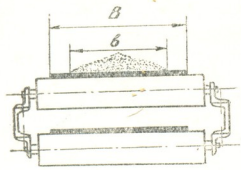


ზემო დოლზე ლენტი იცვლის თავის მოძრაობის მიმართულებას და მასალა კი ინერციის გამო ლენტიდან გადმოიყრება სპეციალურ ჭურჭელში, საიდანაც ღარების საშუალებით საჭირო ადგილას მიიმართება. ურიკის გადაადგილებით ადვილად შეიძლება შეიცვალოს განტვირთვის ადგილი. განტვირთვის ადგილის შესაცვლელად ზოგჯერ იხმარება ფარი (ნახ. 98), რომელიც იდგმება ლენტზე განივად ნებისმიერ ადგილას. გადასაზიდი ტვირთი ან მასალა მოედება ამ ფარს და გვერდით ღარზე ჩამოსრიალდება. ასეთი მოწყობილობა ურიკასთან შედარებით უფრო მარტივია, სამაგიეროდ ამ შემთხვევაში ლენტი უფრო მეტად იცვივება ლენტზე ტვირთის ხახუნის გამო. ვინაიდან ლენტის მოძრაობის დროს აწეილებელია მისი რხევა, ამიტომ (იხ. აგრეთვე § 2) მასალა ლენტის მთელ სიგანეზე არ იყრება.



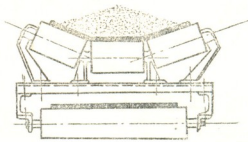
ნახ. 98. ლენტის ტრანსპორტიორის განტვირთვა ფარის საშუალებით.

ბა. ჩვეულებრივად მიღებულია, რომ $b \leq 0,8 B$. (ნახ. 99). ზოგჯერ და ნატეხოვანი მასალის გადაზიდვის დროს ტრანსპორტიორის მწარმოებლობის



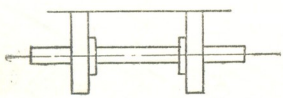
ნახ. 99. ლენტის ტრანსპორტიორის განივი კვეთი (ბრტყელი ლენტით).

გადისათვის. ტენიანი მასალის გადასაზიდად იხმარება გარეზინებული და აგრეთვე უქანგავი ფოლადის ლენტები. ვინაიდან უქანგავი ფოლადის ლენტი საკმარისად ხისტია განივი მიმართულებით, ამიტომ საყრდენი გორგოლაკები მისთვის უფრო ხშირად ბორბლის ფორმისა კეთდება (ნახ. 101). კვების პროდუქტების გადასაზიდად ყველაზე უკეთეს მასალად ლენტისათვის უქანგავი ფოლადი უნდა ჩაითვალოს. ნახ. 102-ზე მოყვანილია ფოლადის ლენტის ტრანსპორტიორი, რომელიც მარგარინს ეზიდება.



ნახ. 100. ლენტის ტრანსპორტიორის განივი კვეთი (ლაროვანი ლენტით).

გარეზინებული ლენტი შედგება ბამბის ქსოვილის რამდენიმე ფენისაგან, თითოეული სისქით—1,25 მმ (შუასადებები), რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია ვულკანიზირებული რეზინით. გარდა ამისა, ლენტის ორივე ზედაპირზე დადებულია რეზინის შემონაფენები. ამრიგად გარეზინებულ ლენტში



ნახ. 101. ლენტის ტრანსპორტიორის განივი კვეთი (ფოლადის ლენტით).

ბამბის ქსოვილის შუასადებები არის დატვირთვის ამტანი, რეზინის შემონაფენები კი იცავენ ლენტს ტენისაგან. ხოლო გადასაზიდ მასალას—გაჭუჭყინებისაგან. ლენტის საერთო სისქე, მაშასადამე, განისაზღვრება ამ შუასადებების რაოდენობით და შემონაფენების სისქით. ლენტის სისქე ანგარიშით უნ-

და იყოს დადასტურებული. ლენტის ერთი ზედაპირი მუდამ გარეთ არის მოქცეული, მეორე კი—მუდამ შიგნით. მათი მუშაობის პირობები სულ სხვადასხვაა: გარე ზედაპირზე იყრება გადასაზიდი მასალა, რომელიც ამ ზედაპირს ცვეთს, ამიტომ გარე ზედაპირის შემონაფენი (გარეშემონაფენი) უფრო სქელი უნდა ავიღოთ, ვიდრე ლენტის შიგა ზედაპირის შემონაფენი (შიგა-

ლენტის სისქის გაანგარიშებისათვის საჭიროა ჯერ განვსაზღვროთ ზედა
სადებთა რაოდენობა შემდეგი ფორმულით:

$$i=1,1 \frac{m \cdot S_{max}}{B \sigma_{გამ}},$$

129

სადაც: i არის ზედასადებებთა რაოდენობა;

B —(სმ) ლენტის სიგანე;

S_{max} —(კგ)—ლენტის უდიდესი დაჭიმულობა;

m —ლენტის სიმტკიცის მარაგი გაჭიმვაზე, რომელიც დამოკიდებულია
ზედასადებთა რაოდენობაზე (იხ. ცხრილი 15);

$\sigma_{გამ}$ — $\left(\frac{კგ}{სმ}\right)$ გამწყვეტი დაძაბულობა ლენტში, რომელიც მოდის ერთი

ზედასადების სიგანის ერთ სანტიმეტრზე (იხ. ცხრილი 16).

ლენტის უდიდესი დაჭიმულობა S_{max} განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{max} \leq 102 \frac{N_0}{\omega} \eta_e \frac{e^{1,2\alpha}}{e^{1,2\alpha}-1} \quad (კგ), \quad (130)$$

სადაც: N_0 —(კგ) არის ტრანსპორტიორისათვის საჭირო თეორიული სიმ-
ძლავრე (იხ. ქვემოთ);

ω — $\left(\frac{მ}{წმ}\right)$ —ლენტის მოძრაობის სიჩქარე;

$\eta_e \approx 0,97$ —დოლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი;

$e \approx 2,72$ — ნატურალური ლოგარითმების ფუძე;

$\alpha = \pi + 1,3 \pi$ —ლენტის დოლზე მოხვევის კუთხე;

μ —ლენტის დოლზე ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც მერყეობს
 $0,1 \div 0,4$.

ამ ანგარიშით მიღებულ ზედასადებთა რაოდენობა უნდა შევუთანხმოთ
შე-17 ცხრილს.

ლენტის სიმტკიცის მარაგი				ცხრილი 15	
ზედასადებთა რაოდენობა i	2—3	4—5	6—8	9—11	12—14
სიმტკიცის მარაგი m	9	9,5	10	10,5	11,0

ლენტების სიმტკიცე		ცხრილი 16	
ბელტინგის მარკა ГОСТ—40-ის მიხედვით		930	820
უმცირესი გამწყვეტი დაძაბულობა $\sigma_{გამ}$ $\frac{კგ}{სმ}$		60	55

ლენტის სიგანე B მმ	400	500	650	800	1000	1200	1400
შუასადებთა რაოდენობა i	$2 \div 4$	$3 \div 5$	$3 \div 6$	$4 \div 8$	$5 \div 9$	$5 \div 10$	$6 \div 11$

ლენტის საერთო სისქე (a) ტოლი იქნება:

$$a = 1,25 \cdot i + a_3 + a_5 \text{ (მმ)}, \quad (131)$$

სადაც: a_5 — (მმ) არის გარშემონაფენის სისქე;

a_3 — (მმ) — შიგაშემონაფენის სისქე.

წამყვანი დოლის დიამეტრი განისაზღვრება ემპირიული ფორმულით:

$$D \geq 125 \cdot i \text{ (მმ)}. \quad (132)$$

ზოგიერთი ცნობები ლენტების შესახებ მოყვანილია მე-18 ცხრილში.

ცხრილი 18

ლენტის სახეობა	გამწვევტი დატვირთვა $\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}$	ხვედრიტი წონა $\frac{\text{კგ}}{\text{მ}^2}$
კანაფის ქსოვილის ლენტი	$400 \div 500$	$750 \div 800$
ქერლის ლენტი	750	$750 \div 800$
ბამბის ქსოვილის ლენტი	350	$750 \div 800$
ბამბის ქსოვილის ლენტი გაკერილი	$400 \div 450$	1100
გარეზინებული ლენტი	500	1000
ფოლადის ლენტი	12000	7600

ლენტის სიგანე სტანდარტიზებულია. ჩვენი რეზინის მრეწველობა უშვებს გარეზინებულ ლენტებს შემდეგი სიგანით (მმ): 400, 500, 650, 800, 1000, 1200 და 1400. ლენტის მოძრაობის სიჩქარის შერჩევის დროს უნდა ვიხელმძღვანელოთ პრაქტიკული მონაცემებით, რომლებიც მოყვანილია მე-19 ცხრილში.

ლენტის ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა ფხვიერი და ნატეხოვანი მასალისათვის განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = 3600 \cdot F \cdot \gamma_e \cdot \omega \left(\frac{\text{ტ}}{\text{ს}} \right), \quad (133)$$

სადაც: $Q - \left(\frac{\Phi}{\psi}\right)$ არის ლენტიანი ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა;

$$\gamma_e = \left(\frac{\Phi}{\Phi^0} \right) - \text{გადასაზიდი მასალის დაყრილი წონა};$$

ა — $\left(\frac{m}{\nabla m}\right)$ — ლენტის მოძრაობის სიჩქარე.

მაშასადამე, ლენტეხიანი ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა ზომის განივი კვეთი ექნება გადისაზიდ მასალას ლენტზე. მოძრაობის დროს (იხ. აგრეთვე § 2). ფხვიერი მასალის ლენტზე თავისუფლად დაყრის დროს მასალის განივი კვეთი მიიღებს დაახლოებით ტოლფერდა სამკუთხედის ფორმას, რომლის ფუძესთან მდებარე კუთხეები ტოლი არიან მასალის ბუნებრივი ქანობის კუთხისა, ფუძე კი მასალის ლენტზე დაყრის სიგანისა. როგორც ზემოთ ვთქვით, მასალა იყრება ლენტზე სიგანით $b \approx 0,8 B$, სადაც B —(მ) არის ლენტის სიგანე.

ლენტიანი ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა ბრტყელი ლენტის დროს განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = 576 \cdot B^2 \cdot \gamma_g \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_g}{2} \left(\frac{\phi}{b} \right), \quad (134)$$

სადაც: $Q = \left(\frac{\Phi}{S}\right)$ არის ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა;

B—(მ)—ლენტის სიგანე;

$$\gamma_E = \left(\frac{\Phi}{\Phi^3} \right) - \text{გადასაზიდი მასალის დაყოფილი წონა;}$$

ა) — $\left(\frac{\partial}{\partial d}\right)$ — ლენტის მოძრაობის სიჩქარე;

α_0 — გასაზიდი მასალის ბუნებრივი ქანობის კუთხე მოძრაობის დროს
დაროვანი ლენტის დროს ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა განი-
საზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = 148 \left(1 + 3,65 \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2} \right) B^2 \cdot \gamma_e \cdot \omega \left(\frac{\Phi}{\delta} \right). \quad (135)$$

ეს ფორმულა გულისხმობს, რომ ღარი შექმნილია სამი ერთნაირი სიგრძის
გორგოლაქით, რომელთაგანაც ორი განაპირა გორგოლაქი დახრილია ჰორი-
ზონტთან კუთხით $\varepsilon = 20^\circ$. თუ ლენტის ტრანსპორტიორი ცალკეობის
ტვირთს ეზიდება, მისი მწარმოებლობა შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება

$$Q = 3,6 \frac{G \cdot \omega}{a} \left(\frac{\Phi}{\delta} \right), \quad (136)$$

სადაც: Q — $\left(\frac{\Phi}{\delta} \right)$ არის ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა;

G — (კგ) — ცალკეული ტვირთის წონა;

ω — $\left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} \right)$ — ლენტის მოძრაობის სიჩქარე;

a — (მ) — მანძილი ცალკეულ ტვირთებს შორის.

რაოდენობა ცალკეული ტვირთებისა, რასაც გადაზიდავს ტრანსპორ-
ტიორი ერთ საათში, ტოლი იქნება:

$$m = \frac{3600 \cdot \omega}{a} \left(\frac{\text{ცალი}}{\delta} \right). \quad (137)$$

ლენტიან ტრანსპორტიორს შეუძლია დახრილადაც იმუშაოს, ე. ი. ერთ-
დროულად გადაადგილოს მასალა ჰორიზონტალურად და ასწიოს ვერტიკა-
ლურად. ამის შესახებ ზემოთქმულს (იხ. § 2) უნდა დავუმატოთ, რომ დახ-
რილი ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა ნაკლებია ჰორიზონტალური ტრან-
სპორტიორის მწარმოებლობასთან შედარებით. ეს შემცირება მით უფრო მე-
ტია, რაც უფრო მეტია ტრანსპორტიორის დახრის კუთხე. მწარმოებლობა
მცირდება შემდეგნაირად:

თუ ტრანსპორტიორის დახრის კუთხე $\beta = 11 \div 15$	მწარმოებლობა მცირდება 5%
" " " " $\beta = 16 \div 18$	" " 10%
" " " " $\beta = 19 \div 22$	" " 15%

გარდა ამისა, დახრილ ტრანსპორტიორებში ლენტის მოძრაობის სიჩქარეც
ნაკლები უნდა ავიღოთ, რადგანაც მოძრაობის პროცესში დახრილ ტრანსპორ-
ტიორებში ლენტი უფრო მეტად ირხევა, ვიდრე ჰორიზონტალურ ტრანსპორ-
ტიორებში. სიჩქარის შემცირება მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია ტრან-
სპორტიორის დახრის კუთხე. თუ აღვნიშნავთ დახრილი ლენტის სიჩქარეს —

ω_1 და ჰორიზონტალური ლენტის სიჩქარეს — ω_2 , მათი შეფარდების $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$

ცვალებადობა დახრის კუთხის (β) მიხედვით გამოიხატება მე-20 ცხრილით:

ჯო	$\frac{m_p}{m_s}$	ჯო	$\frac{m_p}{m_s}$	ჯო	$\frac{m_p}{m_s}$
4	0,93	12	0,81	19	0,67
5	0,91	13	0,78	20	0,65
6	0,90	14	0,77	22	0,61
8	0,87	16	0,73		
10	0,83	18	0,69		

ლენტიანი ტრანსპორტიორისათვის საჭირო სიმძლავრის ზუსტი განსაზღვრა დიდ გაანგარიშებას მოითხოვს. შეგვიძლია დავკმაყოფილოდეთ დაახლოებითი გაანგარიშებით, რომელიც შემდეგნაირად უნდა ჩავატაროთ: სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ტრანსპორტიორების მოძრაობისათვის უტვირთოდ, ტოლია:

$$N_1 = K_1 \cdot L \cdot \omega \quad (კგ), \quad (138)$$

სადაც: L —(მ) არის ტრანსპორტიორის ჰორიზონტალური პროექციის სიგრძე;

ω — $\left(\frac{მ}{წმ}\right)$ —ლენტის მოძრაობის სიჩქარე;

K_1 —კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ლენტის სივანეზე (B) და შერჩეული უნდა იყოს 21-ე ცხრილით:

კოეფიციენტ K_1 -ის მნიშვნელობა							ცხრილი 21
ლენტის სივანე B მმ	400	500	650	800	1000	1200	1400
K_1	0,012	0,015	0,02	0,024	0,03	0,035	0,04

სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ტვირთის გადასაზიდად:

$$N_2 \cong 0,00015 \cdot QL \quad (კგ) \quad (138a)$$

სადაც: Q — $\left(\frac{ტ}{წ}\right)$ არის ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა, ხოლო 0,00015 კი პროპორციულობის კოეფიციენტი.

სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ტვირთის H (მ) სიმაღლეზე ასატანად, ტოლია

$$N_3 = \frac{Q \cdot H}{367} \cong 0,0027 \cdot Q \cdot H \quad (138b)$$

(ჰორიზონტალური ტრანსპორტიორებისათვის $H=0$, ამიტომ $N_3=0$).

საერთო სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ტრანსპორტიორის წამყვანი დოლის ღერძზე, როდესაც განტვირთვა ხდება ლენტის ბოლოში ტვირთის ჩამოცვენიტ, ტოლი იქნება:

$$N'_0 = (N_1 + N_2 + N_3) K_2 \quad (138\text{გ})$$

სადაც: K_2 არის კოეფიციენტი, რომელიც გამოხატავს წინააღობის გადიდებას მოკლე ტრანსპორტიორებში.

როდესაც $L < 15$ მ $K_2 = 1.25$;

$L = 15 \div 40$ მ-მდე $K_2 = 1,1$;

$L > 40$ მ $K_2 = 1$.

დამატებითი სიმძლავრე N_4 , რაც იხარჯება ურიკების ან ფარების აა-შუალებით განტვირთვით გამოწვეულ წინააღობაზე, ტოლია:

ფართო განტვირთვის დროს:

$$N_4 \leq 0,007 Q \cdot B \quad (138\text{დ})$$

ხელით საგორებელი ურიკით განტვირთვის დროს:

$$N_4 \leq 0,22 N'_0 + 0,005 Q \quad (138\text{ე})$$

საძრავი ურიკით განტვირთვის დროს

$$N_4 \leq 0,27 N_0 + 0,005 Q + 0,4 \quad (138\text{ვ})$$

სიმძლავრე, რაც საჭიროა ტრანსპორტიორის წამყვანი დოლის ღერძზე, ტოლი იქნება

$$N_0 = N'_0 + N_4 = (N_1 + N_2 + N_3) K_2 + N_4 \quad (138\text{ზ})$$

ძრავის სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ტრანსპორტიორისათვის, ტოლი იქნება

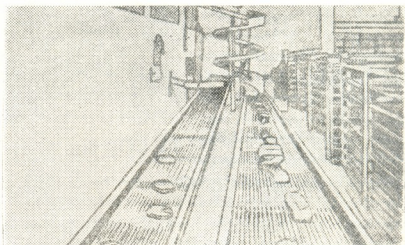
$$N = K \frac{N_0}{\eta} \quad (138\text{თ})$$

სადაც: η არის ამძრავის მარგი ქმედების კოეფიციენტი;

$K = 1.1 \div 1,2$ — სიმძლავრის კოეფიციენტი.

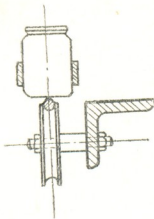
ბაგირიანი და ჯაჭვიანი ტრანსპორტიორები. ცალკეობით ტვირთის

გადასაზიდად ხშირად ლენტის მაგიერად ბაგირი ან ჯაჭვი იხმარება. უსასრულო ბაგირი ან ჯაჭვი გადაიქიმება ჭალზე. ერთი ჭალი არის წამყვანი, მეორე — გამკიმი. ნახ. 103-ზე მოყვანილია მრავალბაგირიანი ტრანსპორტიორი, რომელიც პურეულს ეზიდება. ნახ. 104-ზე მოყვანილია ერთბაგირიანი ტრანსპორტიორი, რომ-



ნახ. 103. მრავალბაგირიანი ტრანსპორტიორი პურეულისათვის.

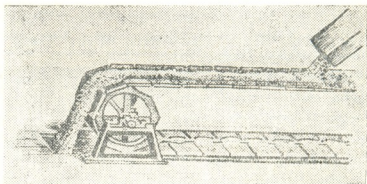
მელიც საკონსერვო წარმოებაში იხმარება ქურკლის გადასაზიდად. მწარმოებლის
ბლობის გაანგარიშება ამ ტრანსპორტიორებისა ლენტეხის ტრანსპორტიორის
გაანგარიშების ანალოგიურია (გარდა, რა თქმა უნდა, ბაგირის ან ჯაჭვის გაანგარიშებისა).



ნახ. 104. ერთბაგირიანი ტრანსპორტიორის საკონსერვო ქილებისათვის.

ფირფიტებიანი და ხონჩებიანი ტრანსპორტიორები.

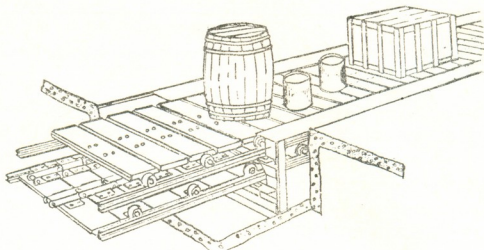
ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორი განსხვავდება ლენტეხის ტრანსპორტიორისაგან იმით, რომ, თუ ლენტეხის ტრანსპორტიორში ლენტეხის არის ერთდროულად გადაზიდვი (ამტანი) ელემენტიც და გამწვევი ელემენტიც, ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორში გაწვევა ხდება ბაგირის ან ჯაჭვის საშუალებით, გადასაზიდი მასალა, იყრება ბაგირზე ან ჯაჭვზე დამაგრებულ ფირფიტებზე. მსუბუქად დატვირთულ ფირფიტებიან ტრანსპორტიორებში გამწვევი ელემენტად აღებულია ორ ჰალზე გადაჭიმული ერთი უსასრულო ბაგირი ან ჯაჭვი. მძიმე დატვირთვისათვის კი ხმარობენ ორ ბაგირს ან ჯაჭვს. ბაგირზე ან ჯაჭვზე მავრდები ვიწრო ფირფიტები ზოგჯერ ხის, უფრო ხშირად კი ფოლადის. ეს ფირფიტები ისეთნაირად არიან ერთიმეორესთან მორგებული, რომ სწორ უბნებზე ერთ მთლიან სიბრტყეს ქმნიან, ქალების შემოვლის დროს კი იშლებიან. დატვირთვის მიხედვით ფირფიტებს აკეთებენ ხისაგან, თუჯისა და ფოლადისაგან. ტრანსპორტიორის დატვირთვა შეიძლება ნებისმიერ ადგილზე, განტვირთვა კი მხოლოდ ბოლოდან. ფირფიტოვანი ტრანსპორტიორები გამოდგებიან როგორც ფხვიერი და ნატეხოვანი მასალის, ისე ცალკეული ტვირთების გადასაზიდად. ნახ. 105-ზე მოყვანილია ერთჯაჭვიანი და ნახ. 106-ზე ორჯაჭვიანი ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორები. შუალედი დაყრდენი ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორებში უფრო ხშირად განხორციელებულია გორგოლაქების საშუალებით, რომლებიც დამაგრებული არიან ჯაჭვზე ან ბაგირზე და მოძრაობის დროს მიგორავენ ტრანსპორტიორის სადგარზე დამაგრებულ შინებზე ან რელსებზე. ვიწრო ფირ-



ნახ. 105. ერთჯაჭვიანი ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორი.

ფიტოვანი გვერდებიანი ტრანსპორტიორი იხმარება ლუდისა და მინერალური წყლების მექანიზებული ჩამოსხმის დროს ბოთლების მისაწოდებლად (ნახ. 107). ასეთი ტრანსპორტიორები შეიძლება გამოვიყენოთ ღვინის მრეწველობაშიც სხვადასხვა სასმელის ჩამოსხმის დროს ბოთლების მისაწოდებლად. ზოგჯერ ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორებს გვერდებზე უკეთებენ ქიმებს, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გავადიდოთ გადასაზიდი ფხვიერი მასალის ფენას სისქე

ფირფიტებზე და ამით გაეზარდა ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა, ლობითი ტვირთის გადაზიდვის დროს კი ეს ქიმები იცავს ტვირთს გად-



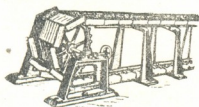
ნახ. 106. ორჯაჭვიანი ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორი.

მოცენისაგან (ნახ. 107). ზოგჯერ ქიმების ცალკე გაკეთების მაგივრად, ამ ქიმებსა და ფირფიტას ერთი მთლიანი ნაჭრისაგან აკეთებენ. ასეთ ფირფიტას უკვე ხონის ფორმა აქვს, რისთვისაც ტრანსპორტიორს ხონჩებიან ტრანსპორტიორს უწოდებენ (ნახ. 108).

ფირფიტებიანი და ხონჩებიანი ტრანსპორტიორების მწარმოებლობა ცალობითი ტვირთის გადაზიდვის დროს განისაზღვრება იმავე ფორმულებით (136) და (137) როგორც ლენტეხიანი ტრანსპორტიორისა. ფხვიერი მასალის გადაზიდვის დროს კი მწარმოებლობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორისათვის:

$$Q = 0,9 \cdot c \cdot K^2 \cdot B^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\phi} \cdot \gamma_{\phi} \cdot \omega \left(\frac{\phi}{\psi} \right), \quad (139)$$



ნახ. 108. ხონჩებიანი ტრანსპორტიორი.

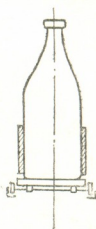
სადაც

$$K = \frac{h}{B} = 0,8 \div 85;$$

ა არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ტრანსპორტიორის ჰორიზონტთან დახრის კუთხეზე და აღებული უნდა იყოს 22-ე ცხრილიდან.

ხონჩებიანი ტრანსპორტიორისათვის:

$$Q = 0,9 \cdot c \cdot B^2 \operatorname{tg} \alpha_{\phi} \gamma_{\phi} \cdot \omega \left(\frac{\phi}{\psi} \right), \quad (140)$$



ნახ. 107. ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორი ბოთლებისათვის.

ტრანსპორტიორის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე β	ფირფიტებისათვის	ხონჩებისათვის
$\beta < 10^\circ$	1,0	1,0
$\beta = 10^\circ \div 20^\circ$	0,9	0,95
$\beta > 20^\circ$	0,7	0,8

სადაც: ϵ — აქვს იგივე მნიშვნელობა, რაც ფორმულაში (139) და მისი სიდიდე აღებული უნდა იყოს იმავე 22-ე ცხრილიდან;

h — (მ) არის ხონჩის გვერდის სიმაღლე;

$\psi = 0,6 \div 0,75$ — ხონჩის გვერდის სიმაღლეზე ავსების კოეფიციენტი.

როგორც ფირფიტების, ისე ხონჩების მოძრაობის სიჩქარე მიღებული უნდა იყოს შემდეგ ფარგლებში:

$$w = (0,2 \div 0,5) \frac{m}{წმ}.$$

საჭირო სიმძლავრის განსაზღვრა ორივე ტიპის ტრანსპორტიორისათვის შეგვიძლია მოვახდინოთ შემდეგი საყარაულო ფორმულით.

სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ტრანსპორტიორის ამძრავ ღერძზე:

$$N_0 = 0,0024 \cdot q_0 \cdot w \cdot L + 0,003 Q (0,11 L + H) + 0,006 Q \cdot B \quad (\text{კვ}), \quad (141)$$

სადაც: H — (მ) არის ტვირთის ატანის სიმაღლე;

q_0 — (კგ) — ფირფიტებისა და ჯაჭვების ერთი მეტრის წონა

$$(q_0 \leq 80 \text{ B} = 80 \text{ კგ}).$$

ფორმულაში (141) — პირველი წევრი წარმოადგენს სიმძლავრეს, რომელიც საჭიროა ტრანსპორტიორის უქმი სვლისათვის; მეორე წევრი წარმოადგენს სიმძლავრეს, რომელიც საჭიროა ტვირთის გადასაადგილებლად L მანძილზე და H სიმაღლეზე; მესამე წევრი კი — სიმძლავრეს, რომელიც საჭიროა განმტვირთი ფარით გამოწვეული წინაღობის დასაძლევად. ძრავის სიმძლავრე განისაზღვრება უკვე ხსენებული ფორმულით (138თ).

$$N = K \cdot \frac{N_0}{\eta} \quad (\text{კვ});$$

ამ შემთხვევაში

$$K = 1,15 \div 1,25.$$

ასტამებიანი ტრანსპორტიორები. ასტამებიანი ტრანსპორტიორში გადასაზიდ მასალა იყრება უძრავ ღარში. ღარში მოძრაობს ბაგირი, რომელზედაც დამაგრებულია ერთმანეთისაგან ერთნაირი დაშორებით ასტამები. ამ ასტამებს ისეთივე მოყვანილობა აქვს, როგორც ღარის განივ კვეთს. ამიტომ ას-

ტამები იტაცებენ გადასაზიდ მასალას და მიაჩრებენ მას გასწვრივი მიმართულებით (ნახ. 109).

ასტამებიანი ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

ფხვიერი მასალის გადაზიდვის დროს:

$$Q = 3660 \frac{i}{a} \omega \cdot \gamma_e \left(\frac{\phi}{\psi} \right), \quad (142)$$

სადაც i —(მ³) არის მასალის მოცულობა, რომელსაც აჩრებენ ერთი ასტამა;

ω — $\left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \right)$ —მოძრაობის სიჩქარე;

γ_e — $\left(\frac{\text{მ}^3}{\text{მ}^3} \right)$ —გადასაზიდი მასალის დაყრილი წონა;

a —(მ)—მანძილი ასტამებს შორის.

ცალკეულ ტვირთთა გადაზიდვის დროს:

$$Q = 3,6 \frac{G \cdot \omega}{a}, \quad (143)$$

სადაც: Q — $\left(\frac{\phi}{\psi} \right)$ არის ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა;

G —(კგ)—ცალკეულ ტვირთთა წონა;

ω — $\left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \right)$ —მოძრაობის სიჩქარე;

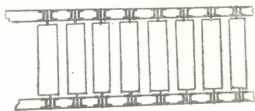
a —(მ)—მანძილი ასტამებს შორის.

ტრანსპორტიორისათვის საჭირო სიმძლავრე შეიძლება განესაზღვროთ შემდეგი საგარაუდო ფორმულით:

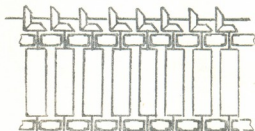
$$N = \frac{W \cdot Q \cdot L}{270} (\text{ც. ძ.}), \quad (145)$$

სადაც: N —(ც. ძ.) არის ტრანსპორტიორისათვის საჭირო სიმძლავრე;

Q — $\left(\frac{\phi}{\psi} \right)$ —ტრანსპორტიორის მწარმოებლობა;



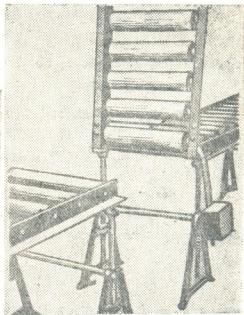
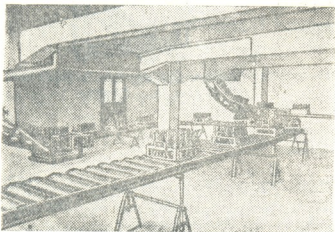
ნახ. 110. ხელით სამუშაო გორგოლაკებიანი ტრანსპორტიორის სქემა.



ნახ. 111. საძრავი გორგოლაკებიანი ტრანსპორტიორის სქემა.

ს. — (მ) — ტრანსპორტიორის სიგრძე;

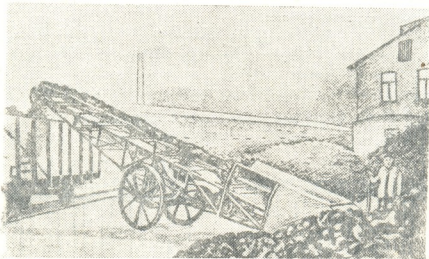
IV — წინალობის კოეფიციენტი, რომელიც შეიძლება ავიღოთ 0,4-მდე.
გორგოლაქებიანი ტრანსპორტიორები. გორგოლაქებიანი ტრანსპორტიორს ზოგჯერ „როლგანგს“ უწოდებენ. როლგანგი წარმოადგენს რკინის ჩარჩოს, რომელიც დგას საყრდენებზე იატაკიდან $0,8 \div 1,0$ მ სიმაღლეზე. ჩარჩოზე დამაგრებულია გორგოლაქების ღერძები. მცირე ტვირთის გადაადგილებისათვის ჩვეულებრივად ტვირთის გადაადგილებას ახდენენ ხელით (ნახ. 110). წინალობის შემცირებისათ-



ნახ. 112. გორგოლაქებიანი ტრანსპორტიორის გამოყენება ბოთლების გადასაზიდად.

ნახ. 113. გორგოლაქებიანი ტრანსპორტიორის ასაწვევის სექცია.

ვის ღერძებზე ბურთულებიანი საკისრებს აყენებენ. მძიმე ტვირთის გადაადგილებისათვის გორგოლაქებს ამოძრავებენ ძრავის საშუალებით (ნახ. 111).



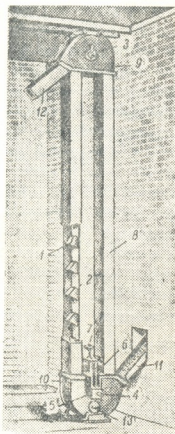
ნახ. 114. საგორბელი ლენტიათი ტრანსპორტიორი.

როლგანგი გამოდგება მხოლოდ ცალკობითი ტვირთის გადაადგილებისათვის. წვრილი ტვირთის გადაადგილებისათვის საჭიროა მათი რაიმე ჭურჭელში მო-

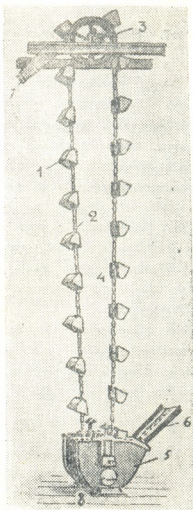
თავსება, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 112-ზე (ბოთლები ყუთშია ჩაწყობილნი). უმარტივეს როლგანგებში მსუბუქი ტვირთისათვის გორგოლაპებს აკეთებენ უბრალო მილის ნაჭრებისაგან. როდესაც როლგანგი კვეთს სათავსოს გასასვლელებს, მაშინ მას ამ ადგილებში უკეთდება ასაწევი სექცია (ნახ. 113), რომელიც დროებით ხსნის გასასვლელს. თუ მოძრაობა როლგანზე იმდენად ხშირია, რომ სექციის აწევა მოძრაობის შეუჩერებლად შეუძლებელია, როლგანგის ზემოთ კეთდება სპეციალური გადასასვლელი ხიდი. ყველა ზემოაღნიშნული ტრანსპორტიორი სტაციონარული ტიპისაა: ტრანსპორტიორის სადგარი უძრავად დამაგრებულია საძირკველზე. არსებობს კიდევ საგორებელი ტრანსპორტიორები. ყველა ზემოაღწერილი ტრანსპორტიორის სადგარი შეიძლება დაიღვას თვლებზე და ტრანსპორტიორი მივაგოროთ სამუშაოდ სასურველ ადგილას. ცხადია, საგორებელი ტრანსპორტიორები მცირე სიგრძისა არიან (5, 10 და 15 მ). ნახ. 114-ზე მოყვანილია საგორებელი ლენტია-ნი ტრანსპორტიორი, რომელიც ტვირთავს ქვანახშირით რკინიგზის ვაგონს.

§ 14. ელევატორები

ელევატორები იხმარება ფხვიერი და ნატეხოვანი მასალისა და აგრეთვე ცალკეულ ტვირთთა ვერტიკალური მიმართულებით ასა-

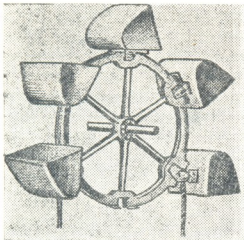


ნახ. 115. ჩამჩებიანი ელევატორი ლენტია-ნი.



ნახ. 116. ჩამჩებიანი ელევატორი ჯაჭვიანი.

ტანად. არის დახრილი ელევატორებიც, მათი ჰორიზონტთან დახრის კუთხე ჩვეულებრივ ცოტათი ნაკლებია 90° -ზე. ელევატორის ძირითად ნაწილს შეადგენს მისი გამწვევი ელემენტი. ელევატორებში გამწვევ ელემენტად იხმარება ლენტი, ჯაჭვი და ბაგირი. გამწვევი ელემენტის მიხედვით ელევატორს სათანადო სახელწოდება ეძლევა (ლენტიანი, ჯაჭვიანი, ბაგირიანი). ნახ. 115-ზე მოყვანილია ლენტიანი ელევატორი, ნახ. 116-ზე—ჯაჭვიანი და ნახ. 117—ბაგირიანი. ნახ. 115-ზე ციფრებით აღნიშნულია: 1—ჩამჩა; 2—ლენტი; 3—თავის დოლის ლილვი; 4—ქუსლის დოლის ლილვი; 5—ქვედა ლილვის საკისრები; 6—დამქიმი მოწყობილობა; 7—დამქიმი მოწყობილობის ხრახნი; 8—გარსაქმი; 9—ელევატორის თავი; 10—ელევატორის ქუსლი; 11—დამტვირთავი ღარი; 12—განმტვირთავი მილი; 13—ნახვრეტის ხუფი, საიდანაც ხდება ქუსლში დარჩენილი გადასაზიდი მასალის ამოღება. ნახ. 116-ზე კი: 1—ჩამჩა; 2—ჯაჭვის უქმი შტო; 3—ელევატორის თავი; 4—ჯაჭვის მუშა შტო; 5—ელევატორის ქუსლი; 6—დამტვირთავი



ნახ. 117. ჩამჩებიანი ელევატორი ბაგირიანი.

ღარი; 7—განმტვირთავი ღარი; 8—ქუსლის გასაწმენდი ნახვრეტი. გამწვევი ელემენტი გადაქიმულია: ლენტი დოლებზე, ჯაჭვი ვარსკვლავ კბილანებზე, თოკი კი ქალებზე. ელევატორის ზემო ნაწილს თავი ეწოდება, ქვემო ნაწილს კი—ქუსლი. როგორც წესი, ელევატორის ამქრავი მექანიზმი თავში თავსდება, დამქიმი მექანიზმი კი—ქუსლში. თავში მოწყობილია აგრეთვე ელევატორის განმტვირთავი მოწყობილობა, ქუსლში კი—დამტვირთავი. ფხვიერი და ნატეხოვანი მასალის ატანას ელევატორი ანხორციელებს რკინის ჩამჩების საშუალებით (ჩამჩებიანი ელევატორი ანუ ნორია). ჩამჩები დამაგრებულია გამწვევ ელემენტზე. ჩამჩებიანი ელევატორი შეიძლება იყოს როგორც ლენტიანი (ნახ. 115), ისე ჯაჭვიანი (ნახ. 116) და ბაგირიანი (ნახ. 117). ჩამჩების დატვირთვა ხდება ელევატორის ქუსლში ზოგჯერ ღარის საშუალებით: ღარიდან მასალა პირდაპირ ჩამჩებში იყრება. ზოგჯერ კი დასატვირთი მასალა პირდაპირ ქუსლში იყრება, ჩამჩები კი ქვემო დოლის ან ქალის შემოსვლის დროს თვითონ ამოჩამჩავენ მას. როგორც უნდა იყოს ჩამჩის დატვირთვის წესი, მისი მთელი მოცულობით გავსება შეუძლებელია. ამიტომ შემოღებულია ავსების კოეფიციენტი ϕ , რომელიც წარმოადგენს ჩამჩაში მოთავსებული მასალის მოცულობის შეფარდებას ჩამჩის მოცულობასთან, ე. ი. $\phi = \frac{\text{მომც.}}{\text{ტმ.}}$

ϕ -ის მნიშვნელობა სხვადასხვა მასალისათვის შეგვიძლია მივიღოთ შემდეგი:

დაფქვილი მასალისათვის $\phi = 0,8 \div 1,0$;

მარცვლეულისათვის $\phi = 0,75 \div 0,9$;

წვრილი ქვანახშირისათვის $\phi = 0,6 \div 0,7$;

მსხვილი ქვანახშირისათვის $\phi = 0,4 \div 0,5$.

p წერტილის ეწოდება პოლუსი, h მანძილს კი—პოლუსის მანძილს. როგორც გვიჩვენებს ფორმულა (146), პოლუსის მანძილი დამოკიდებულია მხოლოდ დოლის ან ჭადის ბრუნვათა რიცხვზე. როგორც უნდა იყოს



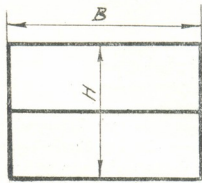
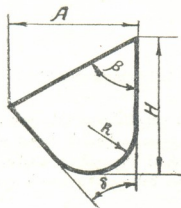
ნახ. 119. მასალის ცენტრიდანული განტვირთვა.



ნახ. 120. მასალის გრავიტაციული განტვირთვა.

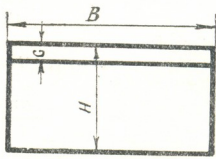
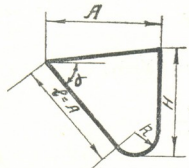
თვით ჩამჩის მდებარეობა და მასში მოთავსებული ნაწილაკის მდებარეობა. პოლუსის მდებარეობა უცვლელი რჩება. ე. ი. ტოლქმედი ძალა F მუდამ ერთსა და იმავე წერტილში გადაჰყვებს ვერტიკალურ დიამეტრს OP -ს. თუ გავზრდით დოლის ან ჭადის ბრუნვათა რიცხვს, გაიზრდება ცენტრიდანული ძალაც, გაიზრდება ტოლ-

ქმედი F ძალაც და პოლუსის P მდებარეობაც, რა თქმა უნდა, შეიცვლება ვინაიდან გადასაზიდი მასალის ნაწილაკის M -ის წონა mg უცვლელია, ამიტომ



ნახ. 121. ჩამჩის სქემა ცენტრიდანული განტვირთვისათვის,

ცენტრიდანული ძალის ზრდასთან ერთად ტოლქმედ F ძალის მიმართულებაც ცენტრიდანული ძალის მიმართულებას უახლოვდება, ე. ი. ნაწილაკი ჩამჩის

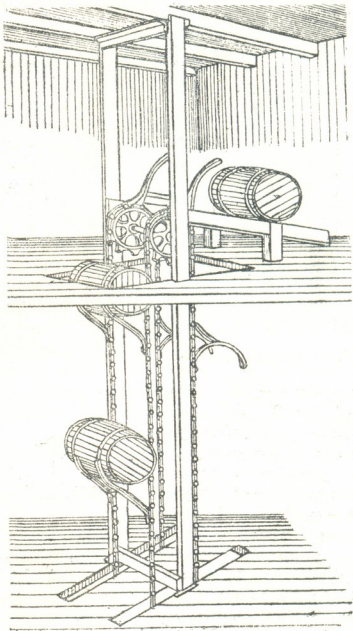


ნახ. 122. ჩამჩის სქემა გრავიტაციული განტვირთვისათვის.

გარე პირისაკენ მიიმართება და გადმოვარდება ჩამჩიდან ისე, როგორც ეს სქემატურად ნაჩვენებია ნახ. 119-ზე. ასეთ განტვირთვის ცენტრიდანული

განტვირთვა ეწოდება. თუ ცენტრიდანული ძალა მცირეა (ნელი ბრუნვითი დროს), მაშინ ტოლქმედი ძალა F უფრო სიმძიმის ძალას მიუახლოვდება და, მაშასადამე, ნაწილაკიც ჩაშლის შინაგანი პირისაკენ მიიმართება და ჩამჩიდან გადმოვარდება ისე როგორც ეს სქემატურად ნაჩვენებია ნახ. 120-ზე. ასეთ განტვირთვის გრაფიტაციული განტვირთვა ეწოდება. ამის შესაბამისად საჭიროა, რომ განტვირთვის წესის მიხედვით, ჩაშლის ფორმა სხვადასხვა იყოს. ნახ. 121-ზე მოყვანილია ჩაშლის სქემა ცენტრიდანული განტვირთვისათვის, ნახ. 122-ზე კი ჩაშლის სქემა გრაფიტაციული განტვირთვისათვის. განსხვავება მათ შორის ნათლად ჩანს სქემებიდან.

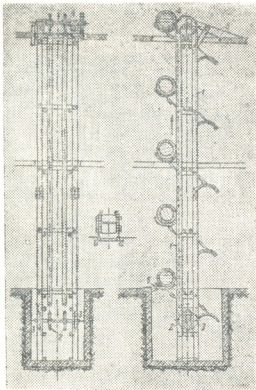
განტვირთვის წესის შერჩევის დროს უნდა ვიხელმძღვანელოთ მასალის ფიზიკური თვისებებით. ვინაიდან ცენტრიდანული განტვირთვა უფრო მეტ სიჩქარეს მოითხოვს, ვიდრე გრაფიტაციული, ამიტომ, ცხადია, ცენტრიდანული განტვირთვის დროს ელევატორი უფრო მეტ მწარმოებლობას იძლევა, ვიდრე გრაფიტაციული განტვირთვის დროს (რა თქმა უნდა, თუ სხვა პირობები თანაბარია). მაგრამ არის ისეთი მასალები, როგორც, მაგალითად, ფქვილი, შაქრის ფხვნილი და სხვა, რომლებზედაც ცენტრიდანული ძალის მოქმედება გამოიწვევს მათ და-



ნახ. 123. ჯაჭვიანი ელევატორი კასრებისათვის (სქემა).

ფრქვევას და, მაშასადამე, ნაწილაკების დაბნევას. ამიტომ ასეთი მასალების ატანის დროს უნდა დაეუშვათ ელევატორის მწარმოებლობის შემცირება და გრაფიტაციული განტვირთვა ვიხმაროთ. ცენტრიდანული განტვირთვა გამოდგება ისეთი მასალების ატანისათვის, რომლებსაც ცენტრიდანული ძალა ვერ გააბნევს (მაგ., მსხვილი ქვანახშირი, ქვიშა და სხვა).

ძალიან ხშირად ჩამჩებიანი ელევატორის ორივე შტოს ხის ან რკინის გარსაცმს უკეთებენ (ნახ. 115). ასეთ ელევატორებში მასალის მოძრაობა და-



ნახ. 124. ჯაჭვიანი ელევატორი კასრებისათვის (ნახაზი).

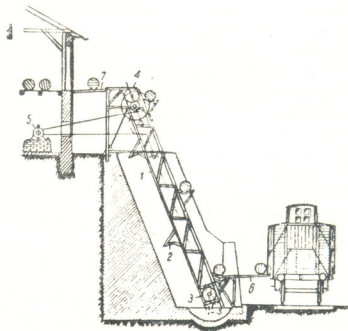
ბილობა; 6—განმტვირთავი მოწყობილობა. ნახ. 125-ზე კი: 1—ელევატორის ჯაჭვები; 2—კასრის სატაცი; 3—ელევატორის ქუსლი დამჭიმი მოწყობილობით; 4—ელევატორის თავი ამძრავით; 5—ელმოტორი; 6—დამტვირთავი ბაქანი, 7—განმტვირთავი ბაქანი.

ელევატორი უნდა იყოს ჯაჭვიანი. ჯაჭვზე უნდა დამაგრდეს ამტაცები, რომლებიც მორგებული უნდა იყოს კასრის ფორმაზე (ნახ. 126).

ყველა ზემოაღწერილი ელევატორი შეიძლება დამაგრდეს ცალკე კონსტრუქციებზე და დაიდგას თვლებზე. გაგორებით შეგვიძლია ელევატორი სხვადასხვა აღვილის ვამუშაოთ. ცხადია,

ხურულად ხდება და, მაშასადამე, არც გადასაზიდი მასალა იმტვერება გარემოდან და არც გარემო იმტვერება მასალისაგან. ამას მნიშვნელობა აქვს, განსაკუთრებით, იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ელევატორი შენობის შიგნით იდგმება. ცალკეული ტვირთების ასაწევად მხოლოდ ჯაჭვიანი ელევატორი იხმარება. ტვირთის დასადებად ჩამჩების ნაცვლად ჯაჭვზე დამაგრებულია ბაქნები. თუ ასატანი ტვირთი მუდამ ერთი და იგივეა, მაშინ ბაქნების ნაცვლად ჯაჭვზე მაგრდება ამტაცები, რომლებიც ტვირთის ფორმაზე არიან მორგებული. მეღვინეობაში ელევატორის გამოყენება მიზანშეწონილია კასრების ასატანად (ნახ. ნახ. 123, 124 და 125).

ნახ. 124-ზე ციფრებით აღნიშნულია: 1—ჯაჭვი სატაციებით; 2—მიმმართველი ჭაღები; 3—დამჭიმი მოწყობილობა; 4—ამძრავი; 5—დამტვირთავი მოწყო-



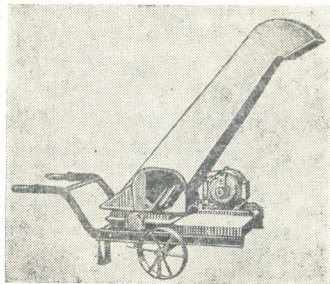
ნახ. 125. ელევატორის გამოყენება ვაგონიდან ქარხანაში კასრების ასატანად.

რომ საგარეო ელევატორის სიმაღლე დიდი არ უნდა იყოს. ელევატორების ასეთ ტიპს უნდა მიეკუთვნებოდეს ე. წ. ამიეტები (ნახ. 127), რომელიც მეღვინეობაში იხმარება წნეხში ყურძნის ღურღოს მისაწოდებლად.

ელევატორების მწარმოებლობა განისაზღვრება შემდეგი



ნახ. 126. ამტაცები.



ნახ. 127. ამიეტები.

ფორმულებით:

ჩამჩებიანი ელევატორებისათვის:

$$Q = 3,6 \frac{\psi \cdot v_R \cdot \gamma_e \cdot \omega}{a} \left(\frac{\phi}{s} \right) \quad (147)$$

სადაც: Q — $\left(\frac{\phi}{s} \right)$ არის ელევატორის მწარმოებლობა;

ψ — ჩამჩის ავსების კოეფიციენტი;

v_R — (ლ) — ჩამჩის მოცულობა;

ω — $\left(\frac{მ}{წმ} \right)$ — გამწვევი ელემენტის მოძრაობის სიჩქარე;

γ_e — $\left(\frac{კგ}{ლ} \right)$ — გადასაზიდი მასალის დაყრილი წონა;

a — (მ) მანძილი ჩამჩებს შორის.

ცალბითი ტვირთის ატანის დროს ელევატორებისათვის:

$$Q = 3,6 \frac{G}{a} \omega \left(\frac{\phi}{s} \right) \quad (148)$$

სადაც: Q — $\left(\frac{\phi}{s} \right)$ არის ელევატორის მწარმოებლობა;

G — (კგ) — ცალკეული ტვირთის წონა;

a — (მ) — მანძილი ტვირთებს (ამტაცებს) შორის;

$\omega = \left(\frac{g}{\varphi g} \right)$ — გამწვევი ელემენტის სიჩქარე.

რაოდენობა ცალკეული ტვირთებისა, რასაც ელევატორი აიტანს ერთ საათში ტოლი იქნება:

$$m = \frac{3600 \cdot \omega}{a} \left(\frac{\text{ცალი}}{s} \right), \quad (149)$$

გამწვევი ელემენტის მოძრაობის სიჩქარე შეგვიძლია მივიღოთ:

გრავიტაციული განტვირთვის დროს $(0,3 \div 0,4) \frac{g}{\varphi g}$;

ცენტრიდანული განტვირთვის დროს $(0,4 \div 0,75) \frac{g}{\varphi g}$.

ელევატორისათვის საჭირო სიმძლავრე განისაზღვრება შემდეგი სავარაუდო ფორმულით:

$$N = \frac{QH}{270 \cdot \eta} \quad (\text{ც. ძ.}), \quad (150)$$

სადაც: N — (ც. ძ.) არის სიმძლავრე;

H — (მ) — აწვევის სიმაღლე;

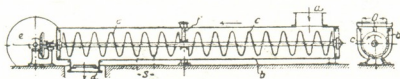
$Q = \left(\frac{\text{ტ}}{s} \right)$ — ელევატორის მწარმოებლობა;

η — ელევატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

ლენტების, ჯაჭვებისა და ბაგირების შერჩევა ელევატორებისათვის წარმოებს იმგვარადვე, როგორც ტრანსპორტიორებისათვის (§ 13).

§ 15. ხრახნიანი ტრანსპორტიორები

ხრახნიან ტრანსპორტიორს ზოგჯერ შნეკს ეძახიან, მისი სქემა მოყვანილია ნახ. 128-ზე. რკინის ან ხის უძრავ ღარში (b) ბრუნავს ღერძი მასზე დაყენებულ უსასრულო ხრახნთან (c) ერთად. ღერძის ერთი ბოლო ეყრდნობა საკისარს, მეორე ბოლო კი ღარის გარეთ გამოდის და მასზე დაყენებულია ამ-



ნახ. 128. შნეკის სქემა.

ბრავი (e). როდესაც ხრახნის სიგრძე დიდია, მას ღარის შიგნით შუალედ საკისარებს (f) უყენებენ. შნეკის დატვირთვა ხდება ერთ ბოლოში ზევიდან შესასვლელი სარკმლის (a) საშუალებით, განტვირთვა კი ქვემოდან გამოსასვლელი სარკმლის (d) საშუალებით. ამ სარკმელს აქვს საკეტი. ღერძის ტრიალის დროს ხრახნი გადაადგილებს მასალას ისრის მიმართულებით.

შნეკის ნორმალური მუშაობისათვის აუცილებელია, რომ გადასაზიდა მასალა არ მიეკრას ხრახნს და არ აჰყვეს მას ბრუნვის დროს. ამის საწინააღმდეგოდ მოქმედებს გადასაზიდი მასალის სიმძიმის ძალა და გადასაზიდი მასალის ხახუნი ღარის კედლებზე. განმტვირთავი საარკმელი შნეკს შეიძლება გაუკეთდეს რამდენიმე; საკეტების გალებით შეგვიძლია მასალა განვტვირთოთ შნეკიდან რამდენიმე ადგილას. შნეკი სხვა სატრანსპორტო საშუალებებთან შედარებით მარტივია, ნაკლებ მოვლას მოითხოვს და, რაც მთავარია, მასალას გადაზიდავს სრულიად დახურულ ღარში. სამაგიეროდ, შნეკი დიდძალ ენერგიას მოითხოვს და აზიანებს გადასაზიდ მასალას. ამიტომ შნეკის გამოყენება მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში, როდესაც დასატვირთია რამდენიმე ჩამწკრივებული აპარატი, შედარებით მოკლე მანძილზე, ისეთი მასალით, რომლის დაზიანებას მნიშვნელობა არა აქვს. ასე, მაგალითად, შნეკი ფართოდ იხმარება შაქრის წარმოებაში ვაკუუმაპარატების ჩასატვირთავად. მეღვინეობის მრეწველობაში შნეკის ხმარება მიზანშეწონილია სპირტის სახდელი კოდების ჭკით დატვირთვისათვის. შნეკს შეუძლია იმუშაოს როგორც ჰორიზონტალურად, ისე დახრილად და ვერტიკალურადაც კი, ე. ი. შნეკს შეუძლია როგორც ტრანსპორტიორის, ისე ელევატორის მაგივრობა გასწიოს. შნეკი ხშირად შედის ტექნოლოგიურ მანქანებში დასამუშავებელი მასალის გადაადგილებისათვის როგორც მანქანის განუკრელი ნაწილი. თუ შნეკს ბოლოში შევუქმნით წინაღობას, მას შეუძლია მასალა დაწნეხოს. ამიტომ ზოგიერთ ტექნოლოგიურ მანქანაში შნეკი გადასამუშავებელი მასალის გადაადგილებასთან ერთად, მასალის წნეხვასაც აწარმოებს.

მელვინეობაში შნეკის ასეთი გამოყენება ხდება ეგუტფორში და განუწყვეტლად მოქმედ წნეხში. შნეკის ღარის გადასაზიდი მასალით მთლიანად გავსება არ ვარა, რადგანაც შესაძლებელია მასალა შნეკში გაიჭედოს. ამიტომ შნეკის ღარის გავსება ხდება მხოლოდ ნაწილობრივად. ამისათვის შემოღებულია ავსების კოეფიციენტი ψ , რომელიც გვიჩვენებს, თუ ღარის განივი კვეთის რა ნაწილი უჭირავს გადასაზიდ მასალას. $\psi = 0,2 \div 0,3$ გადასაზიდი მასალის ფიზიკური თვისებების მიხედვით.

შნეკის მწარმოებლობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

მოცულობითი მწარმოებლობა:

$$V = 60 \psi \frac{\pi D^2}{4} \cdot n \cong 47 \psi D^2 \cdot S \cdot n \left(\frac{m^3}{s} \right). \quad (151)$$

წონითი მწარმოებლობა:

$$Q = 60 \cdot \gamma_e \cdot \psi \frac{\pi D^2}{4} \cdot S \cdot n \cong 47 \gamma_e \cdot \psi \cdot D^2 \cdot S \cdot n \left(\frac{t}{s} \right). \quad (152)$$

ამ ფორმულებში:

ψ არის ავსების კოეფიციენტი;

D —(მ)—შნეკის ხრახნის დიამეტრი;

S —(მ)—ხრახნის სვლა;

n — $\left(\frac{ბრ}{წთ} \right)$ —ღერძის ბრუნვათა რიცხვი;

$\gamma_e - \left(\frac{\phi}{\beta\beta}\right)$ — გადასაზიდი მასალის დაყრილი წონა.

თუ აღენიშნავთ $\varphi = \frac{S}{D}$, მაშინ ფორმულები (151) და 152) შემდეგნაირად დაიწერება:

$$V = 47\phi \varphi D^3 n \left(\frac{\beta^3}{\beta}\right) \quad (153)$$

და

$$Q = 47 \gamma_e \phi \varphi D^3 n \left(\frac{\phi}{\beta}\right). \quad (154)$$

შეფარდებას $\frac{S}{D} = \varphi$ დიდი მნიშვნელობა აქვს შნეკის მუშაობისათვის. მისი სიდიდე მერყეობს 0,25 ÷ 1,0 გადასაზიდი მასალის ფიზიკური თვისებების მიხედვით. ლერძის ბრუნვათა რიცხვი $n = (40 \div 150) \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$. მისი შერჩევა ხდება აგრეთვე გადასაზიდი მასალის ფიზიკური თვისებების მიხედვით. შნეკისათვის საჭირო სიმძლავრე განისაზღვრება შემდეგი ემპირიული ფორმულით:

$$N = \frac{WQL}{270} + \frac{QH}{270} \quad (\text{ც. ძ.}), \quad (155)$$

სადაც: $Q - \left(\frac{\phi}{\beta}\right)$ არის შნეკის მწარმოებლობა;

$L - (\beta)$ — შნეკის სიგრძე;

$H - (\beta)$ — მასალის აწევის სიმაღლე (დახრილი შნეკებისათვის);

W — წინაღობის საერთო კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე ტოლია:

ცერცველისათვის . . . 1,2;

ხრეშისათვის . . . 4,0;

ნაცრისათვის . . . 4,0;

ქვიშისათვის . . . 4,0;

მშრალი ალაოსათვის . 1,2;

ნელდი შაქრისათვის . 4,0;

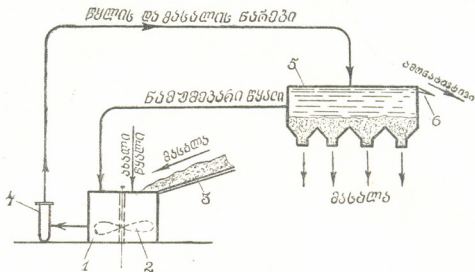
ქვანახშირისათვის . . 2,5;

§ 16. ჰიდრაულიკური ტრანსპორტიორი

მოქმედების პრინციპი. ჰიდრაულიკურ ტრანსპორტიორში მაგარი მასალების გადაზიდვა ხდება წყლის საშუალებით. ამ პროცესის განხორციელება ორი წესით შეიძლება: 1) დახურულ მილსადენებში და 2) ღია არხებსა და ღარებში.

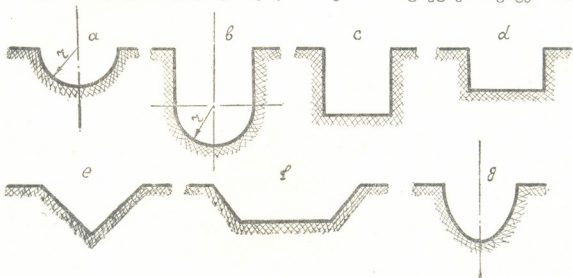
ნახ. 129-ზე მოყვანილია სქემა ჰიდრაულიკური სატრანსპორტო დანადგარისა, რომელშიაც მასალის გადაზიდვა დახურულ მილსადენში წარმოებს.

გადასაზიდი მასალა (3) იყრება მიმღებ აუზში (1), სადაც ის წყლი-
ზავდება. წყლისა და მასალის უფრო თანაბრად არევისათვის აუზში მოქმე-
დებს მექანიკური სარეველა (2). ცენტრიდანული ტუმბო (4) შეიწოვს აუზი-
დან წყლისა და გადასაზიდი მასალის ნარეგს და დაჭირხნის მილსადენის სა-



ნახ. 129. ჰიდრავლიკური ტრანსპორტიორის სქემა.

შუალეხით, სალექარში (5), რომელიც მასალის მიღების ადგილას იდგმება. სალექარში მასალა ფსკერზე ილექება და გარეთ გამოდის, დაშენილი წყა-
ლი კი მილსადენის საშუალებით უკან აუზში ბრუნდება ხელახლა მოსახმა-
რებლად. სალექარს განსაზღვრულ სიმაღლეზე დაყენებული აქვს ღარი (6),
რომლის საშუალებითაც გარეთ გადმოისხმება ამონტირებული მსუბუქი მინა-



ნახ. 130. ღარის კვეთები.

რეგების სახით. მაშასადამე, ამ დანადგარში მასალა გადაზიდვასთან ერთად
ნაწილობრივად ირეცხება და მას ეცლება ყოველგვარი, წყალზე უფრო მსუ-
ბუქი, მინარევი, რასაც ზოგიერთი მასალისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს.



ტრანსპორტირების დროს განსაზღვრული რაოდენობა წყლისა სისტემიდან იპარება. გარდა ამისა, ნაწილი წყლისა თვით მასალას მიჰქვს (მისი დასველების გამო) ნაწილი კი ამონატივტივს მიჰყვება. ამიტომ საჭიროა აუზში (1) სისტემატურად ახალი წყლის შემატება. ამ ტიპის ჰიდრავლიკური ტრანსპორტიორის გაანგარიშება, ე. ი. მიღების დიამეტრის, წყლის ხარჯისა და საჭირო წნევის განსაზღვრა ხდება იმავე წესით, რაც მიღებულია სუფთა წყლის გადაქაჩვისათვის (იხ. თავი II) იმ განსხვავებით, რომ თუ წყალსადენში $\gamma = 1 \frac{მ}{ლ}$, აქ $\gamma > 1 \frac{მ}{ლ}$, რადგანაც წყალს მაგარი მასალა აქვს შერეული. წყლის რაოდენობის შეფარდებას გადასაზიდი მაგარი მასალის რაოდენობისადმი გაზავების კოეფიციენტი ეწოდება. ყოველი მასალისათვის პრაქტიკიდან მიღებულია ის მინიმალური რაოდენობა წყლისა, ($მ^3$), რომელიც საჭიროა ერთი $მ^3$ მაგარი მასალის გადასაზიდად. ასე, მაგალითად, ერთი $მ^3$ მასალის გადასაზიდად საჭიროა მინიმალური რაოდენობა წყლის ($მ^3$):

მიწა $0,8 \div 2,5$;
 წვრილი სილა . $1,5 \div 3,0$;
 მსხვილი სილა. $3,0 \div 8,0$;
 ხრეში $5 \div 1,5$;
 კარტოფილი . $4 \div 5$

ნახ. 130-ზე მოყვანილია ღია არხებისა და ღარების კვეთები, რომლებიც იხმარება ჰიდრავლიკური ტრანსპორტირებისათვის. ღია კალაპოტში წნევის წყაროს შეადგენს მხოლოდ სიმაღლეთა სხვაობა, რომელიც არსებობს კალაპოტის თავსა და ბოლოში. ამიტომ ღია კალაპოტში მაგარი მასალის ჰიდრავლიკური ტრანსპორტირება შეიძლება მხოლოდ იმ ადგილებში, სადაც არსებობს სიმაღლეთა ასეთი სხვაობა: მაგალითად, ხე-ტყის დამზადების დროს, როდესაც ტყე მთაზე ან ფერდობზეა და მორები ან შემა ქვევით უნდა ჩამოვიდეს.

§ 17. პნევმატიკური ტრანსპორტი

მოქმედების პრინციპი. პნევმატიკურ ტრანსპორტში მასალების გადაადგილება წარმოებს დახურულ მილებში ჰაერის საშუალებით.

ვინაიდან მასალების გადაადგილება დახურულ მილებში ხდება, ამიტომ პნევმატიკური ტრანსპორტის გამოყენება გახსაყუთრებით მიზანშეწონილია ფხვიერი და ფხვნილოვანი მასალების გადაზიდვისათვის, რადგანაც ამ შემთხვევაში გადასაზიდი მასალა არც თვითონ იმტვერება, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს კვების პროდუქტების გადაზიდვის დროს, და არც გარემოს ამტვერებს, რასაც მნიშვნელობა აქვს სხვა მასალების (ცემენტის, კირის, ნახერხის და სხვ.) გადაზიდვის დროს. პნევმატიკური ტრანსპორტის დიდ ღირსებას შეადგენს ისიც, რომ მისი საშუალებით შესაძლებელია გადასაზიდი მასალის მიღება მრავალი ადგილიდან და მისი მიწოდება აგრეთვე მრავალ ადგილას.

გარდა ამისა, პნევმატიკური ტრანსპორტის მილსადენები ადვილად იწყობა სათავსოების ჭერებზე და კედლების ზემო ნაწილებზე და, მაშასადამე, ხშირად არ მოითხოვს სათავსოს განსაკუთრებულ ფართობს. პნევმატიკური ტრანსპორტის ფართო გავრცელებას ხელს უშლის მისი შედარებითი სიძვერე (ენერგიის დიდი ხარჯისა და მილსადენების მალე გაცვეთის გამო).

მუშაობის პრინციპის მიხედვით პნევმატიკური ტრანსპორტის დანადგარები ორ ჯგუფად იყოფა:

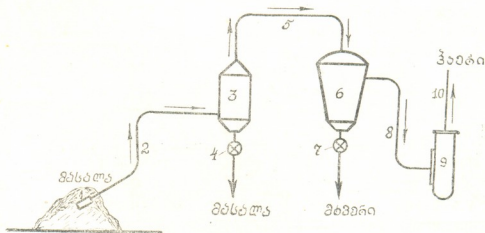
1) პნევმატიკური ტრანსპორტის დანადგარები, რომლებშიც გადასაზიდი მასალა ჰაერის ნაკადში მოძრაობს და, მაშასადამე, მასალას ყოველმხრივ ეხება გადაზიდვი ჰაერი.

2) პნევმატიკური ტრანსპორტის დანადგარები, რომლებშიც გადასაზიდი მასალას მილსადენის მთელი კვეთი უჭირავს და ჰაერი აწეება მას ისე, როგორც, მაგალითად, ორთქლის მანქანაში ორთქლი აწეება დღუშს.

პნევმატიკური ტრანსპორტის დანადგარების უმრავლესობა პირველი სისტემით მუშაობს. მეორე სისტემა უფრო გავრცელებულია სხვადასხვა დაწესებულებაში, უმთავრესად, საფოსტო დაწესებულებებში კორესპონდენციის გადასაზიდად.

პნევმატიკური ტრანსპორტის დანადგარი შეიძლება იყოს შემწოვი, როდესაც დანადგარი გაუხშოებული ჰაერით მუშაობს, შეიძლება იყოს საჭირბოროტი, როდესაც დანადგარი შეკუმშული ჰაერით მუშაობს და შეიძლება იყოს შერეული, როდესაც დანადგარი ნაწილობრივ გაუხშოებული და ნაწილობრივ შეკუმშული ჰაერით მუშაობს.

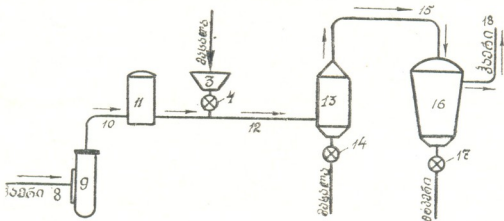
ნახ. 131-ზე მოყვანილია პნევმატიკური ტრანსპორტის შემწოვი დანადგარის სქემა.



ნახ. 131. პნევმატიკური ტრანსპორტის შემწოვი დანადგარის სქემა.

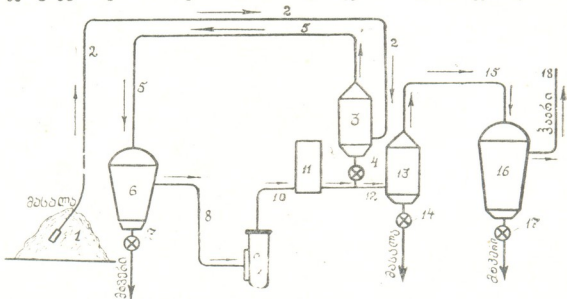
ვენტილატორი ან ვაკუუმტუმბო (9) შეიწოვს ჰაერს მილსადენის მთელი სისტემიდან, რის გამოც საჭმინთან (1) შეიქმნება გაუხშოება. ჰაერი საჭმინში შევა და თან შერეავს გადასაზიდი მასალასაც. განმტვირთავში (3) ჰაერი მკვეთრად იცვლის მოძრაობის მიმართულებას და მიემართება მილის (5) სა-

შუალეზით ფილტრში (6), სადაც მას გაეცლება მტვერი და მილის (8) საშუალებით შევა ვენტილატორში, ამის შემდეგ კი მილის (10) საშუალებით გამოვა ატოსფეროში. გადასაზიდი მასალა იყრება განმტვირთავის ფსკერზე და საკეტის (4) მეშვეობით გარეთ გამოდის. მტვერი გროვდება ფილტრის ფსკერზე და საკეტის (7) საშუალებით დროგამოშვებით გარეთ იყრება. საკე-



ნახ. 132. პნევმატიკური ტრანსპორტის საჭირბნი დანადგარის სქემა.

ტები მოწყობილია ისეთნაირად, რომ ისინი სისტემაშიდან გარეთ უშვებენ მასალას და მტვერს და შიგ სისტემაში ატმოსფერულ ჰაერს არ უშვებენ, რათა მან არ შეამციროს სისტემაში ვენტილატორით შექმნილი გაუხშობება. პნევმატიკური ტრანსპორტის საჭირბნი დანადგარის სქემა მოყვანილია ნახ.



ნახ. 133. პნევმატიკური ტრანსპორტის შერეული დანადგარის სქემა.

132-ზე; ვენტილატორი (9) მილის (8) საშუალებით შეიწოვს გარე ჰაერს და საჭირბნის მას მილსადენში. ამ მილსადენზე დაყენებულია ჰაერის ხუფი (11), რომელიც აწესრიგებს ჰაერის წნევას საჭირბნ მილსადენში. გადასაზიდი მასალა მიეწოდება სისტემაში დამტვირთავი ძაბრიდან (3), საიდანაც ის საკე-

ტის (4) საშუალებით თანაბრად იყრება საპირხნ მილში (12). განმტვირთავში (13) მასალა ფსკერზე იყრება და საკეტის (14) საშუალებით გარეთ გამოდის. ჰაერი კი მილსადენის (15) საშუალებით შედის ფილტრში (16), სადაც მას მტვერი ეცლება და მილის (18) საშუალებით ატმოსფეროში გამოდის. მტვერი, რომელიც ფილტრის ფსკერზე გროვდება, საკეტის (17) საშუალებით დროგამოშვებით გარეთ იყრება.

ნახ. 136-ზე მოყვანილია პნევმატიკური ტრანსპორტის შერეული დანადგარი.

ეს დანადგარი ნაწილობრივ (1—8) მუშაობს როგორც შემწოვი, ნაწილობრივ კი (10—18) როგორც საპირხნი დანადგარი. ამ დანადგარის შესაბამისი ნაწილი იმავე ციფრებითაა აღნიშნული, როგორც წინა სქემებზე. უფრო ხშირად შემწოვი სისტემის დანადგარი იხმარება მაშინ, როდესაც გადასაზიდი მასალა მიიღება მრავალი ადგილიდან და მიიწოდება ერთ ადგილას. საპირხნი სისტემის დანადგარი იხმარება მაშინ, როდესაც გადასაზიდი მასალა მიიღება ერთი ადგილიდან და მიიწოდება მრავალ ადგილას. შერეული სისტემა კი გამოსადეგია მაშინ, როდესაც გადასაზიდი მასალა მრავალი ადგილიდან მიიღება და მრავალსავე ადგილას მიიწოდება. ძირითადი პრინციპები, რომლებიც საფუძვლად უდევს პნევმატიკური ტრანსპორტის გაანგარიშებას სამივე სისტემისათვის ერთი და იგივეა.

პნევმატიკური ტრანსპორტის გაანგარიშება. პნევმატიკური ტრანსპორტის ნორმალური მუშაობისათვის საპიროა შევარჩიოთ ჰაერის მოძრაობის ისეთი სიჩქარე, რომ ჰაერმა აიტაცოს გადასაზიდი მასალის ნაწილაკები. დაეუშვათ, რომ მასალის ნაწილაკების ფორმა არის სფერო დიამეტრით d (მ). თუ აღვნიშნავთ $\gamma_a \left(\frac{\text{მგ}}{\text{მ}^3} \right)$ ნაწილაკის ხვედრითს წონას, მაშინ ნაწილაკის წონა ტოლი იქნება:

$$G = \frac{\pi d^3}{6} \gamma_a \text{ (მგ)}. \quad (156)$$

თუ ნაწილაკი მოთავსებულია უძრავ ჰაერში, ის თავისი სიმძიმის ძალის მეოხებით დაიწყებს ქვემოთ დაცემას. უძრავი ჰაერი ამ დაცემას წინააღობას გაუწევს. ამ წინააღობის ძალა ტოლია:

$$F = K \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\omega_a^2 \cdot \gamma_a}{2g} \text{ (მგ)}, \quad (157)$$

სადაც K არის წინააღობის კოეფიციენტი;

$\gamma_a = \left(\frac{\text{მგ}}{\text{მ}^3} \right)$ — ჰაერის ხვედრითი წონა;

$\omega_a = \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \right)$ — მასალის ნაწილაკის დაცემის სიჩქარე.

როდესაც $G=F$, მაშინ ნაწილაკი თანაბრად დიდდება უძრავ ჰაერში. ამ შემთხვევისათვის ფორმულების (156) და (157) თანახმად შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{\pi \cdot d^3}{6} \gamma_s = K \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\omega_s^2 \cdot \gamma_s}{2g}$$

აქედან კი უძრავ ჰაერში ნაწილაკის დაცემის სიჩქარე ტოლი იქნება:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{4g \cdot d \cdot \gamma_s}{3K \cdot \gamma_s}} \left(\frac{\partial}{\partial t} \right). \quad (158)$$

თუ ჰაერი იმოძრაავებს ქვემოდან ზემოთ სიჩქარით $\omega_s \left(\frac{\partial}{\partial t} \right)$, მაშინ მოძრავი ჰაერის ნაკადში ნაწილაკის დაცემის სიჩქარე, ცხადია, ტოლი იქნება:

$$\omega_{\text{ვც}} = \omega_s - \omega_s \left(\frac{\partial}{\partial t} \right). \quad (159)$$

როდესაც $\omega_s = \omega_s$, მაშინ $\omega_{\text{ვც}} = 0$, ე. ი. ნაწილაკი უძრავი დარჩება და ჰაერში იჭროლებს. ჰაერის იმ სიჩქარეს, რომლის დროსაც ნაწილაკი ჰაერში ქროლავს, ქროლების სიჩქარე ეწოდება ($\omega_{\text{კ}}$).

ფორმულებიდან (158) და (159) გამომდინარეობს, რომ ქროლების სიჩქარე ტოლია:

$$\omega_{\text{კ}} = \omega_s = \sqrt{\frac{4g \cdot d \cdot \gamma_s}{3K \cdot \gamma_s}}. \quad (160)$$

სინამდვილეში გადასაზიდი მასალის ნაწილაკებს აქვს არა სფერული, არამედ უსწორმასწორო ფორმა; ამიტომ შემოდებულია წინაღობის კოეფიციენტი K , რომელსაც შესწორება შეაქვს თეორიულ ფორმულაში.

ვინაიდან ნაწილაკების ფაქტიური ფორმა ზოგი მასალისათვის უფრო მეტად და ზოგისათვის უფრო ნაკლებად განსხვავდება სფერული ფორმისაგან, ამიტომ K -ს მნიშვნელობაც სათანადოდ დიდ ფარგლებში მერყეობს. თუ ავიღებთ საშუალო მნიშვნელობას $K=0,6$, მაშინ ქროლების სიჩქარე ტოლი იქნება:

$$\omega_{\text{კ}} \cong 4,65 \sqrt{d \frac{\gamma_s}{\gamma_s}} \left(\frac{\partial}{\partial t} \right). \quad (161)$$

იმისათვის, რომ ჰაერმა აიტაცოს მასალის ნაწილაკები, ცხადია, საჭიროა, რომ ჰაერის სამუშაო სიჩქარე მილსადენში ($\omega_{\text{საშ}}$) მეტი იყოს, ვიდრე ქროლების სიჩქარე ($\omega_{\text{კ}}$), ე. ი.

$$\omega_{\text{საშ}} > \omega_{\text{კ}}.$$

პრაქტიკულად იღებენ:

$$\omega_{\text{საშ}} = \alpha \cdot \omega_{\text{კ}}, \quad (162)$$

სადაც

$$\alpha = 1,2 \div 2,0.$$

α -ს მნიშვნელობა შერჩეული უნდა იყოს გადასაზიდი მასალის ფიზიკური თვისებების, მილსადენის სიგრძისა და ადგილობრივ წინააღმდეგობათა სიზრავლის მიხედვით. პნევმატიკური ტრანსპორტის ეკონომიური მუშაობისათვის საჭიროა სწორად შევარჩიოთ ჰაერის რაოდენობა, რომელიც ატუცილებელია მასალის განსაზღვრული რაოდენობის გადასაზიდად. მასალის წონის (G_a) შეფარდებას მის გადასაზიდად საჭირო ჰაერის წონისადმი (G_s) ნარევის კოეფიციენტი (μ_F) ეწოდება, ე. ი.

$$\mu_F = \frac{G_a}{G_s}. \quad (163)$$

ნარევის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ზოგიერთი მასალისათვის მოყვანილია სპეციალურ ლიტერატურაში. იმისათვის, რომ ჰაერმა მილსადენში მასალა გადაადგილოს საჭიროა წნევათა სხვაობა იყოს მილსადენის თავსა და მილსადენის ბოლოში. ეს სხვაობა— $p - \left(\frac{dp}{dx}\right)$ იხარჯება შემდეგი სამი დანაკარგის დასაფარავად:

1) $p_1 - \left(\frac{dp}{dx}\right)$ —წნევის დანაკარგი გადასაზიდი მასალის გადაადგილებაზე;

2) $p_2 - \left(\frac{dp}{dx}\right)$ —წნევის დანაკარგი ჰაერისა და გადასაზიდი მასალის მოძრაობის სიჩქარის შექმნაზე;

3) $p_3 - \left(\frac{dp}{dx}\right)$ —წნევის დანაკარგი ჰაერისა და გადასაზიდი მასალის აწევაზე ვერტიკალურ მილსადენებში.

მაშასადამე:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 \left(\frac{dp}{dx}\right). \quad (164)$$

ამ დანაკარგების გაანგარიშება შემდეგი ფორმულებით შეიძლება:

$$p_1 = \Delta p_s (1 + \mu \cdot m) \left(\frac{dp}{dx}\right) \quad (165)$$

სადაც: $p_s - \left(\frac{dp}{dx}\right)$ არის წნევის დანაკარგი წმინდა ჰაერის გადაადგილებაზე;

μ — ნარევის კოეფიციენტი;

m — მასალაზე დამოკიდებული კოეფიციენტი, რომელიც მიღებული უნდა იყოს ცდების შედეგად.

$$p_2 = (c - \phi \cdot \mu) \frac{\gamma_s \cdot w_{\text{საშ}}^2}{2g} \left(\frac{dp}{dx}\right), \quad (166)$$

სადაც: c არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მასალაზე და აგრეთვე მილსადენის სისტემაზე.

$\psi = 1$ — კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მასალის სიჩქარესა და ჰაერის სამუშაო სიჩქარის შეფარდებაზე;

$\gamma_1 = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$ — ჰაერის ხვედრითი წონა

$$p_2 = (1 + \mu) \gamma_1 \cdot H \frac{p_2}{p_1}, \quad (167)$$

სადაც: H — (მ) არის მილსადენის ვერტიკალური უბნების სიმაღლე.

საანგარიშო საერთო წნევა, რომელიც უნდა განავითაროს ვენტილატორმა, ტოლი იქნება:

$$H_b = \frac{p}{\gamma_1} (3 \cdot \text{სვ} \cdot \text{მ}). \quad (168)$$

პნევმატიკური სატრანსპორტო დანადგარისათვის საჭირო სიმძლავრე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$N = \frac{L_1 \cdot \gamma_1 \cdot H_b}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} \quad (\text{ც. დ.}) \quad (169)$$

სადაც: $L_1 = \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{ს}} \right)$ არის საათობრივი ხარჯი

$\eta = 0,5 \div 0,7$ — დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

პნევმატიკური ტრანსპორტის დანადგარის ერთ-ერთ მაჩვენებელს შეადგენს ე. წ. დატვირთვის სიმკვრივე (β), რომელიც წარმოადგენს ღროის ერთეულში გადაზიდული მასალის წონას, რაც მოდის მილსადენის კვეთის ერთ კვადრატულ მეტრზე, ე. ი.

$$\beta = \frac{G_a}{F \cdot \tau} \left(\frac{\text{ტ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{ს}} \right) \quad (170)$$

β -ს მნიშვნელობა უნდა იყოს მიღებული დანადგარის ექსპლოატაციის შესწავლის შედეგად. ასე, მაგალითად ხორბლისათვის მიღებულია

$$\beta = 3500 \frac{\text{ტ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{ს}},$$

ნაცრისათვის

$$\beta = 320 \div 350 \frac{\text{ტ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{ს}},$$

წვრილი ქვანახშირისათვის

$$\beta = 460 \div 470 \frac{\text{ტ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{ს}}.$$

პნევმატიკური ტრანსპორტის დანადგარის გაანგარიშება შემდეგი თანმიმდევრობით უნდა ჩავატაროთ:

1. უნდა განვსაზღვროთ ფორმულით (161) ქროლვის სიჩქარე — $w_{\text{კ}}$, მისი მიხედვით კი ფორმულით (162) სამუშაო სიჩქარე — $w_{\text{სა}}$:

2. მოცემული მწარმოებლობის G_a და აღებული β -ს მიხედვით ფორმულით (170) უნდა გავიგოთ მილსადენის კვეთი— F :

3. ნარევის კოეფიციენტის μ შერჩევის შემდეგ უნდა გავიგოთ გადამზიდი ჰაერის რაოდენობა.

4. უნდა შევადგინოთ დანადგარის სქემა და მისი მიხედვით ჰიდრაულიკის სათანადო ფორმულებით (იხ. § 6) უნდა გავიგოთ წნევის დანაკარგი წმინდა ჰაერისათვის p_a . ხახუნის კოეფიციენტი ამ შემთხვევასთვის ტოლია:

$$f = 0,0125 + \frac{0,0011}{D},$$

სადაც D —(მ) არის მილსადენის დიამეტრი:

5. ფორმულებით (165), (166) და (167) უნდა გავიგოთ წნევის საერთო დანაკარგი p და ფორმულის (168) საშუალებით გავიგოთ H_b ;

6. ფორმულით (169) უნდა გავიგოთ საჭირო სიმძლავრე.

§ 18. მაგალითები

მაგალითი 29.

გამწევი ძრავის სიმძლავრე კავზე შეადგენს 20 ც. ძ. რას უდრის მისი გამწევი ძალა, თუ სიჩქარე უდრის $18 \frac{მ}{ს}$?

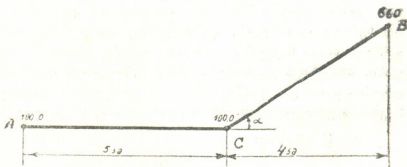
ამოხსნა: სიმძლავრის ფორმულის თანახმად გამწევი ძალა უდრის:

$$P = \frac{75 \cdot N}{\omega} = \frac{75 \cdot 20}{18 \cdot 1000} = 300 \text{ კგ.}$$

მაგალითი 30.

ნიადაგის გზაზე გადასატანია ორთქლის ქვაბი წონით 1,2 ტ. გზის პროფილი მოყვანილია ნახ. 134-ზე. შევარჩიოთ გამწევი საშუალება და განვსაზღვროთ დრო, რომელიც საჭიროა გადატანისათვის, ქვაბის მასალის გზის ზედაპირზე ხახუნის კოეფიციენტი უდრის $f_1 = 37$.

ამოხსნა: ნახაზის მიხედვით გზის პროფილი ორი ნაწილისაგან შედგება: ვა-



ნახ. 134. სქემა მაგ. № 30-სათვის.

კე უბანი $A-C$ და აღმართიანი უბანი $C-B$. ვინაიდან მოძრაობის პირობები ამ უბნებისათვის სხვადასხვაა, განვარჩიოთ ყოველი უბნისათვის ცალკე უნდა ჩავატაროთ:

1. გამწვევი ძალა P ტოლი უნდა იყოს მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალისა $A-C$ უბნისათვის განტოლების (96) თანახმად წინააღმდეგობის ძალა ხახუნის ძალას უდრის. ამიტომ ამ უბნისათვის გამწვევი ძალა ტოლი იქნება:

$$P_{A-C} = f_1 \cdot G = 0,37 \cdot 1200 = 445 \text{ კგ.}$$

$C-B$ უბნისათვის კი გამწვევი ძალა განტოლების (100) თანახმად ტოლი იქნება:

$$P_{C-B} = G(f_1 \cos \alpha + \sin \alpha).$$

ხახუნის მიხედვით გზის ქანობი ამ უბანზე ტოლია

$$i = \frac{660 - 100}{4000} = 0,14; \quad i = \operatorname{tg} \alpha = 0,14.$$

მაშასადამე, აღმართის კუთხე

$$\alpha = a \operatorname{rctg} 0,14 = 8^\circ,$$

აქედან:

$$P_{C-B} = 1200(0,37 \cdot \cos 8^\circ + \sin 8^\circ) \approx 600 \text{ კგ.}$$

2. თუ გამოვიყენებთ ცოცხალ გამწვევ ძალას (ხარის ან ცხენს) საჭირო იქნება თეორიულად:

A-B უბანზე.

$$n_{\text{თ}} = \frac{P_{A-C}}{p} = \frac{445}{75} \approx 6 \text{ ცხენი ან ხარი.}$$

$p = 75$ კგ არის ერთი ხარის ან ცხენის გამწვევი ძალა მე-11 ცხრილიდან.

C-B უბანზე კი:

$$n_{\text{თ}} = \frac{P_{C-B}}{p} = \frac{600}{75} = 8 \text{ ცხენი ან ხარი.}$$

ერთ ქაპანში შეგზავნილი ხარების ან ცხენების შეთანხმებული მუშაობა არ ხერხდება, ამიტომ, ფაქტიურად რამდენიმე ცხენის ან ხარის საერთო გამწვევი ძალა ნაკლები გამოდის, ვიდრე ცალკე ერთეულების გამწვევი ძალთა ჯამი. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ საშუალოდ 4 ერთეული ერთად მუშაობის დროს ავითარებს გამწვევ ძალას 3 ერთეულის გამწვევ ძალთა ჯამის ტოლს, 5 კი—4 ერთეულისას. ამ მაგალითისათვის ფაქტიურად საჭირო იქნება:

A-C უბანზე:

$$n_{A-C} = \frac{6 \cdot 4}{3} = 8 \text{ ცხენი ან ხარი.}$$

C-B უბანზე კი:

$$n_{C-B} = \frac{8 \cdot 5}{4} = 10 \text{ ცხენი ან ხარი.}$$



მაშასადამე, C წერტილში (აღმართის დასაწყისში) ქვაბს დამატებით უნდა შეემატოს ორი გამწვევი ერთეული (ერთი უღელის ხარი ან ერთი წყვბლი ცხენი).

მოძრაობის სიჩქარე ორივე უბნისათვის მე-11 ცხრილის თანახმად ტოლი იქნება:

ცხენებისათვის $w_a = 1,1 \frac{მ}{წმ};$

ხარებისათვის $w_b = 0,8 \frac{მ}{წმ}.$

ახლა ქვაბის გადასატანად გამოვიყენოთ ტრაქტორი, რომელსაც იქვს სიმძლავრე ლილვზე $N_d = 20$ ც. დ. და საში სიჩქარე:

$$I - w_1 = 1,8 \frac{მ}{ს} = \frac{1,8 \cdot 1500}{3600} = 0,5 \frac{მ}{წმ};$$

$$II - w_2 = 4,75 \frac{მ}{ს} = \frac{4,75 \cdot 1000}{3600} = 1,32 \frac{მ}{წმ};$$

$$III - w_3 = 7,0 \frac{მ}{ს} = \frac{7,0 \cdot 1000}{3600} = 1,94 \frac{მ}{წმ}.$$

სიმძლავრე კავზე შეიძლება მივიღოთ:

$$N_3 = 0,6 N_d = 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ ც. დ.}$$

მაშინ გამწვევი ძალა ტრაქტორის სხვადასხვა სიჩქარის დროს შესაბამისად ტოლი იქნება

$$I \text{ სიჩქარის დროს } P_1 = \frac{N_3 \cdot 75}{w_1} = \frac{12 \cdot 75}{0,5} = 1800 \text{ კგ};$$

$$II \text{ სიჩქარის დროს } P_2 = \frac{12 \cdot 75}{1,32} \approx 680 \text{ კგ};$$

$$III \text{ სიჩქარის დროს } P_3 = \frac{12 \cdot 75}{1,94} \approx 460 \text{ კგ}.$$

მაშასადამე, ტრაქტორი გასწევს ქვაბს $A-C$ უბანზე მესამე სიჩქარით, $C-B$ უბანზე კი—მეორე სიჩქარით.

3. საერთო მანძილი, რომელიც უნდა გაიაროს ქვაბმა უღრის

$$L = \overline{AC} + \frac{\overline{CB}}{\cos \alpha} = 5000 + \frac{4000}{0,99} = 9050 \text{ მ.}$$

გადატანის ხანგრძლიობა ტოლი იქნება:

$$\text{ცხენებისათვის—}\tau_a = \frac{L}{w_a} = \frac{9050}{1,1} \approx 8200 \text{ წმ} \approx 2 \text{ ს } 17 \text{ წთ.}$$

$$\text{ხარებისათვის} - \tau_6 = \frac{L}{\omega_6} = \frac{9050}{0,8} \cong 11300 \text{ წმ} \cong 3 \text{ ს } 8 \text{ წთ.}$$

ტრაქტორისათვის კი:

AC უბანს ტრაქტორი გაივლის

$$\tau'_6 = \frac{\overline{AC}}{\omega_3} = \frac{5000}{1,94} \cong 2580 \text{ წმ} \cong 43 \text{ წთ.}$$

C—B უბანს კი:

$$\tau''_6 = \frac{\overline{CB}}{\cos \alpha \cdot \omega_2} = \frac{4000}{0,99 \cdot 1,32} \cong 3070 \cong 51 \text{ წთ.}$$

საერთო ხანგრძლიობა ტრაქტორით ქვების გადატანისა ტოლი იქნება:

$$\tau_6 = \tau'_6 + \tau''_6 = 43 \text{ წთ} + 51 \text{ წთ} = 94 \text{ წთ} = 1 \text{ ს } 34 \text{ წთ.}$$

მაგალითი №1.

გადასაზიდია მარნიდან აუზებში ქაქა რაოდენობით 17 ტონა დღეში ვიწროლიანდაგიან რკინიგზაზე სვლით საგორებელი ურიკებით ტევადობით 0,75 მ³.

მარანი და აუზები მდებარეობენ ერთსა და იმავე დონეზე და დაშორებული არიან ერთიმეორისაგან მანძილით 800 მ. განესაზღვროთ ურიკებისა და მუშების საჭირო რაოდენობა.

ამოხსნა: 1. ურიკის ტევადობა წონით შეადგენს

$$G_1 = V_3 \cdot \gamma_6 = 0,75 \cdot 600 = 450 \text{ კგ.}$$

$\gamma_6 = 600 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}$ არის ქაქის ნაყარი წონა აჩენჩილ მდგომარეობაში.

2. ხელით საგორებელი ურიკისათვის მოძრაობის სიჩქარე დასაშვებია ზემოაღნიშნულის თანახმად $\omega = 0,75 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$, ამიტომ ურიკის მოძრაობის ხანგრძლიობა პროგნოზ დატვირთულის, ისე დაცლილის, ტოლი იქნება:

$$\tau_2 = \tau_4 = \frac{L}{\omega} = \frac{600}{0,75} \cong 800 \text{ წმ} \cong 13 \text{ წთ.}$$

ურიკის დატვირთვა მივიღოთ ხელით ნიჩბების საშუალებით. მაშინ დატვირთვის ხანგრძლიობა შეგვიძლია მივიღოთ:

$$\tau_1 = 5 \text{ წთ.}$$

განტვირთვა მოხდება ურიკის აკვნის გადმოყირავეებით. ამიტომ განტვირთვის ხანგრძლიობა შეგვიძლია მივიღოთ:

$$\tau_3 = 0,5 \text{ წთ.}$$

აქედან ურიკის ერთი მობრუნების ხანგრძლიობა ტოლი იქნება:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 5 + 13 + 0,5 + 13 = 31,5 \text{ წთ.}$$

ათსათიანი სამუშაო დღის (რთელის დროს) განმავლობაში ერთი ურთიერთობის
კა გააქვთებს დღეში $\frac{10 \cdot 60}{31,5} \cong 19$ ბრუნვას და გადაიტანს ქაქის რაოდენობით:

$$19 \cdot 450 = 8500 \text{ კგ} = 8,5 \text{ ტ.}$$

მაშასადამე, ურთიქების რაოდენობა უნდა იყოს:

$$\frac{17}{8,5} = 2 \text{ ცალი.}$$

3. წევის ძალა ურთიქისათვის განისაზღვრება ფორმულით (109):

$$P = W_{\text{საერთო}} = G_{\text{საერთო}} \left(\frac{d}{D} f_1 + \frac{f_2}{R} \right).$$

ცხრილიდან 10 ურთიქის წონა არის $G_0 = 480$ კგ; $D = 30$ სმ; $d = 5$ სმ.
ვინაიდან ურთიქას აქვს მარტივი საკისარი, ამიტომ $f_1 = 0,3$ და $f_2 = 0,15$:

$$G_{\text{საერთო}} = G_1 + G_0 = 450 + 480 = 930 \text{ კგ.}$$

აქედან წევის ძალა ტოლი იქნება:

$$P = 930 \left(\frac{5}{30} \cdot 0,3 + \frac{0,15}{15} \right) \cong 56 \text{ კგ.}$$

ერთ მუშას შეუძლია განავითაროს ძალა $20 + 30$ კგ., ე. ი. საჭიროა $2 + 3$ მუშა.

მარტივი საკისრის მაგივრად რომ აგველო ბურთულებიანი საკისარი, რომლისთვისაც $f_1 = 0,02$, საჭირო წევის ძალა ტოლი გამოვიდოდა:

$$P = 930 \left(\frac{5}{30} \cdot 0,02 + \frac{0,15}{15} \right) \cong 12 \text{ კგ,}$$

ე. ი. სრულიად საკმარისი იქნებოდა ერთი მუშა.

მაგალითი 32.

ამოგხსნათ წინა მაგალითი იმ პირობით, რომ მარნისა და ქაქის აუზებს
აქვთ მდებარეობა ნახ. 135-ის მიხედვით (ქაქა ასაზილია აღმართში).

ამოხსნა: ვინაიდან აღმართის კუთხე მცირეა (იხ. ქვემოთ $\cos \alpha = 0,992$)
გზის სიგრძეს ვიღებთ მისი ჰორიზონტალური პროექციის ტოლს და ამიტომ
აქ შეიცვლება მხოლოდ საჭირო წევის ძალა.

1. საჭირო წევის ძალა განისაზღვრება განტოლებით (31):

$$P_a = G_{\text{საერთო}} (\mu_F \cos \alpha + \sin \alpha).$$

წევის კოეფიციენტი განტოლების (30) თანახმად ტოლია:

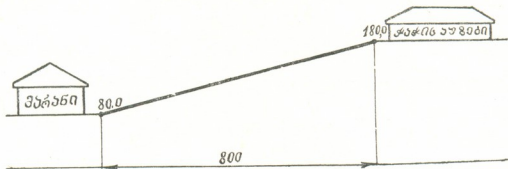
$$\mu_F = \frac{d}{D} f_1 + \frac{f_2}{R} = \frac{5}{30} \cdot 0,3 + \frac{0,15}{15} \cong 0,06.$$

გზის პროფილის კანობი ნახაზის მიხედვით შეადგენს:

$$i = \frac{180-80}{800} = 0,125;$$

მაშასადამე,

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,125,$$



ნახ. 135. სქემა მაგ. № 32-საფრის.

აქედან

$$\sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{0,125}{\sqrt{1+0,125^2}} = 0,124;$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1-\sin^2 \alpha} = \sqrt{1-0,124^2} = 0,992.$$

31 განტოლებაში მიღებული სიდიდეების ჩასმით, გვექნება:

$$P_0 = 930(0,06 \cdot 0,992 + 0,124) \cong 170 \text{ კგ.}$$

2. თუ ურიკას ხელით ავაგორებთ, ამისათვის საჭირო იქნება $\frac{170}{25} \cong 7$ მუშა. ვინაიდან ამდენი მუშა ერთ ურიკაზე ვერ იმუშავენ, მიზანშეწონილია ურიკის ასაგორებლად ვიხმაროთ მექანიკური ძალა, მაგ., ელექტროჯალამბარი: აღმართის ბოლოში დაედგამთ ჯალამბარს, რომლის ბაგირის ერთ ბოლოზე დამაგრებული იქნება დატვირთული, აღმართში ამოშავალი, ურიკა, ხოლო მეორე ბოლოზე—დაღმართში ჩამავალი ცარიელი ურიკა.

3. ჯალამბარის ელექტრომოდოლის სიმძლავრის გასანგარიშებლად უნდა გავიგოთ წვევის ძალა, რომელიც საჭიროა ცარიელი ურიკის ჩასაგორებლად.

განტოლების (32) თანახმად საჭირო წვევის ძალა ტოლი იქნება:

$$P_g = G_{\text{საერთო}} (\mu_n \cos \alpha - \sin \alpha).$$

ვინაიდან ურიკა ცარიელია, ამიტომ $G_1 = 0$ და $G_{\text{საერთო}} = G_0 = 480$ კგ; აქედან

$$P_g = 480(0,06 \cdot 0,992 - 0,124) = -3,12 \text{ კგ}$$

ე. ი. ცარიელი ურიკა თავის ჩასაგორებლად არა თუ არ მოითხოვს ძალას, პირიქით, ავითარებს ძალას $-3,12$, რომელიც შეიძლება მოვიხმაროთ დატვირთული ურიკის ამოსაგორებლად. ვინაიდან ბაგირი გაივლის გადამცემ

შექანიზმს, რომელშიაც ადგილი აქვს დანაკარგებს, ამიტომ ფაქტიურად შეგვიძლია მოვიხმაროთ ძალა მხოლოდ — $\frac{3,12}{0,95} = 3,03 \approx -30$ კგ, სადაც 0,95

არის ჯალამბარის გადაცემების ნაფარაუდვეი მარგი ქმედების კოეფიციენტი (უნდა დაზუსტდეს ჯალამბარის ანგარიშის შემდეგ). მაშასადამე, საანგარიშო წვეის ძალა საბოლოოდ ტოლი გამოდის

$$170 - 303 = 166,97 \text{ კგ,}$$

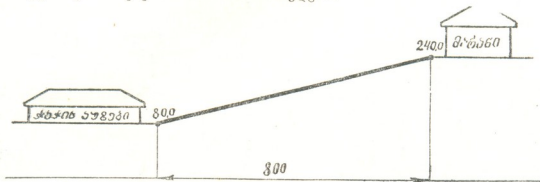
რომელზედაც უნდა ვიანგარიშოთ ჯალამბარი.

მაგალითი №3.

ძალიან ხშირად (განსაკუთრებით საქართველოს პირობებში) ჭაჭის აუზები მარნის ქვემოთ მდებარეობენ, ე. ი. დატვირთული ურიკა დაღმართში ჩამოდის, ცარიელი კი აღმართში ამოდის.

ამ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ წვეის საშუალება, რომელიც ფართოდაა გავრცელებული მაღაროებში ბრემსბერგის სახელით. ზოგიერთ შემთხვევაში ბრემსბერგი სრულიად არ მოითხოვს ძალის ხარჯს.

ამოცხსნათ წინა მაგალითი იმ ცვლილებით, რომ ჭაჭის აუზებისა და მარნის მდებარეობა იქნება ნახ. 136-ის მიხედვით.



ნახ. 136. სქემა მაგ. № 33-სათვის.

ამოცხსნათ: 1. გზის პროფილის ქანობი ნახაზის მიხედვით შეადგენს.

$$i = \frac{240 - 80}{800} = 0,2; \text{ ე. ი. } \operatorname{tg} \alpha = 0,2$$

აქედან

$$\sin \alpha = 0,196 \text{ და } \cos \alpha = 0,98$$

$$\mu_F = 0,06 \text{ (წინა მაგალითიდან).}$$

2. წვეის ძალა, რომელიც საჭიროა დატვირთული ურიკის ჩასაგორებლად, ტოლია:

$$P_F = 960 (0,06 \cdot 0,98 - 0,196) = -128 \text{ კგ,}$$

ე. ი. ურიკა თვით იძლევა ძალას.

3. წვეის ძალა, რომელიც საჭიროა ცარიელი ურიკის ამოსაგორებლად ტოლია:

$$P = 480 (0,06 \cdot 0,98 + 0,196) \cong 122 \text{ კგ.}$$

4. წინა მაგალითისნაირად ავიღოთ გადაცემის მარგი ქმედების კოეფიციენტი=0,95, მაშინ დატვირთული ურიკა მოგვეცემს ძალას

$$\frac{-128}{0,95} \cong -122 \text{ კგ.}$$

სწორედ იმდენს, რამდენიც საჭიროა ცარიელი ურიკის ამოსაგორებლად. მაშასადამე, აქ საჭირო იქნება მხოლოდ საწყისი ბიძგის მიცემა, დამდგარი მოძრაობა კი მოხდება ყოველგვარი დამატებითი ძალის გარეშე.

მაგალითი 34.

გავიანგარიშოთ ლიფტი, რომელმაც სარდაფის მეორე სართულიდან მიწისზედა პირველ სართულში უნდა აიტანოს 50 დკლ ტევადობის კასრებით ღვინო

რაოდენობით 3000 $\frac{\text{დკლ}}{\text{ს}}$ (ნახ. 137).

ამოხსნა: 1. ასატანი კასრების რაოდენობა შეადგენს

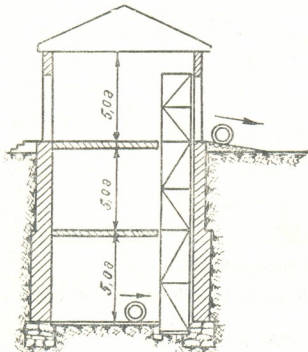
$$n = \frac{3000}{50} = 60 \text{ კასრი.}$$

2. დავუშვათ წინასწარი ვარაუდით, რომ ერთდროულად ბაქანმა უნდა აიტანოს 4 კასრი. მაშინ, თუ ცარიელი კასრის წონას ავიღებთ 100 კგ, ასაწვევი ტვირთის წონა ტოლი იქნება:

$$Q = 4 (500 + 100) = 2400 \text{ კგ.}$$

ბაქნის საკუთარი წონა ავიღოთ 20% ტვირთის წონისა:

$$P = 0,2 Q = 0,2 \cdot 2400 = 480 \text{ კგ.}$$



ნახ. 137. სქემა მაგ. № 34-სათვის.

აქედან ლიფტის საერთო ტვირთმზიდლობა შეადგენს

$$P + Q = 480 + 2400 \cong 3000 \text{ კგ.}$$

ამ ტვირთმზიდლობის მიხედვით ცხრ. 14-ის თანახმად ვირჩევთ ლიფტის მოძრაობის სიჩქარეს

$$v = 0,25 \frac{\text{მ}}{\text{წმ.}}$$

3. მივიღოთ ამწევი ბაქნის დატვირთვისათვის (კასრების შეგორებისათვის) საჭირო დრო: $\tau_1 = 80$ წმ. ტვირთის აწევისათვის საჭირო დრო ტოლი იქნება:

$$\tau_2 = \frac{H}{\omega} = \frac{10}{0,25} = 40 \text{ წმ.}$$

ამწევი ბაქნის განტვირთვისათვის (კასრების გამოგორებისათვის) საჭირო დრო: $\tau_3 = \tau_1 = 80$ წმ. დატვირთული ბაქნის ჩამოსვლისათვის საჭირო დრო: $\tau_4 = \tau_2 = 40$ წმ.

ამწევი ბაქნის ერთი შემობრუნებისათვის საჭირო დრო ტოლი იქნება:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 80 + 40 + 80 + 40 = 240 \text{ წმ} = 4 \text{ წთ.}$$

4. ამწევი ბაქანი გააკეთებს ერთ საათში

$$k = \frac{60}{\tau} = \frac{60}{4} = 15 \text{ გზობას.}$$

5. ერთდროულად ბაქანმა უნდა აიტანოს:

$$\frac{n}{k} = \frac{60}{15} = 4 \text{ კასრი.}$$

მაშასადამე, ვარაუდი სწორია (თუ განსხვავება გამოვიდა, ვარაუდი უნდა შეიცვალოს და ანგარიში თავიდან უნდა გაკეთდეს).

6. ბაქნის გაბარიტები გვემაში იქნება ნახ. 138-ის მიხედვით.

7. საპირწონეს წონა ფორმულის (126) თანახმად ტოლი უნდა იყოს ($C=0,4$):

$$G = 480 + 0,4 \cdot 2400 = 1440 \text{ კგ.}$$

8. ჯალამბარის გამწევი ძალა ფორმულის (27) მიხედვით ტოლი იქნება:

$$S = 480 + 2400 - 1440 = 1440 \text{ კგ.}$$

9. საჭირო სიმძლავრე ფორმულით (128) შეადგენს ($\eta=0,6$):

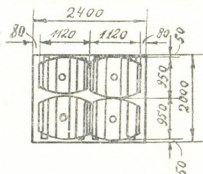
$$N = \frac{1440 \cdot 0,25}{75 \cdot 0,6} = 8 \text{ ც. ძ.}$$

ანუ ფორმულის (7) თანახმად:

$$N = \frac{8}{1,36} \approx 6 \text{ კვ.}$$

მაგალითი 35.

გავიანგარიშოთ ლენტეხი ტრანსპორტიორი, რომელმაც უნდა გადაზიდოს 100 მ. მანძილზე და 5 მ სიმაღლეზე ჰაუზი რაოდენობით 20 $\frac{\text{ტ}}{\text{წმ.}}$ დატვირ-



ნახ. 138. სქემა ზავ. № 34-სათვის.

თვა ხდება ძაბრის საშუალებით (ნახ. 95), განტვირთვა კი ტრანსპორტიორის ბოლოში ღარზე (ნახ. 96).

ამოხსნა: 1. განვსაზღვროთ ლენტის სიგანე. ფორმულის (134) თანახმად ლენტის სიგანე ტოლია:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{576 \cdot \gamma_{\text{L}} \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \frac{\rho_{\text{B}}}{\text{L}}}} \quad (\text{მ}).$$

ავიღოთ:

$$\gamma_{\text{L}} = 0,6 \left(\frac{\text{ტ}}{\text{მ}^3} \right);$$

$$\omega = 1,0 \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \right) \quad (\text{ცხრილი 19}).$$

$$\rho_{\text{B}} = 30^\circ \quad (\text{პირობით})$$

$$B = \sqrt{\frac{20}{576 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \cdot 0,268}} \cong 0,47 \text{ მ}.$$

სტანდარტის მიხედვით ვიღებთ უახლოეს ზომის სიგანის ლენტს $B=500$ მმ. ქაქა უნდა დალაგდეს ლენტზე $b=0,8$ $B=0,8 \cdot 500=400$ მმ სიგანით.

2. მე-17 ცხრილის მიხედვით ვარაუდად ვიღებთ შუასაღებების რაოდენობას $i=3$.

3. მე-14 ცხრილის მიხედვით, თუ ქაქას II-ე კატეგორიას მივაკუთვნებთ, ავიღებთ შემონაფენების სისქეს:

$$\text{გარეშეშემონაფენის სისქე } a_{\text{გ}} = 1,5 \text{ მმ};$$

$$\text{შიგაშემონაფენის სისქე } a_{\text{შ}} = 0,75 \text{ მმ}.$$

4. ლენტის საერთო სისქე ფორმულის (131) თანახმად ტოლი იქნება:

$$a = 1,25 \cdot 3 + 1,5 + 0,75 = 6 \text{ მმ}.$$

5. დოლის დიამეტრი ფორმულის (132) თანახმად:

$$D = 125 \cdot 3 = 375 \text{ მმ}.$$

6. განვსაზღვროთ ტრანსპორტიორისათვის საჭირო სიმძლავრე: ფორმულის (138) თანახმად:

$$N_1 = 0,015 \cdot 100 \cdot 1 = 1,5 \text{ კვ},$$

სადაც $k=0,015$ აღებულია 21-ე ცხრილიდან ფორმულის (138ა) თანახმად

$$N_2 \cong 0,00015 \cdot 20 \cdot 100 = 0,3 \text{ კვ}.$$

ფორმულის (138ბ) თანახმად:

$$N_3 \cong 0,0027 \cdot 20 \cdot 5 = 0,27 \text{ კვ}.$$

ფორმულის (138გ) თანახმად:

$$N'_0 = 1,5 + 0,3 + 0,27 \approx 2,1 \text{ კვ.}$$

ამ ფორმულაში, ვინაიდან $L > 40$ მ, ამიტომ $K_2 = 1$; რადგანაც $N_1 = 0$, ამიტომ $N_0 = N'_0 = 2,1$ კვ.

ძრავის სიმძლავრე ტრანსპორტიორისათვის ფორმულის (138ზ) თანახმად ტოლი იქნება:

$$N = 1,2 \frac{2,1}{0,8} \approx 3,2 \text{ კვ.}$$

ელმოტორების კატალოგის მიხედვით უახლოესი სიმძლავრის ელმოტორს აქვს შემდეგი მაჩვენებლები:

$$N = 3,6 \text{ კვ; } n = 1440 \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ.}}$$

7. შევამოწმოთ ნავარაუდევ შუასაღებთა რაოდენობა ფორმულით (129):

$$i = 1,1 \frac{m \cdot S_{max}}{B \sigma_{გაგ}}$$

ფორმულის (130) თანახმად:

$$S_{max} = 102 \frac{2,1}{1} \cdot 0,97 \frac{2,72^{0,1 \cdot 2,14}}{2,72^{0,1 \cdot 3,14} - 1} \approx 850 \text{ კვ.}$$

მე-15 ცხრილით— $m = 9$;

მე-16 ცხრილით— $\sigma_{გაგ} = 55 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}$.

აქედან

$$i = 1,1 \frac{9 \cdot 850}{50 \cdot 55} \approx 3,08,$$

მაშასადამე, ვარაუდი სწორია.

8. წამყვანი დოლის ღერძის ბრუნვათა რიცხვი ტოლია:

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,375} \approx 50 \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ.}}$$

ელმოტორიდან წამყვანი ღერძისაკენ გადაცემის რიცხვი ტოლია:

$$\frac{50}{1440} \approx \frac{1}{2,9},$$

რაზედაც უნდა იყოს გაანგარიშებული გადაცემა.

მაგალითი №6.

ფირფიტებიანი ტრანსპორტიორი აწვდის ლიტრიან ბოთლებს ჩამომსხმელ მანქანას სიჩქარით $0,25 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$ 100 მ მანძილზე და 5 მ სიმაღლეზე. რამ-

დენ ბოთლს მიაწვდის ტრანსპორტიორი ერთ საათში და რა სიმძლავრე დასჭირდება მას?

ამოხსნა: რაოდენობა ბოთლებისა, რასაც ტრანსპორტიორი ერთ საათში მიაწვდის განისაზღვრება ფორმულით (137):

$$m = \frac{3600 \cdot a}{d}$$

ბოთლები ჩამწკრივებულია ერთ რიგში, მკიდროდ ერთმანეთთან. ლიტრიანი ბოთლის ფუძის დიამეტრი უდრის 9 სმ. მაშასადამე, $a=0,09$ მ.

აქედან:

$$m = \frac{3600 \cdot 0,25}{0,09} = 10000 \text{ ცალი.}$$

ბოთლი იწონის 0,5 კგ. მაშასადამე, ტრანსპორტიორის წონითი მწარმოებლობა ტოლი იქნება:

$$Q = 10000 \cdot 0,5 = 5000 \frac{\text{კგ}}{\text{ს}} = 5 \frac{\text{ტ}}{\text{ს}}.$$

2. ტრანსპორტიორისათვის საჭირო ძრავის სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით (138ზ):

$$N = k \frac{N_0}{\eta};$$

სიმძლავრე N_0 განისაზღვრება ფორმულით (141)

$$N_0 = 0,0024 \cdot 87 \cdot 0,25 \cdot 100 + 0,003 \cdot 5 \cdot (0,11 \cdot 100 + 5) + 0,006 \cdot 5 \cdot 0,09 = 5,22 + 0,24 + 0,003 \cong 5,5 \text{ კვ.}$$

ამ ფორმულაში

$$q_0 = 80 B + 80 = 80 \cdot 0,09 + 80 = 87.$$

ძრავის სიმძლავრე:

$$N = 1,2 \frac{5,5}{0,8} \cong 8 \text{ კვ.}$$

მაგალითი 37.

ჯაჭვიანი ელევატორი სატაცების საშუალებით (ნახ. 124) ეზიდება 50 დკლ რაოდენობის ღვინით სავსე კასრებს 10 მ სიმაღლეზე სიჩქარით $0,1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$. რამდენ კასრს აიტანს საათში ელევატორი და რამდენი დასჭირდება მას სიმძლავრე, თუ მანძილი სატაცებს შორის შეადგენს 2,5 მ?

ამოხსნა: 1. ელევატორის ცალობითი მწარმოებლობა ფორმულის (149) თანახმად ტოლი იქნება:

$$m = \frac{3600 \cdot 0,1}{2,5} = 144 \frac{\text{ცალი}}{\text{ს}}.$$

წონითი მწარმოებლობა კი ტოლი იქნება:

$$Q = 144 \cdot 600 = 86400 \frac{\text{ბზ}}{\text{ს}} = 86,4 \frac{\text{ტ}}{\text{ს}}.$$

2. საჭირო სიმძლავრე ფორმულის (150) თანახმად შეადგენს

$$N = \frac{86,4 \cdot 10}{270 \cdot 0,7} \cong 4,6 \text{ ტ. ძ.}$$

მაგალითი 38.

გავეიანგარიშოთ შნეკი, რომელიც 40 მ მანძილზე ეზიდება ჰორიზონტალური მიმართულებით ჯაქას რაოდენობით $n \frac{\text{ბზ}}{\text{ს}}$.

ამოხსნა: 1. განვსაზღვროთ შნეკის დიამეტრი. ფორმულიდან (154) შნეკის დიამეტრი ტოლია:

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{47 \cdot \gamma_g \cdot \phi \cdot \varphi \cdot n}} \text{ მ.}$$

ავილოთ:

$$\gamma_g = 0,6 \frac{\text{ტ}}{\text{მ}^3};$$

$$\phi = 0,3;$$

$$\varphi = 0,5;$$

$$n = 100 \frac{\text{ბზ}}{\text{წთ}}.$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{6}{47 \cdot 0,6 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot 100}} \cong 0,242 \text{ ვიღებთ } 0,25 \text{ მ.}$$

2. საჭირო სიმძლავრე ფორმულის (155) შეადგენს

$$N = \frac{WQL}{270} + \frac{QH}{270}.$$

ავილოთ $W=3$ (პირობით), ვინაიდან შნეკი ჰორიზონტალურია $H=0$,

$$N = \frac{3 \cdot 6 \cdot 40}{270} \cong 2,65 \text{ ტ. ძ.}$$

თავი მეოთხე

თხევადი მასალების გადაზიდვა

§ 19. ღვუშიანი ტუმბოები

ღვუშიანი ტუმბოს მოქმედების პრინციპი. ღვუშიანი ტუმბო წარმოადგენს ცილინდრს, რომელშიც სწორხაზოვნად მოძრაობს ღვუში. ღვუში მჭიდროდ ეკერის ცილინდრის კედლებს, ამიტომ ცილინდრში ღვუშის ცვლადი-უკუქცევადი მოძრაობის მეოხებით ხდება როგორც სითხის შეწოვა ცილინდრში, ისე სითხის გამოდევნა ცილინდრიდან.

ღვუშიანი ტუმბოების კლასიფიკაცია. ღვუშიანი ტუმბოების კონსტრუქციები მრავალია. სხვადასხვა ნიშანთვისების მიხედვით ღვუშიანი ტუმბოები შემდეგ ჯგუფებად იყოფა:

ღვუშის მდებარეობის მიხედვით:

1. ვერტიკალური ტუმბოები;
2. ჰორიზონტალური ტუმბოები

ღვუშის ფორმის მიხედვით:

1. ღვუშიანი ტუმბოები (დისკოს ფორმის ღვუში);
2. პლუნჟერიანი ტუმბოები (პლუნჟერის ფორმის ღვუში).

ძრავადან ტუმბოსაკენ ამძრავი ძალის გადაცემის მიხედვით:

1. საძრავი ტუმბოები (ტუმბოს ამოძრავება ხდება ძრავადან ლევდური ან სხვა რაიმე გადაცემის საშუალებით);
2. პირდაპირ მოქმედი ტუმბოები (ტუმბო უშუალოდ შეერთებულია ძრავასთან).

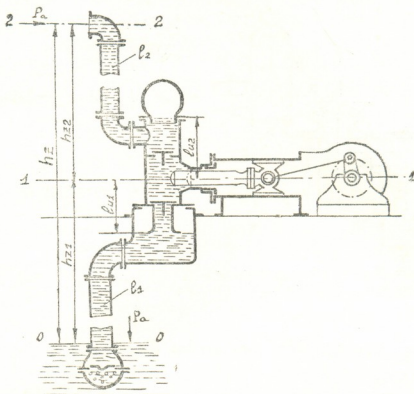
მრუდმხარა ლილვის ბრუნვათა რიცხვის მიხედვით:

1. ნელმავალი ტუმბოები: $n = (40 \div 60) \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$;
2. ჩვეულებრივი ტუმბოები: $n = (60 \div 160) \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$;
3. სწრაფმავალი ტუმბოები: $n = (160 \div 250) \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$.

მოქმედების წესის მიხედვით:

1. ცალმაგქმედების, ანუ მარტივქმედების ტუმბოები;
2. ორმაგქმედების ტუმბოები;
3. ლიფერენციალური ტუმბოები.

ცალმაგქმედების ანუ მარტივქმედების ტუმბოები ეწოდება ისეთ ტუმბოებს, რომლებშიაც ლილვის ერთი ბრუნვის ანდა დგუშის ორი სვლის განმავლობაში სითხე ერთხელ შეიწოვება ტუმბოში და ერთხელ გამოიღვენება ტუმბოდან. ნახ. 139-ზე მოყვანილია ცალმაგქმედების ჰორიზონტალური პლუნ-
გერიაჲნი საძრავი ტუმბოს სქემა.



ნახ. 139. ცალმაგქმედების ჰორიზონტალური პლუნგერიაჲნი საძრავი ტუმბოს სქემა.

ფერიაჲნი საძრავი ტუმბოს სქემა. როდესაც დგუში მარცხნიდან მარჯვნივსავე მოძრაობს ცილინდრში იქმნება გაუხშოება. სითხის ღია ზედაპირზე მოქმედი ატმოსფერული წნევის ძალის (p_a) გავლენით სითხე შედის ტუმბოს შემწოვ მილში; სითხე გააღებს შემწოვ სარკველს და გააღებს ცილინდრს. ამ დროს ტუმბოს დამპირხნი სარკველი დაიხურულია. როდესაც დგუში უკან დაბრუნდება (დგუშის მოძრაობა მარცხნისაკენ), ის მიაწვება ცილინდრში შემწოვილ სითხეს, რის გამოც შემწოვი სარკველი დაიხურება, დამპირხნი კი გაიღება და სითხე ცილინდრიდან დამპირხნი მილსადენში გადავა. ატმოსფერული წნევის საშუალებით ტუმბოში სითხის შედინებას შეწოვა ეწოდება. ტუმბოდან დგუშის საშუალებით სითხის გამოღვენას კი — დაჭირხნა.

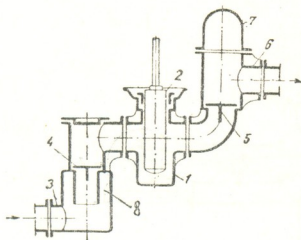
ნახ. 140-ზე მოყვანილია ცალმაგქმედების პლუნგერიაჲნი ვერტიკალური საძრავი ტუმბოს სქემა.

ნახ. 140-ზე ციფრებით აღნიშნულია:

1 — ტუმბოს ცილინდრი (კორპუსი); 2 — პლუნგერი; 3 — შემწოვი მილი; 4 — შემწოვი სარკველი; 5 — საჭირხნი სარკველი; 6 — საჭირხნი მილი; 7 — ჰაერის ხუფი დამპირხნი მხარეზე; 8 — ჰაერის ხუფი შემწოვ მხარეზე.

ტუმბოს მწარმოებლობა ეწოდება სითხის იმ რაოდენობას, რომელსაც ტუმბო აწვდის დროის ერთეულში. მწარმოებლობა განიზომება

$$V_{\text{ეს}} = \left(\frac{\partial^3}{\partial t} \right) \text{ ანდა } Q = \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right).$$



ნახ. 140. ცალმაგქმედების ჯერტიკალური პლუნ-
ფერიანი საძრავი ტუმბოს სქემა.

ტუმბოს მწარმოებლობის გამოსარ-
კვევად აღვნიშნოთ:

D —(მ)—დგუშის დიამეტრი;

F —(მ²)—დგუშის ფართობი

$$\left(F = \frac{\pi D^2}{4} \right);$$

d —(მ)—დგუშის ჰოკის დიამეტრი;

f —(მ)—დგუშის ჰოკის ფართობი

$$\left(f = \frac{\pi d^2}{4} \right);$$

S —(მ)—დგუშის სელა;

$\eta = \left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}} \right)$ ლილვის ბრუნვათა რიცხვი ანუ დგუშის ორმაგსელათა რაოდენობა წუთში;

$V_{\text{ეს}} = \left(\frac{\partial^3}{\partial t} \right)$ —სითხის ხარჯი;

$Q_{\text{თ}} = \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right)$ —სითხის რაოდენობა, რომელსაც ტუმბო უნდა აწვდიდეს თეორიულად;

$Q_{\text{ფ}} = \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right)$ —სითხის რაოდენობა, რომელსაც ტუმბო ფაქტიურად აწვდის;

მაშინ ცალმაგქმედების ტუმბოს მწარმოებლობა ტოლი იქნება:

$$V_{\text{ეს}} = \frac{F \cdot S \cdot \eta}{60} \left(\frac{\partial^3}{\partial t} \right).$$

სხვადასხვა მიზეზის გამო ტუმბო ფაქტიურად ნაკლებ სითხეს აწვდის, ვიდრე ეს თეორიულად არის გაანგარიშებული, ე. ი. $Q_{\text{ფ}} = \eta_1 Q_{\text{თ}}$, სადაც $\eta_1 = \frac{Q_{\text{ფ}}}{Q_{\text{თ}}}$ არის მიწოდების კოეფიციენტი.

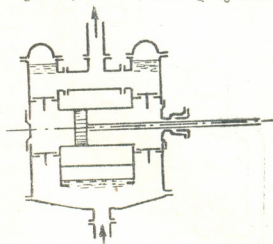
მაშასადამე, ტუმბო ფაქტიურად აწვდის სითხეს რაოდენობით:

$$Q_{\text{ფ}} = 1000 F \cdot S \cdot \eta \cdot \eta_1 \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right) \quad (171)$$

$$Q_{\text{ფ}} = 1000 \frac{\pi D^2}{4} S \cdot n \cdot \eta_1 \cdot \left(\frac{L}{V} \right)$$

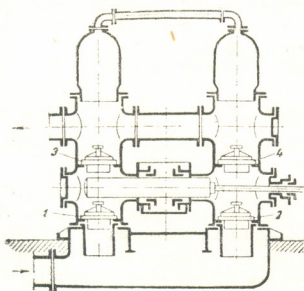
(171a)

ორმაგქმედების ტუმბოები. ორმაგქმედების ტუმბოების სქემები მოყვანილია ნახ. 141, 142 და 143-ზე. ერთი მათგანი (ნახ. 141) არის დისკოიანი დგუშით ჰორიზონტალური, მეორე (ნახ. 142) პლუნჟერიანი ჰორიზონტალური და მესამე (ნახ. 143) პლუნჟერიანი ვერტიკალური. ნახ. 142-ზე ციფრებით 1, 2, 3 და 4 აღნიშნულია ტუმბოს სარქველები. ორმაგქმედების ტუმბოებში სითხის როგორც შეწოვა, ისე დაჭირხნა დგუშის ყოველ სვლაზე ხდება. დგუშში ამ ტუმბოებში ორივე მხრით მუშაობს: როდესაც დგუში მარცხნიდან მარჯვნივსაა მოძრაობს (ნახ. ნახ. 141 და 142), სითხე ცილინდრის მარცხენა ნაწილში შეიწოვა, ცილინდრის მარჯვენა ნაწილიდან კი დამჭირხნ მილში გადიდევნება; როდესაც დგუში მარჯვნიდან მარცხნისაა დაბრუნდება, ცილინდრის მარჯვენა ნაწილში სითხე შეიწოვება, ხოლო მარცხენა ნაწილიდან კი დამჭირხნ მილში გადიდევნება. მაშასადამე, ლილვის ერთი ბრუნვის განმავლობაში ტუმბო ორჯერ შეიწოვს და ორჯერ დაჭირხნის სითხეს.



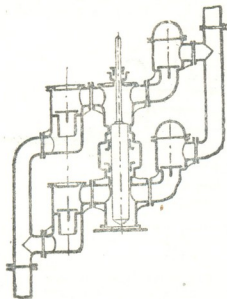
ნახ. 141. ორმაგქმედების დისკოიანი დგუშით ჰორიზონტალური ტუმბოს სქემა.

ცალმაგქმედების ტუმბოსთან შედარებით, ორმაგქმედების ტუმბო უფრო თანაბრად აწვდის სითხეს. დისკოიან ტუმბოში (ნახ. 141) ცილინდრი უფრო მოკლე გამოდის, ვიდრე პლუნჟერიანში (ნახ. 142) და, მაშასადამე, დისკოიანი ტუმბო პლუნჟერიან ტუმბოზე უფრო იაფი ჯდება. სამაგიეროდ დისკოიან ტუმბოში დგუშისა და ცილინდრის შეშუპდრობა მთლიანად ცილინდრის შიგნით არის მოთავსებული; ეს აძნელებს თვალყურის დევნებას და, ხშირად, სითხე იპარება დგუშის ერთი მხრიდან მეორეში, რაც ამცირებს ტუმბოს მწარმოებლობას. სითხის ეს გაპარვა მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია წნევა, რომელსაც ტუმბო ავითარებს. გარდა ამისა, მუშაობის



ნახ. 142. ორმაგქმედების პლუნჟერიანი ჰორიზონტალური ტუმბოს სქემა.

დროს დგუში მუდამ სრიალებს ცილინდრის ზედაპირზე. ამიტომ აუცილებელია, რომ დგუში და ცილინდრი მუდამ იყვნენ ურთიერთხსტად მორგებულნი. შემჭიდროების შესაქეთებლად ამ ტუმბოში აუცილებლად საჭიროა ცილინდრიდან დგუშის ამოღება. ყველა ამის გამო დისკოიან ტუმბოს უფრო დაბალ წნევაზე (არა უმეტეს 60 მ) იყენებენ.



ნახ. 143. ორმაგქმედების პლუნჟერიანი ვერტიკალური ტუმბოს სქემა.

პლუნჟერიან ტუმბოში პლუნჟერი შედის ცილინდრში გარეგანი ჩობალებით და არ ეხება ცილინდრის კედლებს; ჩობალის დანატენის გამოცემა და ჩობალის მოჭერა შეიძლება განხორციელდეს ტუმბოს დაუშლელად. ამიტომ როდესაც წნევა 60 მ აღემატება, პლუნჟერიანი ტუმბო უნდა დაიდგას, მიუხედავად მისი სიძვირისა. ორმაგქმედების ტუმბოში (ნახ. 142) დგუშის მარჯვნივ გადაადგილების დროს ცილინდრის მარცხენა მხარეში შეიწოვა სითხე რაოდენობით: $F \cdot S$ (მ³) და ამავე დროს ცილინდრის მარჯვენა მხრიდან საჭირბნ მილსადენში გადიდევნება სითხე რაოდენობით: $(F-f) S$ (მ³). როდესაც დგუში მარცხნისაკენ წამოვა, მაშინ ცილინდრის მარჯვენა მხარეში შეიწოვა სითხე რაოდენობით: $(F-f) S$ (მ³) და ამავე დროს ცილინდრის მარცხენა მხრიდან საჭირბნ მილსადენში

ში გადიდევნება სითხე რაოდენობით $F \cdot S$ (მ³). მაშასადამე, ტუმბოს ლილვის ერთი ბრუნვის განმავლობაში, ტუმბო მიაწვდის საჭირბნ მილსადენში სითხეს რაოდენობით:

$$(F-f) S + F S = (2 F - f) S \text{ (მ}^3\text{)},$$

ერთ წამში კი:

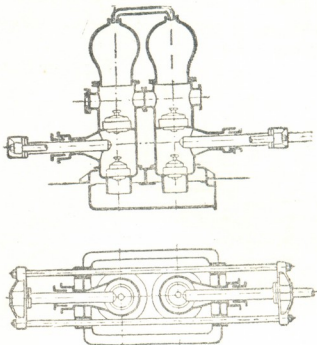
$$V_{\text{გ}} = \frac{(2 F - f) \cdot S \cdot n}{60} \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} \right);$$

სითხის ფაქტიური მიწოდება კი შეადგენს:

$$Q_{\text{ფ}} = 1000 (2 F - f) S \cdot n \cdot \eta_1 \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right). \quad (172)$$

როგორც ზემოთ დავინახეთ, ორმაგქმედების ტუმბოს მოყვანილ კონსტრუქციებში სითხის მიწოდება არ არის თანაბარი: ცილინდრის ის მხარე, სადაც ჰოკი არ არის, ერთ სვლაზე იძლევა სითხეს რაოდენობით $F \cdot S$ (მ³), ცილინდრის ის მხარე კი, რომელშიაც ჰოკი არის, იძლევა სითხის რაოდენობას: $(F-f) S$ (მ³), რადგანაც მოცულობის ნაწილი თვით ჰოკს უჭირავს. სითხის მიწოდების სრული გათანაბრებისათვის შეგვიძლია დგუშს მეორე მხარეზე დაც გავუყუთოთ ჰოკი (კონტრჰოკი, ორთქლის მანქანების მსგავსად). მაშინ ცილინდრის თითოეული მხარე ერთ სვლაზე მიაწვდის სითხეს ერთი და

იმზე რაოდენობით: $(F-f)S$ (მ³). ასეთი წესით სითხის მიწოდების გათანაბრება მიუღებელია, რადგანაც მცირდება ტუმბოს მწარმოებლობა: ლილვის ერთი ბრუნვის განმავლობაში სითხის მიწოდება მოიცავს რაოდენობით fS (მ³), გარდა ამისა, კონტრპოკს დაჰირდება საკუთარი ჩობალი, რაც აძვირებს როგორც ტუმბოს დამზადებას, ისე მის ექსპლუატაციას. ამიტომ უფრო მიზანშეწონილია სითხის მიწოდების გათანაბრება მოვადინოთ ისეთი წესით, როგორც ეს განხორციელებულია ნახ. 144-ზე მოყვანილ ტუმბოში: ცილინდრში დიდის ორი პლუნქერი, რომლებიც შტანგებით არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული. ორი პლუნქერი სითხეს შეიწოვს და დაჰირხნის თავისი იმ ნაწილით, რომელსაც პოკი არა აქვს. ამიტომ თითოეული პლუნქერი ყოველ ერთ სვლაზე შეიწოვს და დაჰირხნის სითხეს ერთი და იმავე რაოდენობით: FS (მ³). ასეთი ტუმბოს მწარმოებლობა ტოლი იქნება:



ნახ. 144. ორმაკმედევის ჰორიზონტალური ტუმბო, რომლის პლუნქერები შტანგით არიან შეერთებული.

$$V_{\text{გ}} = \frac{2F \cdot S \cdot n}{60} \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წთ}} \right).$$

სითხის ფაქტიური მიწოდება კი:

$$Q_{\text{ფ}} = 1000 \cdot 2F \cdot S \cdot n \cdot \eta_1 \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right). \quad (173)$$

აღსანიშნავია, რომ ამ კონსტრუქციის ტუმბოში გარდა სითხის მიწოდების გათანაბრებისა, მწარმოებლობა გადიდებულია რაოდენობით fS (მ³) ლილვის თითოეულ ერთ ბრუნვაზე, ანუ $\frac{f \cdot S \cdot n}{60} \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წთ}} \right)$, რადგანაც ცილინდრი ორივე მხრიდან სითხით არის გავსებული.

დიფერენციალური ტუმბოები. დიფერენციალური ტუმბოს სქემა მოყვანილია ნახ. 145-ზე. ამ ტუმბოში, ცილინდრში სითხის შეწოვა ხდება ერთ სვლაზე, დაჰირხნა კი ორ სვლაზე. როდესაც დგუში მარჯვნივსაა მოძრაობს, ცილინდრის მარცხენა მხარეში შეიწოვს სარქველის (1) საშუალებით შეიწოვა სითხე რაოდენობით: $F \cdot S$ (მ³), ამავე დროს ცილინდრის მარჯვენა მხრიდან საჰირხნ მილსადენში გადიდევნება სითხე რაოდენობით $(F-f)S$ (მ³). როდესაც დგუში მარცხენისაა მოძრაობს, ცილინდრის მარცხენა მხრიდან საჰირხნი სარქველის (2) საშუალებით გადიდევნება სითხე რაოდენობით: FS (მ³), მაგრამ ამავე დროს ცილინდრის მარჯვენა მხარეში თავისუფლდება მოცუ-

ლობა, $(F-f)S$ (მ³), რომელსაც დიჰერის ცილინდრის მარცხენა მხრიდან განდევნილი სითხე. მასასადამე, საჭირბნ მილს დგუშის მარცხნისაჲენ მოძრაობის დროს მიეწოდება სითხე მხოლოდ:

$$FS - (F-f)S = fS \text{ (მ}^3\text{)}.$$

ამრიგად, ლილვის ერთი ბრუნვის განმავლობაში ტუმბო მიაწვდის სითხეს რაოდენობით

$$(F-f)S + fS = FS \text{ (მ}^3\text{)},$$

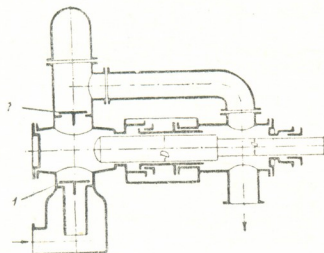
ერთ წუთში კი:

$$V_{\text{ვგ}} = \frac{F \cdot S \cdot n}{60} \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} \right).$$

სითხის ფაქტიური მიწოდება ტოლია:

$$Q_{\text{ვგ}} = 1000 F \cdot S \cdot n \cdot \eta \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right), \quad (174)$$

ე. ი. დიფერენციალურ ტუმბოს ისეთივე მწარმოებლობა აქვს, როგორც ცალმაგქმედების ტუმბოს. მაგრამ დიფერენციალური ტუმბო სითხეს აწვდის ყოველ სეღაზე, ცალმაგქმედების ტუმბო კი



ნახ. 145. დიფერენციალური ტუმბოს სქემა.

მხოლოდ ერთხელ ორ სეღაზე, ე. ი. დიფერენციალური ტუმბო უფრო თანაბრად აწვდის სითხეს. თუ შევარჩევთ დგუშისა და ჭოკის ზომებს ისეთნაირად, რომ: $f = \frac{F}{2}$, მაშინ ცილინდრის მარცხენა მხარე მიაწვდის სითხეს რაოდენობით:

$$FS - \left(F - \frac{F}{2} \right) S = \frac{F}{2} S \text{ (მ}^3\text{)}$$

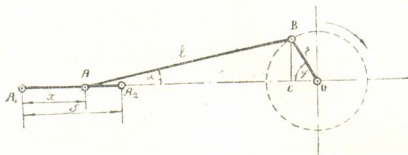
და მარჯვენა მხარე:

$$\left(F - \frac{F}{2} \right) S = \frac{F}{2} S \text{ (მ}^3\text{)},$$

ე. ი. ყოველ სეღაზე სითხის მიწოდება ზუსტად ერთი და იგივე იქნება. ამრიგად, დიფერენციალური ტუმბო სითხეს ისევე თანაბრად აწვდის, როგორც ორმაგქმედების ტუმბო და ამავე დროს თავისი კონსტრუქციით მარტივია ისე, როგორც ცალმაგქმედების ტუმბო, რადგანაც მასსავით მხოლოდ ორი სარქველი აქვს.

სითხის მიწოდების უთანაბრობა ხადრავ დგუშთან ტუმბოებში. სამაჲე დგუშთან ტუმბოებში დგუშის ამოძრავება ხდება მრუდმხარა მექანიზმის საშუალებით. ცალმაგქმედების დგუშთან ტუმბო ერთი სეღის შედეგად აწვდის სითხეს მოცულობით FS (მ³). მაგრამ სეღის განმავლობაში სითხის მიწოდე-

მა არ არის თანაბარი, რადგანაც სითხე როგორც შეწოვის, ისე დაჰქირხნის დროს განუზოვრებლად მისდევს ღვუშს და, მაშასადამე, მისი სიჩქარე პირდაპირ დამოკიდებულია ღვუშის სიჩქარეზე. ღვუშის სიჩქარე კი სელის განმავლობაში ცვალებადია და ეს ცვალებადობა გამოწვეულია მრუდმხარა მექანიზმის მოძრაობის კანონით. წარმოვიდგინოთ მრუდმხარა მექანიზმის სქემა (ნახ. 146). მრუდმხარა OB ბრუნავს ლილვი O -ს გარშემო. ამ დროს ჯვართავე და მასთან დაკავშირებული ღვუში მოძრაობს სწორხაზოვნად A_1 -დან A_2 -მდე. ავიღოთ რომელიმე შემთხვევითი მდგომარეობა მექანიზმის, როდესაც მრუდმხარას თავი მდებარეობს წერტილ B -ში და ჯვართავე კი წერტილ A -ში. მრუდმხარა დახრილია ტუმბოს ცილინდრის ლერძის მიმართ φ კუთხით, ბარბაცა კი α კუთხით. განვიზილოთ ჯვართავესა და ღვუშის გადაადგილება:



ნახ. 146. მრუდმხარა მექანიზმის სქემა.

სქემიდან მივი-

ღებთ:

$$x = A_1A = A_1O - AO.$$

მაგრამ

$$A_1O = l + r; AO = AC + CO = l \cos \alpha + r \cos \varphi,$$

ამიტომ

$$x = r(1 - \cos \varphi) + l(1 - \cos \alpha)$$

α კუთხე ცვალებადობს 0° -დან α_{max} -მდე; $\alpha = 0$ მაშინ, როდესაც მრუდმხარა და ბარბაცა ერთმანეთს ემთხვევიან, ამ შემთხვევისათვის

$$\cos \alpha = 1 \text{ და } l(1 - \cos \alpha) = 0.$$

$\alpha = \alpha_{max}$ მაშინ, როდესაც BO პერპენდიკულარულია ხაზი A_1O -სი. მიღებულია, რომ $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$; ამიტომ ამ შემთხვევაში $AO = \sqrt{5^2 - 1^2}$ და $\cos \alpha_{max} =$

$$\frac{\sqrt{5^2 - 1^2}}{5} = 0,98. \text{ მაშასადამე, } \cos \alpha \text{-ს მნიშვნელობას მერყეობს } 0 \text{-დან } 0,98 \text{-მდე}$$

და გამოხატულება $l(1 - \cos \varphi)$ -ს მნიშვნელობა კი 0 -დან $0,02$ l -მდე, რაც უფლებას გვაძლევს სიდიდე $l(1 - \cos \alpha)$ უკუვაგდოთ და დავწეროთ, რომ

$$x = r(1 - \cos \varphi); \quad (175)$$

აქედან შეგვიძლია გავიგოთ ღვუშის მოძრაობის სიჩქარე, როგორც ვიცით, სიჩქარე უდრის გზის წარმოებულს დროის მიხედვით, ე. ი. სიჩქარე:

$$\dot{x} = \frac{dx}{d\tau}$$

მაგრამ ვინაიდან განტოლებაში x გამოხატულია როგორც φ -ის ფუნქცია და არა τ -ის, ამიტომ

$$\omega = \frac{dx}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{d\tau}$$

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{d[r(1 - \cos \varphi)]}{d\varphi} = r \sin \varphi.$$

$\frac{d\varphi}{d\tau} = \varepsilon$ —ლილვის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს. და, მაშასადამე:

$$\omega = \varepsilon \cdot r \cdot \sin \varphi;$$

მაგრამ $\varepsilon r = c_3$ მრუდმხარას პოპოკიკის წრიულ სიჩქარეს, ამიტომ:

$$\omega = c_3 \cdot \sin \varphi. \quad (176)$$

წრიული სიჩქარე c_3 შეგვიძლია პრაქტიკულად უცვლელად ჩავთვალოთ. მაშინ ფორმულის (176) თანახმად დგუშის მოძრაობის სიჩქარე პროპორციული გამოდის $\sin \varphi$ -ის. გრაფიკულად დგუშის მოძრაობის სიჩქარის ცვალებადობა sinus-ის მრუდით, ე. წ. სინუსოიდით გამოიხატება.

ფორმულის (176) თანახმად ლილვის ერთი ბრუნვის განმავლობაში დგუშის მოძრაობის სიჩქარე ორჯერ აღწევს მაქსიმუმს: როდესაც $\varphi = 90^\circ$ და $\varphi = 270^\circ$, $\sin \varphi = 1$; და $\omega = c_3$ და ორჯერ ეცემა 0-მდე: როდესაც $\varphi = 0$ და $\varphi = 360^\circ$, $\sin \varphi = 0$ და $\omega = 0$. ეს მოხდება მაშინ, როდესაც მრუდმხარა ბარბაცას დაემთხვევა, რისთვისაც მრუდმხარას ამ მდებარეობას „მკვდარი“ მდებარეობა უწოდეს. რადგანაც დგუშის მოძრაობის სიჩქარე ცვალებადია, ცხადია, ადგილი ექნება აჩქარებას, რომელიც ამ შემთხვევაში ტოლი იქნება:

$$\omega = \frac{d\omega}{d\tau} = c_3 \cos \varphi \frac{d\varphi}{d\tau} = c_3 \varepsilon \cos \varphi = \frac{c_3^2}{r} \cos \varphi.$$

ე. ი. აჩქარების ცვალებადობა პროპორციულია $\cos \varphi$ -ისა. გრაფიკულად აჩქარების ცვალებადობა გამოიხატება კოსინუსოიდით, რომელიც სინუსოიდის მიმართ წაწეულია 90° -ით. ცხადია, რომ აჩქარება 0 ს აღწევს იმ დროს, როდესაც სიჩქარე maximum-ს აღწევს და პირიქით. მაშასადამე, აჩქარება 0-ს აღწევს მაშინ, როდესაც $\varphi = 90^\circ$ და $\varphi = 270^\circ$ და maximum-ს მაშინ, როდესაც $\varphi = 0^\circ$ და 360° , ე. ი. მკვდარ წერტილებში ეს მაქსიმალური აჩქარება ტოლია:

$$W_{max} = \pm \frac{c^2}{r} = \pm \frac{\varepsilon^2 r^2}{r} = \varepsilon^2 r.$$

თუ ანგარიშს გავუწევთ ბარბაცას სიგრძეს, აჩქარება ტოლი გამოვა

$$W_{max} = \frac{c_3^2}{r} \left(1 \pm \frac{r}{l} \right) = \varepsilon^2 r \left(1 \pm \frac{r}{l} \right). \quad (177)$$

როგორც წინათ მივიღეთ $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$, ამიტომ ღვუშის მოძრაობის მაქსიმალურ

ჩი აჩქარებანი, რომელთა მიმართულებაც ღვუშის მოძრაობის მიმართულე-
ბას ემთხვევა, ტოლი იქნებოდა.

ღვუშისკენ უფრო ახლო მდებარე მკვდარ წერტილში

$$W'' = \frac{6}{5} \cdot \frac{c_3^2}{r} = \frac{6}{5} \varepsilon^2 r. \quad (178)$$

მოპირდაპირე მკვდარ წერტილში კი:

$$W''' = \frac{4}{5} \cdot \frac{c_3^2}{r} = \frac{4}{5} \varepsilon^2 r.$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სითხე განუყრელად მოსდევს ღვუშს და, მაშასადამე, ღვუში თავის აჩქარებას სითხეს გადასცემს. ყოველი აჩქარება მოძრაობისა იწვევს ინერციის ძალას, რომელიც ეწინააღმდეგება მოძრაობას. ამ ინერციის ძალის დაძლევა ტუმბოსათვის დანაკარგს წარმოადგენს; საჭირო წნევის განსაზღვრის დროს ეს დანაკარგი აღრიცხული უნდა იყოს (იხ. ქვემოთ).

ტუმბოთი სითხის მიწოდების სახიათი. როგორც ზემოთ დაეინახეთ, ღვუშის და მასთან ერთად სითხის სიჩქარე ერთი სვლის განმავლობაში ცვა-
ლებადია: ის დამოკიდებულია $\sin \varphi$ -ის მნიშვნელობაზე. ფორმულის (176), თა-
ნახმად ღვუშისა და სითხის მოძრაობის სიჩქარე ტოლია:

$$w = c_3 \cdot \sin \varphi.$$

ცხადია, რომ ტუმბოთი სითხის მიწოდებაც შესაბამისად ცვალებადია. სითხის მიწოდების გამოსარკვევად განვიხილოთ ეს მიწოდება დიფერენცია-
ლურ ფორმაში:

უსასრულო მცირე დროის $d\tau$ განმავლობაში ტუმბო მიაწვდის სითხეს
რაოდენობით dq , რომელიც ტოლია:

$$dq = F \cdot w \cdot d\tau = F \cdot c_3 \cdot \sin \varphi \cdot d\tau.$$

მაგარამ:

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \varepsilon = \frac{c_3}{r}$$

ამიტომ:

$$d\tau = \frac{r}{c_3} d\varphi$$

და, მაშასადამე:

$$dq = F \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi.$$

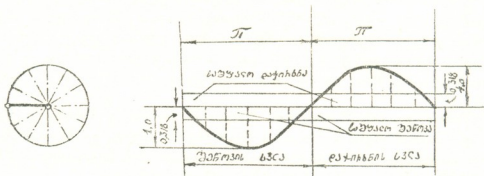
აქედან სითხის რაოდენობა, რომელსაც მიაწვდის ტუმბო, ვიდრე მრუდ-
მხარა φ კუთხით შემოტრიალდება, ტოლი იქნება:

$$q = F \cdot r \cdot \int_0^\varphi \sin \varphi \cdot d\varphi. \quad (179)$$

დგუშის ერთ სელაზე მრუდმხარა ნახევარწოთ შეძორილდება, ე. ი. ცილინდრის ერთი მოცულება, და სითხის მიწოდება ტოლი იქნება:

$$q = F \cdot r \int_0^\pi \sin \varphi d\varphi = 2 F \cdot r = FS, \text{ ე. ი. ცილინდრის ერთი მოცულება.}$$

ფორმულით (179) გამოსახული ინტეგრალი შეიძლება გრაფიკულად ავა-
გოთ. ამისათვის აბსცისთა ღერძზე უნდა გადავზომოთ φ კუთხის მნიშვნელო-
ბა, ორდინატთა ღერძზე კი სათანადო მნიშვნელობა $Fr \cdot \sin \varphi$. ინტეგრალის
მნიშვნელობა იქნება ჯამი სწორკუთხედი ფართობებისა, რომლის ფუძეს
შეადგენს $\Delta \varphi$ და სიმაღლეს კი $F \cdot r \cdot \sin \varphi$. ნახ. 147-ზე მოყვანილია სითხის
მიწოდების გრაფიკი ცალმაგკმედების ტუმბოსათვის.



ნახ. 147. სითხის მიწოდების გრაფიკი ცალმაგკმედების ტუმბოსათვის.

გვიჩვენებს, მრუდმხარას ბრუნვის პირველი ნახევარში, როდესაც φ იცვლება
0-დან π -მდე ტუმბოში ხდება ნხოლოდ სითხის შეწოვა და მეორე ნახევარ-
ში კი, როდესაც φ იცვლება π -დან 2π -მდე, ხდება ტუმბოდან წყლის მხო-
ლოდ გამოდევნა.

როგორც ტუმბოში შეწოვილის, ისე ტუმბოდან განდევნილი სითხის რაო-
დენობა განიზომება ფართობით, რომელიც მოთავსებულია სინუსოიდისა და
აბსცისთა ღერძს შორის. შეწოვილი სითხის სრულყოფილი მოთავსებულია აბ-
სცისთა ღერძს ქვემოთ, განდევნილის კი—ღერძს ზემოთ. თითოეული ამ ფარ-
თობათაგანი ტოლია $2F \cdot r$. სითხის როგორც შეწოვა, ისე განდევნა ერთი
ბრუნვის განმავლობაში რომ თანაბარი იყოს, სითხის მიწოდების გრაფიკი
გამოისახებოდა სწორკუთხედი, რომლის ფუძე ტოლია 2π , სიმაღლე კი

$$\frac{2Fr}{2\pi} = \frac{Fr}{\pi} = 0,318 F \cdot r.$$

ვინაიდან სითხის მიწოდების გრაფიკის უდიდესი ორდინატი უდრის

$$F \cdot r \cdot \sin \frac{\pi}{2} = F \cdot r,$$

ამიტომ სითხის მიწოდების უთანაბრობა ამ ტუმბოსათვის შეადგენს:

$$\frac{F \cdot r - 0,318 F \cdot r}{Fr} = 0,682 \text{ ანუ } 68,2\%$$

ორმაგქმედების ტუმბოსათვის სითხის მიწოდების გრაფიკი წარმოდგენილია ნახ. 148-ზე. ამ ტუმბოში მრუდმხარას ბრუნვის თითოეულ ნახევარში ხდება სითხის როგორც შეწოვა, ისე განდევნა რაოდენობით $2Fr$. საერთო მიწოდება კი ერთი ბრუნვის განმავლობაში ტოლი იქნება:

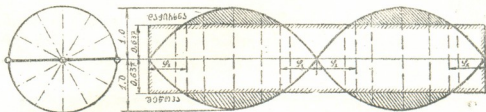
$$2 \cdot 2Fr = 4Fr.$$

სითხის მიწოდება თანაბარი რომ იყოს, ის შეადგენდა

$$\frac{4Fr}{2\pi} = \frac{2}{\pi} Fr = 0,637 Fr,$$

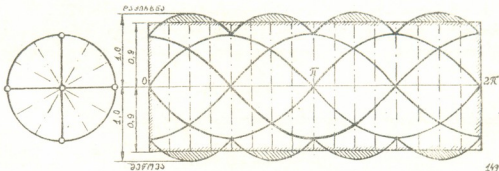
ამიტომ სითხის მიწოდების უთანაბრობა ორმაგქმედების ტუმბოსათვის ტოლია

$$\frac{F \cdot r - 0,637 F \cdot r}{F \cdot r} = 1 - 0,637 = 0,363 \text{ ანუ } 36,7\%$$



ნახ. 148. სითხის მიწოდების გრაფიკი ორმაგქმედების ტუმბოსათვის.

იმავე სურათს მივიღებთ, თუ ცალმაგქმედების ორ ტუმბოს ერთ ლილვზე დავაყენებთ ისე, რომ მათი მრუდმხარები ერთმანეთთან ჰქმნიდნენ კუთხეს π . ამ შემთხვევაში, როცა ერთი ტუმბო შეიწოვს სითხეს, მეორე ამ დროს განდევნის სითხეს და პირიქით. ნახ. 149-ზე მოყვანილია სითხის მიწოდების გრა-



ნახ. 149. სითხის მიწოდების გრაფიკი ორმაგქმედების ორი ტუმბოსათვის.

ფიკი ორმაგქმედების ორი ტუმბოსათვის, რომლებზედაც მრუდმხარეები ერთ ლილვზე არიან დაცემებული ისე, რომ ისინი ერთმანეთთან ჰქმნიან კუთხეს

90°. მრუდმხარების ასეთი მდებარეობის გამო, ერთი ტუმბოს უდიდესი სიჩქარის დროს მეორეს უმცირესი სიჩქარე აქვს და პირიქით. ეს გარემოება აგრეთვე ხელს უწყობს სითხის მიწოდების გათანაბრებას. გრაფიკი გვიჩვენებს, რომ სითხის მიწოდება მაქსიმალურია მაშინ, როდესაც $\varphi = n \cdot 45^\circ$, სადაც n არის ნებისმიერი კენტი რიცხვი, და შეადგენს:

$$2F \cdot r \cdot \sin 45^\circ = 1,414 F \cdot r.$$

თანაბარი მიწოდების ორდინატი ტოლი იქნება:

$$\frac{2Fr \cdot 4}{2\pi} = 1,274 F \cdot r.$$

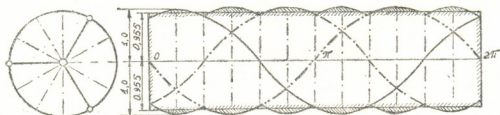
თუ მაქსიმალურ მიწოდებას 1-ად მივიჩნევთ, მაშინ თანაბარი მიწოდების ორდინატი შეადგენს:

$$\frac{1,274}{1,414} = 0,9 \text{ (იხ. გრაფიკი).}$$

სითხის მიწოდების უთანაბრობა კი ტოლი გამოდის:

$$\frac{1,414 - 1,274}{1,414} \cong 0,10, \text{ ე. ი. } 10\%.$$

მაშასადამე, რამდენიმე ტუმბოს ერთ ლილვზე დაყენება ათანაბრებს სითხის მიწოდებას. ნახ. 150-ზე მოყვანილია სითხის მიწოდების გრაფიკი, ცალმაგკმედების სამი ტუმბოსათვის, რომელთა მრუდმხარები ერთ ლილვზე



ნახ. 150. სითხის მიწოდების გრაფიკი ცალმაგკმედების სამი ტუმბოსათვის.

არიან დაყენებული ისე, რომ ერთმანეთთან ჰქმნიან კუთხეს 120° .

როგორც გრაფიკი გვიჩვენებს, სითხის მაქსიმალური მიწოდება იქნება მაშინ, როდესაც $\varphi = n \cdot 30^\circ$ (სადაც n არის ნებისმიერი კენტი რიცხვი), და ტოლია

$$2Fr \sin 30 = Fr.$$

სითხის თანაბარი მიწოდების ორდინატი ტოლია:

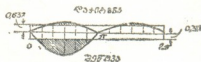
$$\frac{2Fr \cdot 3}{2\pi} = 0,955.$$

ე. ი. სითხის მიწოდების უთანაბრობა ტოლი იქნება:

$$1 - 0,955 = 0,045 \text{ ანუ } 4,5\%.$$

ნახ. 151-ზე მოყვანილია სითხის მიწოდების გრაფიკი დიფერენციალური ტუმბოსათვის, რომელშიც დგუშის ფართი (F) და ჰოკის ფართი (f) შედარებულია შემადგენლობით: $\frac{F}{f} = 2$. როგორც გრაფიკი გვიჩვენებს შეწოვა ამ ტუმბო-

ში ხდება ისე, როგორც ცალმაგ-
კმედების ტუმბოში (ნახ. 147),
ხოლო დაჰირხნა ისე, როგორც
ორმაგკმედების ტუმბოში (ნახ.
148).



ნახ. 151. სითხის მიწოდების გრაფიკი დიფერენციალური ტუმბოსათვის.

საპირი წნევის განსაზღვრა.

იმის გასაანგარიშებლად, თუ რა წნევა უნდა განავითაროს ტუმბომ მიემართოთ ნახ. 139-ს და აღვნიშნათ:

$$p_1 - \left(\frac{\rho g}{2} \right) - \text{დგუშზე მოქმედი წნევა შეწოვის დროს;}$$

$$p_2 - \left(\frac{\rho g}{2} \right) - \text{დგუშზე მოქმედი წნევა დაჰირხნის დროს;}$$

$$c_{\text{საშ}} - \left(\frac{\rho}{\gamma} \right) - \text{დგუშის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე;}$$

$$\omega_1 - \left(\frac{\rho}{\gamma} \right) - \text{სიჩქარე, რომელიც აქვს სითხეს შემწვავ მილში შესვლისას;}$$

$$\omega_2 - \left(\frac{\rho}{\gamma} \right) - \text{სიჩქარე, რომელიც აქვს სითხეს დამჰირხნი მილიდან გამოსვლისას;}$$

$$h_{u1} - (მ) - \text{წნევის დანაკარგი შემწოვის მილში ინერციის ძალის დაძლევაზე;}$$

$$h_{u2} - (მ) - \text{წნევის დანაკარგი დამჰირხნი მილში ინერციის ძალის დაძლევაზე;}$$

$$h_{r1} - (მ) - \text{წნევის დანაკარგი შემწვავ მილში ჰიდრავლიკურ წინააღობათა დაძლევაზე;}$$

$$h_{r2} - (მ) - \text{წნევის დანაკარგი დამჰირხნი მილში ჰიდრავლიკურ წინააღობათა დაძლევაზე;}$$

$$h_{s1} - (მ) - \text{შეწოვის სიმაღლე;}$$

$$h_{s2} - (მ) - \text{დაჰირხნის სიმაღლე;}$$

$$p_a - \left(\frac{\rho g}{2} \right) - \text{ატმოსფერული წნევა;}$$

$$\gamma - \left(\frac{\rho g}{2} \right) - \text{სითხის ხვედრითი წნევა.}$$

ბერნულის განტოლების თანახმად, თუ შევადარებთ ტუმბოში ორ დონეს $O-O$ და 1-1 (ნახ. 139) შეწოვის დროს ადგილი ექნება ტოლობას:

$$\frac{p_a}{\gamma} + \frac{\omega_1^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_{\text{საშ}}^2}{2g} + h_{s1} + h_{r1} + h_{u1},$$

საიდანაც

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - h_{s1} - h_{r1} - h_{u1} + \frac{\omega_1^2 - c_{\text{საშ}}^2}{2g} \quad (180)$$

დაჭირების დროს კი თუ შევიდარებთ ორ დონეს 1—1 და 2—2, ადგილი ექნება შემდეგ ტოლობას:

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_{\text{საშ}}^2}{2g} = \frac{p_a}{\gamma} + h_{s2} + h_{r2} + h_{u2} + \frac{\omega_2^2}{2g}$$

აქედან:

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} + h_{s2} + h_{r2} + h_{u2} + \frac{\omega_2^2 - c_{\text{საშ}}^2}{2g}$$

დგუშზე მოქმედი წნევა, სითხის სვეტის სიმაღლით გამოხატული, ტოლი იქნება სხვაობისა შეწოვის წნევისა და დაჭირების წნევის შორის, ე. ი.

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} = (h_{s1} + h_{s2}) + (h_{r1} + h_{r2}) + (h_{u1} + h_{u2}) + \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2g}$$

$$\text{ვინაიდან } \omega_1 \gg \omega_2; \text{ ამიტომ } \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2g} \approx 0,$$

გარდა ამისა, $h_{s1} + h_{s2} = h_s$, ე. ი. წარმოადგენს სითხის საერთო აწევის სიმაღლეს.

$$h_{r1} + h_{r2} = h_r = \Sigma h_r$$

არის ყველა ჰიდრაულიკური წინაღობის დაძლევისათვის საჭირო წნევა, ე. ი. (თავი 11),

$$h_{r1} + h_{r2} = \Sigma \frac{\omega^2}{2g}$$

აგრეთვე $h_{u1} + h_{u2} = h_u$ არის საერთო დანაკარგი წნევისა ინერციის ძალთა დაძლევაზე. მაშასადამე, საბოლოოდ დგუშის მოქმედი წნევა ტოლი იქნება:

$$\frac{p}{\gamma} = h = h_s + \Sigma \frac{\omega^2}{2g} + h_u. \quad (181)$$

ეს უკანასკნელი განტოლება გეიჩენებს, რომ ჰიდრაულიკური წნევა, რომელიც მოდის დგუშის ფართის ერთეულზე უდრის სითხის აწევის სიმაღლეს პლუს შემწოვ და დამჭირხნ მილებში არსებული ყველა ჰიდრაულიკური და ინერციული წინაღობის ჯამი. ამ წნევას, რომელიც სითხის სვეტის სიმაღლის მეტრობით გამოიხატება, სითხის სრული აწევა ეწოდება. ჰიდრაულიკურ წინაღობათა ჯამში შედის ყველა ის წინაღობა, რომლებიც განხილულია 11 თავში. გარდა ამისა, დგუშიან ტუმბოსათვის უნდა გავითვალისწინოთ წინაღობა, რომელიც არსებობს სარქველებში. სარქველების წინაღობა ტოლია:

$$h_{\text{სა}} = \zeta \left(\frac{\omega_1^2}{2g} a_1 + \frac{\omega_2^2}{2g} a_2 \right) \quad (182)$$

სადაც ζ არის სარქველის წინაღობის კოეფიციენტი,

$w_1 - \left(\frac{m}{\gamma \delta}\right)$ — სითხის მოძრაობის სიჩქარე შემწვოვ მილში,

$w_2 - \left(\frac{m}{\gamma \delta}\right)$ — სითხის მოძრაობის სიჩქარე დამპირხნ მილში,

a_1 — შემწვოვ სარქველთა რაოდენობა;

a_2 — დამპირხნ სარქველთა რაოდენობა.

თეფშისებრი სარქველის წინაღობის კოეფიციენტი ტოლია:

$$\zeta = 0,3 + 0,18 \left(\frac{d_b}{0,0005 + l} \right)^2, \quad (183)$$

სადაც d_b — (მ) არის სარქველის დიამეტრი;

l — (მ) — სარქველის აწევის სიმაღლე.

წნევის დანაკარგი ინერციის ძალთა დაძლევაზე. ფორმულის (181) მიხედვით საერთო წნევის გაანგარიშებისათვის საჭიროა განესაზღვროთ წნევის დანაკარგი ინერციის ძალთა დაძლევაზე (h_u).

აღვნიშნოთ:

l_1 — (მ) — შემწვოვი მილის სიგრძე;

l_2 — (მ) — დამპირხნი მილის სიგრძე;

F_1 — (მ²) — შემწვოვი მილის კვეთი;

F_2 — (მ²) — დამპირხნი მილის კვეთი;

$w_1 - \left(\frac{m}{\gamma \delta}\right)$ — მოძრაობის მაქსიმალური აჩქარება შემწვოვ მილში;

$w_2 - \left(\frac{m}{\gamma \delta}\right)$ — მოძრაობის მაქსიმალური აჩქარება დამპირხნ მილში.

ინერციის ძალა შემწვოვ მილში ნიუტონის კანონის თანახმად ტოლი იქნება:

$$p_1 = m_1 w_1 \quad (\text{კგ}).$$

შემწვოვ მილში მოთავსებული სითხის მასა ტოლია:

$$m_1 = \frac{G_1}{g} = \frac{F_1 \cdot l_1 \cdot \gamma}{g}.$$

მაშასადამე, ინერციის ძალა ტოლი იქნება:

$$p_1 = \frac{F_1 l_1 \gamma}{g} w_1. \quad (184)$$

შეიკრებ მხრივ, წნევის დანაკარგი ინერციის დაძლევაზე ტოლია:

$$h_{u1} = \frac{p_1}{\gamma} = \frac{P}{F_1 \cdot \gamma},$$

სადაც $p_1 - \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)$ არის ხვედრითი წნევა, რომელსაც სითხეში იწვევს ინერციის ძალა. აქედან ინერციის ძალა უდრის:

$$P = F_1 \cdot \gamma \cdot h_{u1}. \quad (185)$$

განტოლებებიდან (184) და (185) გამომდინარეობს:

$$\frac{F_1 \cdot l_1 \gamma}{g} w_1 = F_1 \cdot \gamma \cdot h_{u1}.$$

აქედან

$$h_{u1} = \frac{l_1}{g} w_1. \quad (186)$$

დამატებით აღვნიშნოთ:

$c - \left(\frac{\partial}{\partial z}\right)$ დგუშის მყისი სიჩქარე;

$a_0 - \left(\frac{\partial}{\partial z}\right)$ — დგუშის მყისი აჩქარება;

$F - (m^2)$ დგუშის ფართი.

ვინაიდან სითხის დინება განუწყვეტელია, ამიტომ

$$F_1 \cdot w_1 = F \cdot c_1 \text{ ანუ } F_1 w_1 = F \cdot w.$$

აქედან სითხის აჩქარება შემწოვ მილში უდრის

$$w_1 = \frac{F}{F_1} w \left(\frac{\partial}{\partial z}\right)$$

მაშინ განტოლება (186) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$h_{u1} = \frac{l_1}{g} \cdot \frac{F}{F_1} \cdot w \left(\frac{\partial}{\partial z}\right) \quad (187)$$

როგორც ფორმულა (173) გვიჩვენებს, დგუშის მაქსიმალური აჩქარება ტოლია

$$w = \frac{6}{5} \cdot \frac{c_3^2}{r}$$

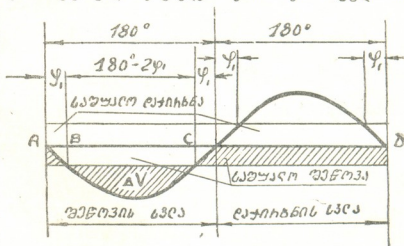
რომ ჩავსვათ w -ს ეს მნიშვნელობა ფორმულაში (187), საბოლოოდ მივიღებთ, რომ წნევის დანაკარგი ინერციის ძალის დაძლევაზე შემწოვ მილში ტოლი იქნება:

$$h_{u1} = \frac{l_1}{g} \cdot \frac{F}{F_1} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{c_3^2}{r}. \quad (188)$$

ასეთივე მსჯელობით შეგვიძლია მივიღოთ, რომ წნევის დანაკარგი ინერციის ძალის დასაძლევად დამჭირხნ მიღში ტოლი იქნება:

$$h_{u2} = \frac{l_2}{g} \cdot \frac{F}{F_2} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{c_3^2}{r}. \quad (189)$$

ჰაერის ხუფები. ფორმულები (188) და (189) გვიჩვენებენ, რომ ძირითადი წნევის დანაკარგი ინერციის ძალთა დაძლევაზე პირდაპირ პროპორციულია მილსადენების სიგრძეებისა (l_1 და l_2). გრძელი მილსადენების დროს ეს დანაკარგი მნიშვნელოვნად დიდი იქნება. ამიტომ საჭიროა წნევის დანაკარგის შემცირების მიზნით რაიმე საშუალებით შევამციროთ მილსადენების სიგრძის ნაწილი, რომელზედაც ინერციის ძალები მოქმედებენ. ასეთ საშუალებას წარმოადგენს ჰაერის კამერები, ე. წ. ჰაერის ხუფები, რომლებიც იღვმება როგორც შემწვო მილზე, ისე დამჭირხნ მილზე. თუ მილსადენს აქვს ჰაერის ხუფი, მაშინ ინერციის ძალა იმოქმედებს მხოლოდ სიგრძეზე l_{u1} შემწვო მილში და l_{u2} დამჭირხნ მილში. მილსადენების დანარჩენ სიგრძეზე კი სითხის მოძრაობა პრაქტიკულად თანაბარი იქნება, ამიტომ ჰაერის ხუფები უნდა დაიდგას რაც შეიძლება ტუმბოსთან ახლო. მაშინ ფორმულებში (188) და (189) l_1 და l_2 მაგივრად ჩაისმება სიდიდეები l_{u1} და l_{u2} , რომლებიც მოქმედ ტუმბოსათვის მუდმივნი არიან და თავისი სიდიდით გაცილებით უფრო მცირენი არიან, ვიდრე l_1 და l_2 . ჰაერის ხუფი უნდა შეიცავდეს ჰაერის ისეთ მოცულობას, რომელიც უზრუნველყოფს ტუმბოს მშვიდ მუშაობას. ჰაერის ეს მოცულობა გაანგარიშებით უნდა იყოს დასაბუთებული. ამ გაანგარიშებისათვის უნდა მივმართოთ სითხის მიწოდების გრაფიკს, მაგალითისათვის განვიხილოთ ცალმაგქმედების ტუმბო. ავავოთ ამ ტუმბოსათვის სითხის მიწოდების გრაფიკი (ნახ. 152) და გავიყვანოთ მასზე სითხის საშუალო მიწოდება სწორკუთხედის სახით, ისე როგორც ეს ზემოთ ნახ. 147-ე იყო გაკეთებული. თანაბარ აწუ საშუალო მიწოდების ხაზები გადაკვეთავენ შეწოვის სინუსოიდს ორ წერტილში, რომლებიც შეესაბამებიან კუთხეებს φ_1 და $180 - \varphi_1$ და დაჭირხნის სინუსოიდს აგრეთვე ორ წერტილში, რომლებიც შეესაბამებიან კუთხეებს $180 + \varphi_1$ და $360 - \varphi_1$. ეტყვათ, რომ ხუფების შემდეგ, როგორც შემწვო, ისე დამჭირხნ მილსადენებში სითხის მიწოდება თანაბარია, გრაფიკზე გაყვანილი სწორკუთხედის მიხედვით, ხოლო ხუფებს შორის არათანაბარია



ნახ. 152. სითხის მიწოდების გრაფიკი ხუფის მოცულობის განსაზღვრისათვის.

ფიკი (ნახ. 152) და გავიყვანოთ მასზე სითხის საშუალო მიწოდება სწორკუთხედის სახით, ისე როგორც ეს ზემოთ ნახ. 147-ე იყო გაკეთებული. თანაბარ აწუ საშუალო მიწოდების ხაზები გადაკვეთავენ შეწოვის სინუსოიდს ორ წერტილში, რომლებიც შეესაბამებიან კუთხეებს φ_1 და $180 - \varphi_1$ და დაჭირხნის სინუსოიდს აგრეთვე ორ წერტილში, რომლებიც შეესაბამებიან კუთხეებს $180 + \varphi_1$ და $360 - \varphi_1$. ეტყვათ, რომ ხუფების შემდეგ, როგორც შემწვო, ისე დამჭირხნ მილსადენებში სითხის მიწოდება თანაბარია, გრაფიკზე გაყვანილი სწორკუთხედის მიხედვით, ხოლო ხუფებს შორის არათანაბარია

სინუსოიდის მიხედვით. მაშინ, სანამ მრუდმხარას მობრუნების კუთხე φ_1 კუთხეს გაუტოლდება (მონაკვეთი AB) ჰაერის ხუფში უფრო მეტი სითხე შემოვა, ვიდრე მისგან გავა, რის გამო სითხის ღონე ხუფში აიწევს და ჰაერი შეიკუმშება. კუთხე φ -დან ($180^\circ - \varphi_1$) კუთხემდე, პირიქით, ხუფიდან უფრო მეტი სითხე გავა, ვიდრე მასში შევა (მონაკვეთი BC), რის გამოც სითხის ღონე ხუფში დაიწევს და ჰაერი გაფართოვდება. ამ პერიოდის ბოლოს (წერტ. C) ხუფი შეიცავს ჰაერის მოცულობის მაქსიმუმს (V_{max}) დაწყებული კუთხიდან $180^\circ - \varphi_1$, ვიდრე კუთხემდე $360^\circ + \varphi$ (მონაკვეთი $CD + AB$) ხუფში სითხე უფრო მეტი, ვიდრე მისგან გადის, ჰაერი თანდათან იკუმშება და ამ პერიოდის ბოლოს (წერტილი D) მისი მოცულობა ეცემა მინიმუმამდე (V_{min}). კუთხე ($360^\circ + \varphi_1$)-ის შემდეგ ეს ციკლი ხელახლა დაიწყება. წერტილებში B და C ხუფში სითხის შემოსავალი და გასავალი ტოლნი არიან. მაშასადამე, ჰაერის მოცულობის ცვლა იბადება ხუფში, შეადგენს: ($V_{max} - V_{min}$). უსასრულოდ მცირე დროის $d\tau$ -ს განმავლობაში შეწოვი ხუფიდან ტუმბოს ცილინდრში გადავა სითხე რაოდენობით $Fr \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi$. ერთდროულად ხუფში შევა სითხე რაოდენობით $V_{\text{ვ}} \cdot d\tau$.

სხვაობა სითხის შემოსავალსა და გასავალს შორის შეადგენს:

$$dV = Fr \cdot \sin \varphi \, d\varphi - V_{\text{ვ}} \, d\tau,$$

მაგრამ

$$V_{\text{ვ}} = \frac{F \cdot S \cdot n}{60} = \frac{F \cdot 2r \cdot n}{60} = \frac{F \cdot r \cdot n}{30}.$$

როგორც ვიცით კუთხური სიჩქარე:

$$\varepsilon = \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{\pi n}{30}; \text{ აქედან } d\tau = \frac{30}{\pi n} \cdot d\varphi.$$

მაშასადამე:

$$V_{\text{ვ}} \cdot d\tau = \frac{F \cdot r \cdot n}{30} \cdot \frac{30}{\pi n} \, d\varphi = \frac{F \cdot r}{\pi} \, d\varphi$$

და

$$dV = F \cdot r \cdot \sin \varphi \, d\varphi - \frac{Fr}{\pi} \, d\varphi,$$

ანუ

$$dV = F \cdot r \left(\sin \varphi - \frac{1}{\pi} \right) d\varphi$$

B და C წერტილებისათვის $dV=0$; ამიტომ

$$\sin \varphi - \frac{1}{\pi} = 0 \text{ და } \sin \varphi = \frac{1}{\pi}.$$

მაშასადამე, მრუდმხარას მოტრიალების კუთხე ტოლი იქნება B წერტილში

$$\varphi_1 = 18,34^\circ,$$

$$180 - \varphi_1 = 161,26^\circ.$$

გაინტეგრირების შემდეგ მივიღებთ:

$$V = \int_{\varphi_1}^{\pi - \varphi_1} F \cdot r \cdot \left(\sin \alpha - \frac{1}{\pi} \right) d\varphi = V_{max} - V_{min},$$

ანუ

$$V_{max} - V_{min} = Fr \left[\cos \alpha - \frac{\alpha}{\pi} \right]_{18,340}^{161,260} = 1,1 Fr = 0,55 FS \quad (190)$$

ანალოგიურად მივიღებთ ორმაგქმედების ტუმბოსათვის (ნახ. 148)

$$V_{max} - V_{min} = 0,21 FS. \quad (191)$$

სამტოლმაგქმედების ტუმბოებისათვის (ნახ. 150)

$$V_{max} - V_{min} = 0,009 FS \quad (192)$$

თუ აღენიშნავთ ხუფში ჰაერის საშუალო მოცულობას $V_{საშ}$, მაშინ

$$\frac{V_{max} - V_{min}}{V_{საშ}} = \delta \quad (192a)$$

δ — არის ჰაერის ხუფის უთანაბრობის კოეფიციენტი.

ცალმაგქმედების ტუმბოებისათვის

$$\delta = 0,01 + 0,05;$$

პრაქტიკულად $V_{საშ}$ სიდიდეს იღებენ FS მოცულობის ჯერადს: შემწოვი მილის ზუფისათვის

$$V_{საშ} = (5 + 10) F \cdot S$$

და დამჭირხნი მილის ზუფისათვის $8 FS$ -მდე.

შეწოვის სიმაღლე. ტუმბოში სითხის შეწოვა ხდება ატმოსფერული წნევის მეოხებით, რომელიც, როგორც ვიცით, ზღვის დონეზე უდრის ერთ ატმოსფეროს ანუ წყლის სვეტის სიმაღლეს 10,336 მ. მაშასადამე, ზღვის დონეზე თეორიულადაც (დანაკარგებს თუ არ მივიღებთ მხედველობაში) ტუმბო ვერ შეიწოვს წყალს 10,336 მ უფრო მაღლა. პრაქტიკულად კი შეწოვის სიმაღლე უფრო ნაკლებია. შეწოვის შესაძლებელი სიმაღლის გამოსარკვევად მივმართოთ განტოლებას (180), რომლიდანაც შეწოვის სიმაღლე ტოლი გამოდის:

$$h_{s1} = \frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} - h_{s1} - h_{u1} + \frac{\omega_1^2 - \omega_{საშ}^2}{2g},$$

ფინაიდან

$$h_{s1} \approx c_{საშ}, \text{ ამიტომ } \frac{\omega_1^2 - \omega_{საშ}^2}{2g} \approx 0.$$

$$h_{s1} = \frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} - h_{s1} - h_{s1}.$$

ეს ფორმულა გვიჩვენებს, რომ სითხის შეწოვის შესაძლებელ სიმაღლეს ამ-
ცირებენ ჰიდრავლიკური წინაღობანი (h_{s1}) და ინერციის წინაღობანი (h_{s1}),
აგრეთვე წნევა, რომელსაც განიცდის ღვთში შეწოვის დროს $\left(\frac{p_1}{\gamma}\right)$. ეს უკა-
ნასკენელი წარმოადგენს გადასაქაჩი სითხის ორთქლის დრეკადობას, რომელიც
დამოკიდებულია სითხის ტემპერატურაზე (იზრდება სითხის ტემპერატურის
ზრდასთან ერთად) და, მაშასადამე, რაც უფრო მაღალია სითხის ტემპერა-
ტურა, მით უფრო მეტია მისი ორთქლის დრეკადობა და მით უფრო ნაკ-
ლები იქნება შეწოვის შესაძლებელი სიმაღლე. გარდა ამისა, შეწოვის შესაძ-
ლებელი სიმაღლე დამოკიდებულია ატმოსფერულ წნევაზე, რომელიც რო-
გორც ვიცით, ცვალებადია: რაც უფრო მაღლა მდებარეობს ზღვის დონეს-
თან შედარებით, ტუპოს მუშაობის ადგილი მით უფრო მცირეა ატმოსფე-
რული წნევა, როგორც ეს ჩანს ქვემოთყვანილ მე-19 ცხრილიდან:

ცხრილი 19

ადგილის სიმაღლე ზღვის დონესთან შედარებით (მ)	0	100	200	300	400	500
ატმოსფერული წნევა (ვერცხ. წყლ. სვეტ. მმ)	760	751	742	733	724	716

600	700	800	900	1000	1200	1500	2000
707	699	690	682	674	658	635	595

დგუშიანი ტუმბოსათვის საჭირო სიმძლავრე. საჭირო სიმძლავრის გან-
საზღვრისათვის აღენიშნოთ;

$p = h \gamma - \left(\frac{\rho^2}{2}\right)$ — წნევა, რომელსაც ტუმბოს ღვთში განიცდის;

$F - (მ^2)$ — ღვთშის ფართი;

$S - (მ)$ — ღვთშის სიღმა;

$\gamma - \left(\frac{სმ}{სმ^3}\right)$ — სითხის ხედიერთი წონა.

მუშაობა, რომელსაც ეწევა ღვთში ლილვის ერთ ბრუნვაზე, ტოლია

$$T = p \cdot F \cdot S \text{ (კგმ),}$$

$$T = h \cdot \gamma \cdot F \cdot S \text{ (კგმ);}$$

ანუ

მაშასადამე, თეორიულად საჭირო სიმძლავრე (ც. ძ.) თუ ლილვი აკეთდება
 $n \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$, ტოლი იქნება:

$$N_{\sigma} = \frac{T \cdot n}{75 \cdot 60} = \frac{h \cdot \gamma \cdot F \cdot S \cdot n}{75 \cdot 60} \text{ (ც. ძ.)},$$

მაგრამ ზემოთქმულის თანახმად:

$$FSn = \frac{Q_{\sigma}}{1000},$$

ამიტომ

$$N_{\sigma} = \frac{Q_{\sigma} \cdot H \cdot \gamma}{1000 \cdot 75 \cdot 60} \text{ (ც. ძ.)},$$

სადაც Q_{σ} — $\left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}}\right)$ არის ტუმბოს თეორიული მწარმოებლობა. ფაქტიურად საჭირო სიმძლავრე მეტი გამოდის, როგორც ზემოთ ვთქვი, ფაქტიური მწარმოებლობა ტუმბოსი თეორიულზე ნაკლებია, მაშასადამე:

$$Q_{\sigma} = \eta_1 Q_{\sigma}.$$

აგრეთვე თვით ტუმბოში ჰიდრავლიკური დანაკარგების გამო სითხის, საერთო აწევის ფაქტიური სიმაღლე (h_{σ}) თეორიულზე ნაკლებია, ე. ი.

$$h_{\sigma} = \eta_2 h_{\sigma},$$

სადაც η_2 არის ტუმბოს ჰიდრავლიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

$$\eta_2 = \frac{h_{\sigma}}{h_{\sigma}} = \frac{h_{\sigma}}{h_{\sigma} + h_{\delta}},$$

სადაც h_{δ} არის წნევის დანაკარგი თვით ტუმბოში.

გარდა ამისა, ტუმბოში არის წმინდა მექანიკური ხასიათის დანაკარგებიც (ხახუნი ჩოხალებში, საკისრებში და სხვ.); ამიტომ ფაქტიურად საჭირო სიმძლავრე კიდევ მეტია საჭირო:

$$N_{\sigma} = \frac{N_{\sigma}}{\eta_3} \text{ (ც. ძ.)},$$

სადაც η_3 არის მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი. ყველა დანაკარგის გათვალისწინებით ტუმბოს საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლი იქნება:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3.$$

დღუშინი ტუმბოებისათვის

$$\eta = 0,072 \div 0,98.$$

საბოლოოდ ფაქტიურად საჭირო სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით

$$N_{\sigma} = \frac{Q_{\sigma} \cdot h_{\sigma} \cdot \gamma}{4500 \cdot 000 \cdot \eta} \text{ (ც. ძ.)} \quad (194)$$



დგუშიანი ტუმბოების ზოგიერთი მაჩვენებელი. დგუშიანი ტუმბოების რითადი ზომების განსაზღვრის დროს უნდა ვისარგებლოთ ზოგიერთი მნიშვნელობით, რომლებიც პრაქტიკაში შეიმუშავა ტუმბოების ექსპლოატაციის შედეგად.

ბრუნვათა რიცხვის შერჩევა უნდა მოვახდინოთ შემდეგ ფარგლებში:

ნელმავალი ტუმბოებისათვის $n = (40 \div 60) \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$,

ჩვეულებრივი ტუმბოებისათვის $n = (60 \div 160) \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$,

სწრაფმავალი ტუმბოებისათვის $n = (160 \div 250) \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$,

დგუშის საშუალო სიჩქარე უნდა შევარჩიოთ შემდეგ ფარგლებში:

ნელმავალი ტუმბოებისათვის $(0,3 \div 0,6) \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$,

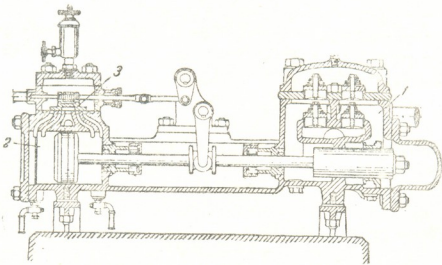
ჩვეულებრივი ტუმბოებისათვის $(0,6 \div 1,2) \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$,

სწრაფმავალი ტუმბოებისათვის $(1,2 \div 2) \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$.

ამ მონაცემების შესაბამისად ფარდობა $\frac{S}{D}$ უნდა შევარჩიოთ შემდეგ ფარგლებში:

ნელმავალი და ჩვეულებრივი ტუმბოებისათვის $3 \div 6$,
სწრაფმავალი ტუმბოებისათვის $1 \div 2$.

პირდაპირ მოქმედი ტუმბოები. პირდაპირ მოქმედი ტუმბო წარმოადგენს დგუშიან ტუმბოს, უშუალოდ შეერთებულს ორთქლის მანქანასთან, ისეთ-



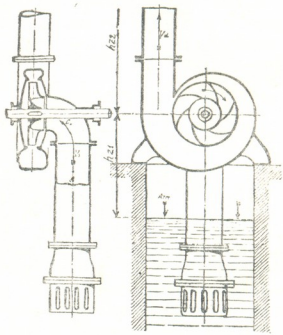
ნახ. 153. პირდაპირ მოქმედი ტუმბოს სქემა.

ნაირად, რომ წყლისა და ორთქლის დგუში ერთ საერთო კოკზე არიან დაყენებული. ვინაიდან ამ ტუმბოში არ არის მბრუნავი ნაწილები, სითხის მი-

წოდება თითქმის საესეებით თანაბარია. ნახ. 153-ზე მოყვანილია პირდაპირი მოქმედი ტუმბოს სქემა. ამ სქემაზე ციფრებით აღნიშნულია: 1—ტუმბო; 2—ორთქლის მანქანა; 3—კვეთარით ორთქლის განაწილება. ასეთი ტიპის ტუმბოები ფართოდ გავრცელებულია ადგილობრივ წყლით მომარაგებისათვის და, განსაკუთრებით, ორთქლის ქვაბებში საკვები წყლის მიწოდებისათვის. მოსკოვის ქარხანა „Вырез“ უშვებს ასეთ ტუმბოებს მწარმოებლობით $(65 \div 2000)$ $\frac{\text{წმ}}{\text{წთ}}$ და საერთო წნევით 25 ატმოსფერომდე.

§ 20. ცენტრიდანული ტუმბოები

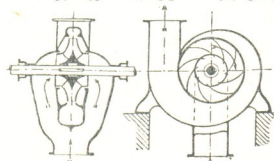
ცენტრიდანული ტუმბოების მოქმედების პრინციპი და კლასიფიკაცია. ცენტრიდანული ტუმბო (ნახ. 154) შედგება გარსაცმისაგან (ტუმბოს კორპუსი), რომელშიაც ბრუნავს სამუშაო თვალი. ამ თვალზე დამაგრებულია სპეციალური მოყვანილობის ფრთები. სამუშაო თვლის ბრუნებას ახდენს რომელიმე ძრავა (უფრო ხშირად ელექტრომობილი, ზოგჯერ გადაცემის საშუალებით და უფრო ხშირად კი უშუალოდ (ძრავის ღერძი ქუროთი უერთდება ტუმბოს ღერძს). თუ ტუმბო გუსებულა სითხით, მაშინ ბრუნვის დროს, ბორბალი წარიტაცებს სითხის იმ ნაწილს, რომელიც მის ფრთებს ეხება და სითხის ეს ნაწილი აგრეთვე ბრუნვით მოძრაობას დაიწყებს. ამ ბრუნვითი მოძრაობის შედეგად შეიქმნება ცენტრიდანული ძალა, რომელიც სითხეს ცენტრიდან პერიფერიისაკენ გადაადგილებს და ბოლოს, თვლიდან გარსაცმში განდევნის. თვალზე სითხის გადაადგილება გამოიწვევს თვალთან გაუხშობას, რის გამოც შემწოვი მილიდან ატმოსფეროს წნევის მეოხებით შევა სითხე. ამრიგად, ვიდრე თვალი ბრუნავს, სითხე განუწყვეტლად შედის შემწოვი მილიდან თვალზე და, აგრეთვე, განუწყვეტლად გავა თვლიდან გარსაცმში, ხოლო იქიდან—საჭირბნ მილში, ე. ი. სითხე განუწყვეტლად იდენს ტუმბოში სულ ერთსადაიმავე მიმართულებით და თანაბრად. ამიტომ ცენტრიდანულ ტუმბოს სარქველები არ ესაჭიროება. ეს გარემოება დიდ უპირატესობას ანიჭებს ცენტრიდანულ ტუმბოს დგუშიანი ტუმბოს წინაშე.



ნახ. 154. ცენტრიდანული ტუმბოს სქემა.

სამუშაო თვალი შედგება ორი დისკოსაგან, რომელთა შორის დამაგრებულია ფრთები. ეს ფრთები დისკოებს შორის მოთავსებულ სივრცეს განცალკევებულ არხებად ტიხრავენ. ამის გამო სითხე შემწოვის ხხრიდან სამუშაო თვალზე შესვლისას ცალ-ცალკე ნაკადებად იყოფა, თვლიდან გარსაცმში

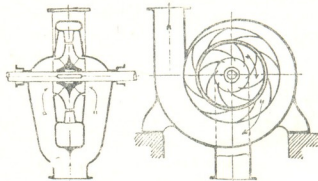
გამოსვლისას კი სითხის ცალკე ნაკადები ისევ ერთ მთლიან ნაკადს ჰქმნიან. მაშასადამე, სითხე თვალზე გადაადგილებისას არხებში მოძრაობს. გორც ეს ტუმბოს სქემიდან ჩანს (ნახ. 154), არხის კვეთი არ არის მუდმივი: ის სითხის მოძრაობის გზადაზა ფართოვდება. ამიტომ სითხის თვლის არხებში მოძრაობის სიჩქარე თანდათან კლებულობს, რის გამოც, ბერნულის განტოლების თანახმად, იზრდება წნევა. მაშასადამე, სამუშაო თვალზე ხდება სითხის მოძრაობის კინეტიკური ენერგიის წნევის პოტენციურ ენერგიად გარდაქმნა. ამ გარდაქმნის პროცესი ტუმბოს გარსაცმშიც გრძელდება, რადგანაც გარსაცმშიც სითხის გასასვლელი კვეთი საჭირო მდომარე გზადაზა მატულობს. ამიტომაც გარსაცმს ხვეულის მოყვანილობა აქვს. სითხე შედის ტუმბოში ღერძის გასწვრივ. ამიტომ შემწოვი მილი ტუმბოსთან მუხლით არის შეერთებული. საჭირონი მილი კი უერთდება გარსაცმს მხები მიმართულებით. ზემოაღწერილი ტუმბო (ნახ. 154) შედარებით დაბალ წნევას ავითარებს. ამის შესაბამისად ასეთ ტუმბოებს დაბალი წნევის ტუმბოები ეწოდება. უფრო მაღალი წნევის მისაღებად სამუშაო თვალსა და გარსაცმს შორის იდგმება მეორე უძრავი თვალი, რომელსაც მიმართველი აპარატი ანუ დიფუზორი ეწოდება. დიფუზორზედაც დამაგრებულია ფრთები, რომლებიც იმავე მოყვანილობისაა, როგორც სამუშაო თვლის ფრთები, მხოლოდ დაყენებული არიან შებრუნებით. დიფუზორიან ტუმბოებში სიჩქარის წნევად გარდაქმნა ხდება სამუშაო თვალზედაც დიფუზორშიც და გარსაცმშიც, რის შედეგად შესაძლებელი ხდება საბოლოოდ უფრო მაღალი წნევა მივიღოთ, ვიდრე უდიფუზორო ტუმბოებში. ამიტომაც დიფუზორიან ტუმბოებს მაღალი წნევის



ნახ. 154. დიფუზორიანი ცენტრიდანული ტუმბო, რომელიც სითხეს ორი მხრიდან შეიწოვს.

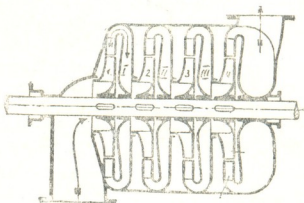
ტუმბოები ეწოდება. დიფუზორიანი ტუმბოს სქემა მოყვანილია ნახ. 155-ზე. ზოგიერთ შემთხვევაში სითხის თვალზე შესასვლელი სიჩქარის შემცირების მიზნით სითხის შეწოვას ტუმბოში

ორივე მხრიდან ანხორციელებენ. სამუშაო თვალსაც სათანადო მოყვანილობა ეძლევა. ასეთი ორმხრივი შეწოვა შეიძლება განხორციელდეს როგორც დაბალი წნევის (უდიფუზორო) ტუმბოში (ნახ. 156), ისე მაღალი წნევის (დიფუზორიანი) ტუმბოში (ნახ. 155). აღწერილი ტუმბოები ერთთვლიანი ტუმბოებია. არსებობს აგრეთვე მრავალთვლიანი ტუმბოებიც. იმისდა მიხედვით, თუ რა პირობებში ვამუშავეთ ამ თვლებს მრავალთვლიან ტუმბოს ერთთვლიან ტუმბოსთან შედარებით შეუძლია სხვა-



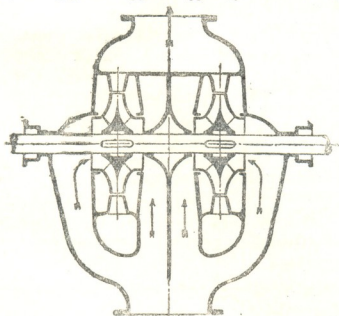
ნახ. 155. უდიფუზორო ცენტრიდანული ტუმბო, რომელიც სითხეს ორი მხრიდან შეიწოვს.

დასხვა ეფექტი მოგვცეს: თუ თვლებს ვამუშავებთ ისე, რომ სითხე ერთი ნაწილის სახით თანმიმდევრულად, გაივლინ ყველა თვალს, მაშინ თითოეულ თვალს მიანიჭებს სითხეს წნევას და, მასასადავ, ტუმბოდან სითხე გამოვა წნევით, რომელიც თეორიულად ტოლი იქნება $p \cdot n$, სადაც p არის თითოეულ თვალზე მიღებული წნევა n კი—სამუშაო თვლების რიცხვი (პრაქტიკულად დანაკარგების გამო საბოლოო წნევა $p \cdot n$ -ზე ნაკლები გამოდის). ასეთი ტუმბოს სქემა მოყვანილია ნახ. 157-ზე. ამ ნახაზზე არაბული ციფრებით აღნიშნულია სამუშაო თვლები, რომელიც ციფრებით კი—დიფუზორები. ასეთ ტუმბოებს მრავალსაფეხურიანი ტუმბოები ეწოდება. შეიძლება მრავალთვლიანი ტუმბო ვამუშაოთ ისე, რომ სითხე გაიყოს იმდენ ნაკადად, რამდენი თვალიც აქვს ტუმბოს. ეს ნაკადები პარალელურად გაივლიან თითოეული თავის სამუშაო თვალს და, ცხადია, თითოეული მიიღებს თვალზე ერთსა და იმავე წნევას.



ნახ. 157. მრავალთვლიანი ცენტრიდანული ტუმბო (მრავალსაფეხურიანი).

საჭიროებ კამერაში ეს ნაკადები ისევ შეერთდებიან და საჭიროებ მილისაკენ მიიმართებიან. ამ ტუმბოს მრავალკვლიანი ტუმბო ეწოდება. ასეთი ტიპის ორთვლიანი ტუმბოს სქემა მოყვანილია ნახ. 158-ზე. ადვილად გასაგებია, რომ



ნახ. 158. მრავალთვლიანი ცენტრიდანული ტუმბო (მრავალკვლიანი)

მრავალსაფეხურიანი ტუმბო უნდა ვიხმაროთ მაშინ, როდესაც სითხის მცირე რაოდენობა მისაწოდებელია დიდი წნევით, ხოლო მრავალკვლიანი ტუმბო მაშინ, როდესაც სითხის დიდი რაოდენობა უნდა მივაწოდოთ მცირე წნევით. თეორიულად შესაძლებელია დავაპროექტოთ ისეთი ტუმბო, რომელიც ერთი თვლის საშუალებით განავითარებს დიდ წნევას, მაგრამ ტუმბო ვაშოვა ისეთი მძიმე კონსტრუქციის, რომ მისი ექსპლუატაცია არაეკონომიური იქნება. ამიტომ ჩვეულებრივად

ერთ თვალს გაიანგარიშებენ წნევაზე არა უმეტეს 100 მმ. წყ. სვ. უფრო დიდი წნევისათვის უნდა მივმართოთ მრავალსაფეხურიან ტუმბოს და თვლების რაოდენობაც უნდა განვსაზღვროთ იმ ვარაუდით, რომ თითოეულ თვალზე მოდიო-



დეს წნევა არა უმეტეს 100 მმ. წყ. სვ. აგრეთვე თუ მისაწოდებელია რაოდენობა სითხისა, შემწოვი მილი ძალიან დიდი კვეთისა გამოვა. ბესია ვიხმაროთ მრავალქველიანი ტუმბო და თვლების რაოდენობა განვს. ზღვრით იმ ვარაუდით, რომ ტუმბოს შემწოვ მხარეზე სითხის სიჩქარე არ აღემატებოდეს $2\sqrt{\frac{g}{\rho}}$; თვლების რაოდენობა ზოგჯერ 10-ს აღწევს.

ცენტრიდანული ტუმბოს მუშაობა. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სითხე შედის ტუმბოში ღერძის გასწვრივ, შემდეგ კი რადიუსის მიმართულებით სამუშაო თვლის არხში. ამ მომენტიდან სითხე თვალთან ერთად ბრუნავს ღერძის ირგვლივ მანამდე, ვიდრე ცენტრიდანული ძალა მას არ განდევნის სამუშაო თვლიდან დიფუზორში ან უშუალოდ გარსაცმში. მაშასადამე, სამუშაო თვლის არხებში გასვლისას სითხეს რთული მოძრაობა აქვს: შეფარდებითი მოძრაობა თვლის მიმართ და გადატანითი მოძრაობის თვალთან ერთად, ამ ორი მოძრაობის შედეგად მივიღებთ სითხის აბსოლუტურ მოძრაობას. ტუმბოს მუშაობის გასარკვევად აღვნიშნოთ:

$\omega_1 - \left(\frac{g}{\rho d}\right)$ — სითხის მოძრაობის სიჩქარე შემწოვ მილში;

$\omega_2 - \left(\frac{g}{\rho d}\right)$ — სითხის მოძრაობის სიჩქარე საქირხნ მილში;

$\omega_3 - \left(\frac{g}{\rho d}\right)$ — სითხის მოძრაობის შეფარდებითი სიჩქარე სამუშაო თვლის არხის შესავალში;

$\omega_4 - \left(\frac{g}{\rho d}\right)$ — სითხის მოძრაობის შეფარდებითი სიჩქარე სამუშაო თვლის არხიდან გასასვლელში;

$n - \left(\frac{br}{\rho t}\right)$ — თვლის ბრუნვათა რიცხვი წუთში;

E — თვლის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე;

$D_0 - (m)$ — შემწოვი მუხლის კვეთის დიამეტრი;

$D_1 - (m)$ — სამუშაო თვლის შინაგანი მოხაზულობის დიამეტრი;

$D_2 - (m)$ — სამუშაო თვლის გარე მოხაზულობის დიამეტრი;

$F_1 - (m^2)$ — ფრთებს შორის არხის შესასვლელი კვეთი;

$F_2 - (m^2)$ — ფრთებს შორის არხის გასასვლელი კვეთი;

R_1 — ბორბლის შიგა შემოწერილობის რადიუსი;

R_2 — ბორბლის გარეშემოწერილობის რადიუსი;

$c_1 - \left(\frac{g}{\rho d}\right)$ — სითხის მოძრაობის აბსოლუტური სიჩქარე სამუშაო თვლის არხის შესასვლელში;

$c_2 - \left(\frac{g}{\rho d}\right)$ — სითხის მოძრაობის აბსოლუტური სიჩქარე სამუშაო თვლის არხიდან გასასვლელში.

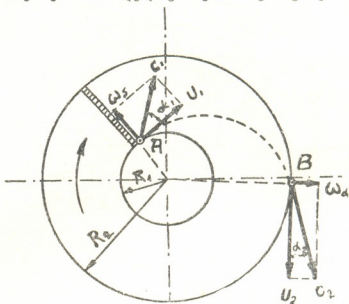
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სითხე მოძრაობს თვლის მიმართ სიჩქარით ω_3 შესასვლელში და სიჩქარით ω_4 გასასვლელში. ამავე დროს ის ბრუნავს თვალთან ერთად სიჩქარით: თვლის შინაგან წრეზე:

$$U_1 = \frac{2\pi \cdot R_1 \cdot n}{60} \left(\frac{g}{\rho d}\right),$$

თვლის გარე წრეზე:

$$U_2 = \frac{2\pi \cdot R_2 \cdot n}{60} \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \right).$$

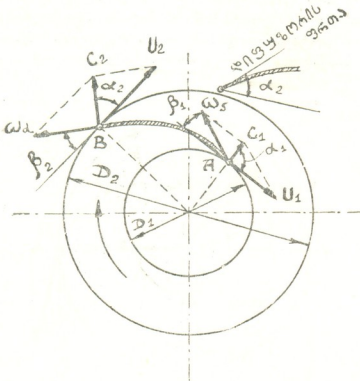
სითხის მოძრაობის აბსოლუტური სიჩქარეები c_1 და c_2 ტოლი იქნებიან ამ სიჩქარეთა გეომეტრიული ჯამისა (სიჩქარეთა შეკრება პარალელოგრამის წესით). ვთქვათ, რომ სამუშაო თვლის ფრთას სწორხაზოვანი მოხაზულობა აქვს (როგორც ყველაზე უფრო მარტივი) და დაყენებულია რადიუსის მიმართულულებით (ნახ. 159). ავავსოთ სიჩქარეთა პარალელოგრამები როგორც შესასვლელში (წერტილი A), ისე გასასვლელში (წერტილი B). თვალი რომ არ ბრუნავდეს, სითხე შევიდოდა თვალზე სიჩქარით u_1 და გამოვიდოდა თვლიდან სიჩქარით u_2 , მაგრამ, ვინაიდან თვალი ბრუნავს თავისი ღერძის ირგვლივ, ამიტომ თვალთან ერთად სითხეც დატრიალდება და თვლიდან მიიღებს სიჩქარეს U_1 -ს. აბსოლუტური სიჩქარე სითხის მოძრაობისა c_1 იქნება დიაგონალი სწორკუთხედისა, რომელსაც გვირდებდა აქვს u_1 და U_1 სიჩქარეები. c_1 იქნება კუთ-



ნახ. 159. სქემა ცენტრიდანული ტუმბოს გაანგარიშებისათვის.

ხე აბსოლუტურ სიჩქარე c_1 -სა და წრიულ სიჩქარე U_1 -ს შორის. მსგავსი სურათი გვექნება თვლიდან გასასვლელში (წერტილი B). როგორც სიჩქარეთა პარალელოგრამი გვიჩვენებს, აბსოლუტური სიჩქარის მიმართულებას შუალედი ადგილი უჭირავს რადიალურ და მხებ მიმართულებათა შორის. შემწოვი მილიდან კი სითხე შედის რადიუსის მიმართულებით და, მაშასადამე, ადგილი ექნება სიჩქარის მიმართულების შეცვლას, რაც გამოიწვევს ჰიდრაული დარტყმას, ე. ი. დანაკარგს. ამ დარტყმის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა, რომ სითხეს თვლის გასვლის დროს ჰქონდეს აბსოლუტური სიჩქარე ისეთივე მიმართულებისა, რაც აქვს შემწოვ არეში, ე. ი. რადიუსის მიმართულებით: როგორც ეს სიჩქარეთა პარალელოგრამიდან ჩანს, აბსოლუტური სიჩქარის c_1 -ს მიმართულება დამოკიდებულია მდგენელ სიჩქარეთა u_1 და U_1 -ს მიმართულებაზე. მაშასადამე, აბსოლუტური სიჩქარის სასურველი მიმართულების მისაღებად საჭიროა სათანადოდ შეეცვალოთ მდგენელ სიჩქარეთა მიმართულება. U_1 სიჩქარე, როგორც წრიული სიჩქარე, მუდამ მიმართულია ბრუნვის ტრაექტორიის მხები მიმართულებით და მისი შეცვლა შეუძლებელია. ამიტომ უნდა შეიცვალოს u_1 სიჩქარის მიმართულებით. როგორც ეს ჩანს სიჩქარეთა პარალელოგრამიდან (ნახ. 160), სიჩქარე u_1 მიმართული უნდა იყოს

ბრუნვის მიმართულების საწინააღმდეგოდ. ცხადია, რომ $\alpha_1 = 90^\circ$. ამიტომ უნდა ჰქონდეს მრუდი მოყვანილობა, რომელიც ამოზნექილია ბრუნვის მიმართულებისაკენ. სითხის აბსოლუტური მოძრაობის ტრაექტორია გამოსახულია მრუდით AB . თვლიდან გასასვლელში (წერტილი B) კუთხეს α_2 -ს იღებენ $8 \div 15^\circ$ -მდე. იმისათვის, რომ სამუშაო თვლიდან დიფუზორის ფრთაზე გადასვლისას დარტყმა არ მოხდეს, დიფუზორის ფრთის ისეთ მოყვანილობას აძლევენ, რომ სითხე კუთხით α_2 შევიდეს დიფუზორის ფრთაზე (ნახ. 160). როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სამუშაო თვალი რომ არ ბრუნავდეს, სითხე შევიდოდა თვალზე სიჩქარით w , და გადმოვიდოდა თვლიდან სიჩქარით w_d . ამ შემთხვევაში ბერნულის განტოლების თანახმად თეორიულად (დანაკარგების გარეშე):



ნახ. 160. სიჩქარეთა პარალელურობა ტუმბოს თვალზე.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_d^2}{2g},$$

სადაც $p_1 - \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right)$ არის სით-

ხის წნევა სამუშაო თვალზე შესვლისას;

$$p_2 - \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right) - \text{სითხის წნევა სამუშაო თვლიდან გამოსვლისას.}$$

მაგრამ, ვიდრე სითხე სამუშაო თვალზე მოძრაობს, მასზე იმავე მიმართულებით მოქმედებს ცენტრიდანული ძალა, რომელიც სითხეს დამატებით ენერგიას შემატებას. თუ ტუმბოს ღერძის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს აღვნიშნავთ ε , მაშინ ცენტრიდანული ძალა ტოლი იქნება:

$$Z = m \varepsilon^2 R \quad (\text{კგ}).$$

ეს ძალა მოქმედებს რადიუსის მიმართულებით, მისი ელემენტარული მუშაობა g -ის ელემენტზე dR -ზე იქნება:

$$d T = m \varepsilon^2 R dR \quad (\text{კგ} \cdot \text{მ}),$$

ხოლო მისი სრული მუშაობა ტოლი იქნება:

$$T = \int m \varepsilon^2 \cdot R dR.$$

ჩვენს შემთხვევაში ეს ძალა მოქმედებს გზის ნაკვეთზე ზომით $R_2 - R_1$, მაშასადამე, ენერგია, რომელსაც სითხე ცენტრიდანული ძალისაგან მიიღებს, უდრის:

$$\begin{aligned} T &= \int_{R_1}^{R_2} m \varepsilon^2 R dR = m \varepsilon^2 \int_{R_1}^{R_2} R \cdot dR = m \varepsilon^2 \left[\frac{R^2}{2} \right]_{R_1}^{R_2} = \\ &= m \varepsilon^2 \left(\frac{R_2^2}{2} - \frac{R_1^2}{2} \right) = \frac{m}{2} (\varepsilon^2 R_2^2 - \varepsilon^2 R_1^2) = \frac{m}{2} [(\varepsilon R_2)^2 - (\varepsilon R_1)^2]. \end{aligned}$$

მაგრამ

$$R_2 \varepsilon = U_2 \text{ და } R_1 \varepsilon = U_1,$$

ამიტომ

$$T = \frac{m}{2} (U_2^2 - U_1^2) \text{ (კვ.მ).}$$

1 კგ სითხისათვის $m = \frac{1}{g}$ და, მაშასადამე, რაოდენობა ენერგიისა, რასაც 1 კგ სითხე შეიძენს სამუშაო თვლიდან გასვლისას შეადგენს:

$$T = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} \left(\frac{\text{კვ.მ}}{\text{კგ}} \right),$$

აქედან შეგვიძლია დავწეროთ, რომ:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\omega_s^2}{2g} + \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\omega_d^2}{2g},$$

წნევა სამუშაო თვლის არხში უდრის წნევათა სხვაობას არხის თავსა და ბოლოში, ე. ი.

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{\omega_s^2 - \omega_d^2}{2g}. \quad (195)$$

სითხის შეწოვა, როგორც ვიცით, ხდება ატმოსფერული წნევის $|p_a|$ მეოხებით. ნაწილი ამ წნევისა დაიხარჯება შეწოვის სიმაღლის (h_{z_1}) დასაძლევად, ნაწილი კი ჰიდრაულიკურ წინაღობათა (h_{v_1}) დასაძლევად. მაშასადამე, სითხეს სამუშაო თვალზე მისვლისას ექნება ენერგია:

$$\frac{p_a}{\gamma} - h_{z_1} - \varepsilon h_{v_1}$$

ეს ენერგია წარმოდგენილი იქნება ორი სახით: სტატიკური წნევით $\frac{p_1}{\gamma}$ და დინამიკური წნევით $\frac{c_1^2}{2g}$.

მაშასადამე, შეგვიძლია დავწეროთ, რომ:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g} = \frac{p_a}{\gamma} - h_{z_1} - \varepsilon h_{v_1}. \quad (196)$$

ანალოგიურად შეგვიძლია დავწეროთ, რომ:

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} = \frac{p_a}{\gamma} + h_{s2} + \varepsilon h_{s2}. \quad (197)$$

განტოლებას (197) რომ გამოვაკლოთ განტოლებას (196), მივიღებთ:

$$\left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g} \right) = \left(h_{s2} + \frac{p_a}{\gamma} + \varepsilon h_{s2} \right) - \left(\frac{p_a}{\gamma} - h_{s1} - \varepsilon h_{s1} \right),$$

საიდანაც:

$$\frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} = (h_{s1} + h_{s2}) + (\varepsilon h_{s1} + \varepsilon h_{s2}) - \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g},$$

ვინაიდან

$$\varepsilon h_{s1} + \varepsilon h_{s2} = \varepsilon h_s; \quad h_{s1} + h_{s2} = h_s$$

და აგრეთვე განტოლების (195) თანახმად

$$\frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{\omega_s^2 + \omega_d^2}{2g}$$

$$h_s + \varepsilon h_s = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{\omega_s^2 + \omega_d^2}{2g}.$$

$h_s + \varepsilon h_s = h$ (სრული მანომეტრული წნევა) და, მაშასადამე:

$$h = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{\omega_s^2 + \omega_d^2}{2g}. \quad (197a)$$

შეფარდებითი სიჩქარეები ω_s და ω_d გამოვსახოთ c და U სიჩქარეებით. ამისათვის მივმართოთ სიჩქარეთა პარალელოგრამს (ნახ. 160).

ირიბკუთხა სამკუთხედების ფორმულის თანახმად: თვალზე შესვლისას (წერტილი A):

$$\omega_s^2 = c_1^2 + U_1^2 - 2 U_1 c_1 \cos \alpha_1$$

თვლიდან გამოსვლისას (წერტილი B):

$$\omega_d^2 = c_2^2 + U_2^2 - 2 U_2 c_2 \cos \alpha_2,$$

ეს მნიშვნელობანი ფორმულაში (197a) რომ ჩავსვათ, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} h &= \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{c_1^2 + U_1^2 - 2 U_1 c_1 \cos \alpha_1 - c_2^2 - U_2^2 + 2 U_2 c_2 \cos \alpha_2}{2g} = \\ &= \frac{U_2 c_2 \cos \alpha_2 - U_1 c_1 \cos \alpha_1}{g}. \end{aligned}$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ,

$$\alpha_1 = 90^\circ \text{ და } \cos \alpha_1 = 0.$$

ამიტომ

$$h = \frac{U_2 c_2 \cos \alpha_2}{g}. \quad (198)$$

ამ ფორმულაში h წარმოადგენს თეორიულ წნევას, ფაქტიურად, როგორც ყველა ტუმბოს, ცენტრიდანულ ტუმბოსაც, როგორც ჰიდრავლიკურ მანქანას, აქვს თავისი მარგი ქმედების კოეფიციენტი η_2 , რომელიც წარმოადგენს ფაქტიური წნევის თეორიული წნევისადმი შეფარდებას, ე. ი.

$$\eta_2 = \frac{h_{\text{ფ}}}{h},$$

აქედან:

$$h_{\text{ფ}} = h \cdot \eta_2,$$

და, მაშასადამე, ფორმულა (198) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$h_{\text{ფ}} = \eta_2 \frac{U_2 c_2 \cos \alpha_2}{g}. \quad (199)$$

განტოლებას (199) ცენტრიდანული ტუმბოს ძირითადი განტოლება ეწოდება.

ცენტრიდანული ტუმბოების ჰიდრავლიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი η_2 მერყეობს შემდეგ ფარგლებში:

$\eta_2 = 0,55 \div 0,65$ — ჩვეულებრივი უდიფუზორო ცენტრიდანული ტუმბოებისათვის;

$\eta_2 = 0,65 \div 0,75$ — დიფუზორიანი ერთბორბლიანი ცენტრიდანული ტუმბოებისათვის;

$\eta_2 = 0,75 \div 0,85$ — მრავალსაფეხურიანი ცენტრიდანული ტუმბოებისათვის.

ცენტრიდანული ტუმბოს ძირითადი განტოლების ფორმულა (199) გვიჩვენებს, რომ:

როდესაც

$$\alpha_2 = 90^\circ; \cos \alpha_2 = 0, \text{ მაშინ } h_{\text{ფ}} = 0,$$

როდესაც

$$\alpha_2 = 90 \div 180; \cos \alpha_2 < 0, \text{ მაშინ } h_{\text{ფ}} < 0,$$

ე. ი. წნევა უარყოფითი ხდება.

როდესაც

$$\alpha_2 = 0; \cos \alpha_2 = 1,$$

მაშინ

$$h_{\text{ფ}} = \eta_2 \frac{U_2 c_2}{g},$$

ე. ი. მაქსიმალურ წნევას მივიღებთ მაშინ, როდესაც $\alpha_2 = 0$. ვინაიდან ასეთი კუთხის შექმნა კონსტრუქციული მოსაზრების გამო შეუძლებელია, ამიტომ,



როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, $\alpha_2 = 8 + 15$. ფრთების დიხრის კუთხეების (β_1 , β_2) მნიშვნელობის გასარკვევად ისევ მივმართოთ სიჩქარეთა პარალელოგრამს (ნახ. 160):

თვალში შესასვლელთან (წერტილი γ) გვექნება:

$$\frac{c_1}{U_1} = \frac{\sin \beta_1}{\sin [180 - (\alpha_1 + \beta_1)]} = \frac{\sin \beta_1}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)},$$

შაგრამ, რადგანაც, $\alpha_1 = 90^\circ$,

$$\text{ამიტომ} \quad \frac{c_1}{U_1} = \frac{\sin \beta_1}{\sin (90 + \beta_1)} = \frac{\sin \beta_1}{\cos \beta_1} = \operatorname{tg} \beta_1, \quad (200)$$

თვლიდან გამოსასვლელში გვექნება:

$$\frac{c_2}{U_2} = \frac{\sin \beta_2}{\sin [180 - (\alpha_2 + \beta_2)]} = \frac{\sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)};$$

აქედან

$$c_1 = U_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)}. \quad (201)$$

ძირითად განტოლებაში (199) რომ ჩავსვათ c_1 -ის მნიშვნელობა ფორმულის (201) თანახმად, მივიღებთ:

$$h_{\text{ფ}} = \eta_2 \frac{U_2^2}{g} \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)}.$$

შაგრამ

$$\begin{aligned} \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)} &= \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{\sin \alpha_2 \cos \beta_2 + \sin \beta_2 \cos \alpha_2} = \\ &= \frac{\frac{\sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2}{\sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2}}{\frac{\sin \alpha_2 \cdot \cos \beta_2}{\sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2} + \frac{\sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2}{\sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2}} = \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \beta_2}, \end{aligned}$$

და, მაშასადამე:

$$h_{\text{ფ}} = \eta_2 \frac{U_2^2}{g} \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_2}$$

აქედან კი

$$\eta_2 = \frac{h_{\text{ფ}} \cdot g}{U_2^2} (1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \beta_2). \quad (202)$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ ცენტრიდანული ტუმბოს ჰიდრაულიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია ნაშრავლის $\operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \beta_2$ ნიშანზე (ე. ი. მიემატება ეს ნაშრავლი 1-ს, თუ გამოაკლდება); რადგანაც $\alpha_2 < 90^\circ$, ამიტომ $\operatorname{tg} \alpha_2 > 0$. მაშასადამე, $\operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_2$ ნაშრავლის ნიშანი დამოკიდებულია $\operatorname{ctg} \beta_2$ -ს ნიშანზე. ამიტომ:

$$\text{როდესაც } \beta_2 < 90^\circ, \text{ მაშინ } \eta_2 > \frac{h_{\text{ფ}} \cdot g}{U_2^2};$$

$$\text{როდესაც } \beta_2 = 90^\circ, \text{ მაშინ } \eta_2 = \frac{h_{\text{ფ}} \cdot g}{U_2^2};$$

$$\text{როდესაც } \beta_2 > 90^\circ, \text{ მაშინ } \eta_2 < \frac{h_{\text{ფ}} \cdot g}{U_2^2}.$$

მაშასადამე, η_1 ყველაზე დიდი გამოდის მაშინ, როდესაც $\beta_2 < 90^\circ$ -ზე, ე. ი. როდესაც ფრთა მოღუნულია უკანისაკენ. ეს გარემოება, ზემონათქვამთან დამატებით, ამტკიცებს იმის საჭიროებას, რომ ფრთას ჰქონდეს მრუდი მოყვანილობა, უკანისაკენ გაღმოდუნული. საერთოდ

$$\beta_2 = 20^\circ \div 50^\circ.$$

ცენტრიდანული ტუმბოს მწარმოებლობა. ცენტრიდანული ტუმბოს მწარმოებლობა დამოკიდებულია სამუშაო თვლის სიგანეზე და აგრეთვე სითხის მოძრაობის სიჩქარეზე. როგორც ვიცით, სითხის მოძრაობის აბსოლუტური სიჩქარე თვალზე შესვლისას არის c_1 და თვლიდან გამოსვლისას— c_2 . დამატებით აღენიშნოთ (ნახ. 150): b_1 (მ) სამუშაო თვლის სიგანე შინაგან წრეზე, b_2 (მ) სამუშაო თვლის საგანე გარე წრეზე, $F_{\text{შ}} \left(\frac{\text{მ}^2}{\text{წმ}} \right)$ სითხის რაოდენობა, რომელიც გადის ტუმბოში ერთ წამში; ტუმბოს მწარმოებლობა ტოლი იქნება:

$$F_{\text{შ}} = 2 \pi \cdot R_1 \cdot b_1 \cdot c_1 \cdot \sin \alpha_1 = 2 \pi R_2 b_2 c_2 \sin \alpha_2.$$

ვინაიდან

$$\alpha_1 = 90^\circ \text{ და } \sin \alpha_1 = 1,$$

ამიტომ

$$F_{\text{შ}} = 2 \pi R_1 b_1 c_1 = 2 \pi R_2 b_2 c_2 \sin \alpha_2. \quad (203)$$

ცენტრიდანული ტუმბოსათვის საჭირო სიმძლავრე. საჭირო სიმძლავრე განისაზღვრება ზემომოყვანილი ფორმულის თანახმად

$$N_{\text{ფ}} = \frac{Q_{\text{ფ}} \cdot H_{\text{ფ}} \cdot \gamma}{4500 \ 000 \cdot \eta} \text{ ბ. დ.,}$$

სადაც η არის ტუმბოს საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3,$$

სადაც η_1 არის მიწოდების კოეფიციენტი:

η_2 — ჰიდრავლიკური მარგი ქმედების კუთხე, ზემოთ უკვე ხსენებული;
 η_3 — მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა მერყეობს შემდეგ ფარგლებში;

$\eta_3 = 0,5 \div 0,7$ ჰველებრივ უდიფუზორო ცენტრიდანული ტუმბოებისათვის;

$\eta_3 = 0,6 \div 0,7$ ერთფელისანი დიფუზორიანი ცენტრიდანული ტუმბოებისათვის;

$\eta_4 = 0,7 \div 0,8$ მრავალსაფეხურიანი ცენტრიდანული ტუმბოებისათვის. საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდე მერყეობს: $\eta = 0,5 \div 0,75$.

შეწოვის სიმაღლე. ფორმულის 11 თანახმად წნევა სამუშაო თვალზე შესვლისას ტოლია:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - h\chi_1 - \frac{c_1^2}{2g} - \Sigma h\nu_1,$$

სქედან შეწოვის შესაძლებელი სიმაღლე ტოლია:

$$h\chi_1 = \frac{p_0}{\gamma} - \frac{c_1^2}{2g} - \frac{p_1}{\gamma} - \Sigma h\nu_1.$$

დგუშთან ტუმბოსთან შედარებით ცენტრიდანულ ტუმბოში შეწოვის სიმაღლე უფრო დიდი გამოდის, რადგანაც მასში არ არის წნევის დანაკარგი ინერციაზე ($\Sigma h\nu_1$).

შეფარდებანი ცენტრიდანული ტუმბოს მაჩვენებელთა შორის. როგორც სიჩქარეთა პარალელოგრამიდან ჩანს (ნახ. 160):

$$\frac{c_1}{v_2} = \frac{\sin \beta_2}{\sin [180 - (\alpha_2 + \beta_2)]} = \frac{\sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)},$$

საიდანაც

$$c_1 = v_2 \frac{\sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)},$$

მწარმოებლობა კი ტოლი იქნება:

$$V_{\Sigma} = 2 \pi R_2 b_2 v_2 \frac{\sin \beta_2 \cdot \sin \alpha_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)},$$

ვინაიდან

$$v_2 = \frac{2 \pi R_2 \cdot n}{60},$$

ამიტომ:

$$V_{\Sigma} = 2 \pi R_2 b_2 \frac{2 \pi R_2 n}{60} \frac{\sin \beta_2 \cdot \sin \alpha_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)} = (2 \pi R_2)^2 \cdot \frac{b_2}{60} \cdot \frac{\sin \beta_2 \cdot \sin \alpha_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)} n. \quad (204)$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ ტუმბო ზომების შეუცვლელად მწარმოებლობის შეცვლა შეიძლება მხოლოდ ბრუნვათა რიცხვის n -ის შეცვლით. ფორმულაში შემავალი ყველა სიდიდე, გარდა n -სა, მუდმივი დარჩება; ამიტომ შეგვიძლია აღვნიშნოთ

$$(2 \pi R)^2 \cdot \frac{b_2}{60} \cdot \frac{\sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)} = k,$$

მაშინ

$$V_{\Sigma} = k \cdot n,$$

(205)



თუ ტუმბო n_1 ბრუნვათა რიცხვის დროს გვაწვდიდა სითხეს რაოდენობა V'_{Σ} , ხოლო ჩვენ კი გვინდა, რომ ტუმბომ ზომების შეუცვლელად მოგვცეს V''_{Σ} რაოდენობა, მაშინ ფორმულის (205) თანახმად გვექნება:

$$V'_{\Sigma} = k \cdot h_1 \quad V''_{\Sigma} = k n_2$$

აქედან

$$\frac{V'_{\Sigma}}{V''_{\Sigma}} = \frac{k n_1}{k n_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

ე. ი. ცენტრიდანული ტუმბოს მწარმოებლობა პირდაპირ პროპორციულია ბრუნვათა რიცხვისა.

ფორმულის (201) თანახმად

$$c_2 = u_2 \frac{\sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)}$$

c_2 -ის მნიშვნელობა რომ ჩავსვათ ცენტრიდანული ტუმბოს ძირითად თეორიულ განტოლებაში (198) მივიღებთ

$$h = \frac{u_2^2 \sin \beta_2 \cos \alpha_2}{g \sin (\alpha_2 + \beta_2)}$$

და ვინაიდან

$$u_2 = \frac{2\pi R_2 n}{60}$$

ამიტომ

$$h = \left(\frac{2\pi R_2}{60} \right)^2 \cdot \frac{\sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2}{g \cdot \sin (\alpha_2 + \beta_2)} \cdot n^2$$

თუ ტუმბოს ზომებს არ შევუცვლით, მაშინ ყველა სიდიდე, გარდა n -სა, ამ უკანასკნელ ფორმულაში მუდმივი იქნება და ამიტომ შეგვიძლია აღვნიშნოთ:

$$\left(\frac{R \cdot R_2}{60} \right)^2 \cdot \frac{\sin \beta_2 \cos \alpha_2}{g \cdot \sin (\alpha_2 + \beta_2)} = i$$

მაშინ

$$h = i n^2, \quad (207)$$

ე. ი. ტუმბოს წნევა პირდაპირ პროპორციულია ბრუნვათა რიცხვის კვადრატისა. ორ წნევას შორის შეფარდება ერთსა და იმავე ტუმბოში იქნება:

$$h_1 = i n_1^2; \quad h_2 = i n_2^2; \quad \frac{h_1}{h_2} = \frac{i n_1^2}{i n_2^2} \quad \frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (208)$$

სიმძლავრის ფორმულა გვაძლევს:

$$N_{\Sigma} = \frac{Q_{\Sigma} \cdot h_{\Sigma} \cdot \gamma}{4500000 \cdot \eta} = \frac{\gamma}{4500000 \cdot \eta} = Q_{\Sigma} h_{\Sigma}$$

შაგრამ (205) ფორმულის თანახმად

$$V_{\Sigma} = k \cdot n \quad \text{და ვინაიდან} \quad Q_{\Sigma} = 60000 \quad V_{\Sigma}$$

ამიტომ

$$Q_{\Sigma} = 60000 \quad k \cdot n$$

აგრეთვე ფორმულის (207) თანახმად

$$h_{\text{ფ}} = tn^2,$$

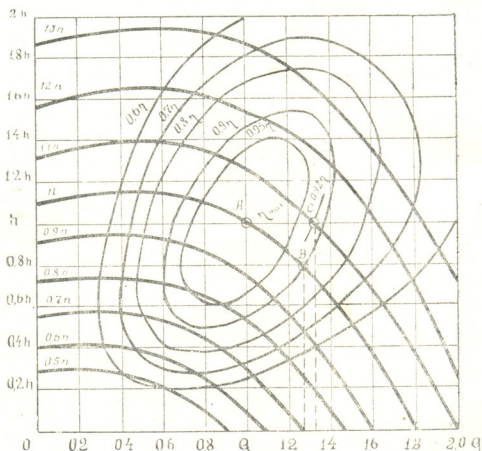
მაშასადამე,

$$h_{\text{ფ}} = \frac{\gamma}{4500000 \cdot \eta} \cdot 60000 \, k \cdot n \cdot tn^2 = \frac{\gamma}{75} k \cdot t \cdot n^3 = ktn^3,$$

ე. ი. ტუმბოს სიმძლავრე პირდაპირ პროპორციულია ბრუნვათა რიცხვის კუბისა. ერთსა და იმავე ტუმბოში ორ სიმძლავრეს შორის შემდეგი შეფარდება იქნება:

$$N_1 = k \cdot n_1^3; N_2 = ktn_2^3 \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{ktn_1^3}{ktn_2^3} \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3. \quad (209)$$

სინამდვილეში შეფარდებანი, გამოსახული ფორმულებით (200) და (209), ზუსტად არ არიან დაცული, რადგანაც ტუმბოს მაჩვენებელთა ყოველ ცვლილებას თან სდევს მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვლილება. ამი-



ნახ. 161. ცენტრიდანული ტუმბოს დახასიათება.

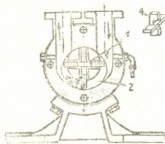
ტომ თითოეული ტიპის ტუმბოსათვის ფაქტიური შეფარდებანი უნდა მოიძებნოს ცდის საშუალებით. ტუმბოს გამოშვები ქარხნები ამ შეფარდებებს იძლევიან სპეციალური დიაგრამის სახით, რომელსაც ტუმბოს დახასიათება ჰქვია. ასეთი დახასიათების მაგალითს წარმოადგენს დიაგრამა, რომელიც მოყვანილია ნახ. 161-ზე.

ამ დიაგრამაზე მოყვანილია მრუდები, რომლებიც ერთმანეთთან აკავშირებენ ტუმბოს სხვადასხვა მაჩვენებელს. წერტილი A გვაძლევს ამ ტუმბოს მაჩვენებლებს ნორმალური მუშაობისათვის (ძიწოდება— Q , საერთო წნევა— h , ბრუნვათა რიცხვი— n , მარგი ქმედების კოეფიციენტი η_{max}). თუ რაიმე მიზეზის გამო წნევა შემცირდა და საჭირო შეიქნა მხოლოდ $0,8 h$ იმავე ბრუნვათა რიცხვის დროს, მაშინ $0,8 h$ წნევა ხაზისა და h მრუდის გადაკვეთაზე მივიღებთ წერტილ B -ს, რომლის აბსცისის მოგვეცემს ახალ მიწოდებას (დიაგრამაზე $1,25 Q$) და ტუმბოს მარგი ქმედების კოეფიციენტი კი ტოლი იქნება $0,9 \eta_{max}$. თუ იმავე წნევის h -ს დროს ტუმბოს მივემატებთ ბრუნვათა რიცხვს (n -ის მაგივრად მოგვეცემს $1,1 n$ ბრუნვას), მაშინ h -ის ხაზის და $1,1 n$ -ის მრუდის გადაკვეთაზე მივიღებთ წერტილ C -ს, რომლის აბსცისის მოგვეცემს ახალ მიწოდებას (დიაგრამაზე $1,3 Q$) და ახალი მარგი ქმედების კოეფიციენტს (დიაგრამაზე $\eta = 0,92 \eta_{max}$).

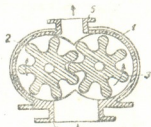
§ 21. საროტაციო ტუმბოები

საროტაციო ტუმბო წარმოადგენს ცილინდრს, რომელშიაც ერთი, ან უფრო ხშირად, ორი დგუში ბრუნავს თავის ღერძის გარშემო. დგუში სიგრძით მთლიანად ავსებს ცილინდრს, დგუშის კვეთის მოყვანილობა კი აღებულია ისეთი, რომ ცილინდრსა და დგუშს შორის რჩება განსაზღვრული მოცულობის სივრცე, რომელიც ივსება გადასაქაჩი სითხით. დგუში, თავისი ბრუნვის დროს დევნის სითხეს, ამიტომ მოძრაობის მოპირდაპირე მიმართულებით იქმნება გაუსწოება, რის გამოც ტუმბოს ცილინდრში შემწოვი მილიდან შესაწოვება სითხე.

საროტაციო ტუმბოების კონსტრუქცია მრავალია. განსხვავება მათ შორის ძირითადად იმაში მდგომარეობს, თუ როგორ არის შექმნილი სივრცე ტუმბოს ცილინდრსა და დგუშს შორის. ნახ. 162-ზე მოყვანილია სქემატური განივი ქრილი საროტაციო ტუმბოსი, რომელშიაც ღერძი (1) ტუმბოს ცილინდრის (2) მიმართ ექსცენტრიულად არის დაყენებული. ღერძს ჯვარედინად გაკეთებული აქვს გასწორივი ღარები, რომლებშიაც თავისუფლად ჩადგმულია ფირფიტები (3 და 4). ღერძის ბრუნვის დროს ცენტრიდანული ძალის მეოხებით ფირფიტა თავის ბუდიდან ამოდის და ეკვრის ცილინდრის კედლებს. ამის გამო ფირფიტა ჰკოფს დგუშის ცილინდრს ორ არედ: შემწოვ და საჭირბნ არედ. სითხის მოძრაობა ტუმბოში ისრებით არის ნაჩვენები. ნახ. 163-ზე მოყვანილია სქემატური განივი ქრილი საროტაციო ტუმბოსი, რომლის გარსაცმში (1) ბრუნავს ორი დგუში (2 და 3). ამ დგუშებს აქვთ კბილანა განივი კვეთი. დგუშები თავისი თავის ღერძზე ბრუნავენ ერთმანეთის მოპირდა-

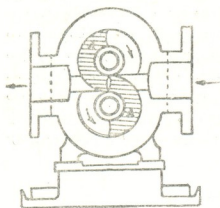


ნახ. 162. საროტაციო ექსცენტრიული ტუმბო.



ნახ. 163. საროტაციო ტუმბო ვარცკლავა დგუშებით.

პირიდ. დგუშების კბილანები მოდებული არიან ერთმანეთთან უღრიჭოდ, უზრუნველყოფს ტუმბოს შემწოვი არეს (4) საჭირხნ არესთან (5) გათიშვას. შეწოვილი სითხე ტუმბოში ორად იყოფა. ერთ ნახევარს კბილებით გადაადგილებს ერთი დგუში, მეორე ნახევარს—მეორე დგუში. საჭირხნ არეში ორი ნაკადი ისევ ერთმანეთს უერთდება. ნახ. 164-ზე მოყვანილია სქემატური განივი კრილი საროტაციო ტუმბოსი, რომელშიაც აგრეთვე ორი ღერძია და ორი დგუში (A); განსხვავება არის მხოლოდ დგუშის განივი კვეთის მოყვანილობაში.



ნახ. 164. საროტაციო ტუმბო ნახევარჭოიული დგუშებით.

საროტაციო ტუმბოს გაანგარიშება. წინათ მიღებული აღნიშვნების დამატებით აღვნიშნოთ:

F_0 — (მ²)—ტუმბოს ცილინდრის, ანუ სამუშაო სივრცის განივი კვეთი;

F_e — ტუმბოს დგუშის განივი კვეთი;

l — (მ)—ტუმბოს ცილინდრის და დგუშის სიგრძე;

n — $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}\right)$ —ტუმბოს ღერძის ბრუნვათა რიცხვი.

საროტაციო ტუმბოს მწარმოებლობა ტოლი იქნება:

$$V_{\text{გა}} = \frac{(F_0 - F_e) l \cdot n}{60} \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} \right) \quad (210)$$

ანუ

$$Q_{\text{გ}} = 1000 (F_0 - F_e) l \cdot n \eta_1 \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right), \quad (211)$$

სადაც η_1 არის მიწოდების კოეფიციენტი.

ხშირად ხმარობენ ე. წ. აესების კოეფიციენტს (ϕ), რომელიც ტოლია:

$$\phi = \frac{(F_0 - F_e) l}{F_0 l} = \frac{F_0 - F_e}{F_0},$$

აქედან

$$F_0 - F_e = \phi F_0,$$

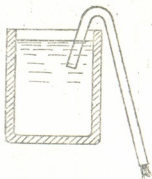
მაშინ ფორმულა (211) შემდეგნაირად გადაიწერება:

$$Q_{\text{გ}} = 1000 \cdot \phi F_0 l \cdot n \cdot \eta_1 \left(\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}} \right). \quad (212)$$

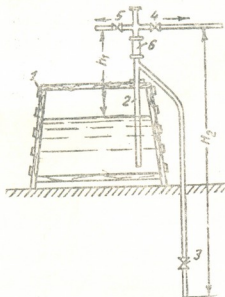
დანარჩენი გაანგარიშებები საროტაციო ტუმბოსათვის (მათ შორის სიმძლავრის განსაზღვრა) ხდება იმავე წესით და ფორმულებით, როგორც დგუშიანი ტუმბოსათვის. განსხვავება იქნება მხოლოდ იმაში, რომ საროტაციო ტუმბოს არა აქვს სარქველები და აგრეთვე ის თანაბრად მოძრაობს, საროტაციო ტუმბოსათვის, როგორც ცენტრიდანულ ტუმბოს, არ ექნება წნევის დანაკარგები სარქველების წინაღობასა და აგრეთვე ინერციის ძალის წინაღობის დასაძლევად.

§ 22. ს ი ზ ო ნ ი

სიფონის მოქმედების პრინციპი. სიფონი წარმოადგენს უმარტივეს საშუალებას ჰერკლიდან სითხის ჩამოსასხმელად. სიფონში სითხის როგორც შეწოვა, ისე მიწოდება ხდება ატმოსფერული წნევის მეოხებით. სიფონის სქემა მოყვანილია ნახ. 165-ზე. მოღუნული მილი წინასწარ ძაბრის საშუალებით ივსება სითხით. თუ ამ მილის ერთ ბოლოს ჩავყოფთ სითხეში და მეორე ბოლოს კი (რომელიც პირველ ბოლოზე უფრო დაბლა უნდა მდებარეობდეს) გავაღებთ—სითხე სიმძიმის ძალის მეოხებით მიიღიდან გადმოიღვრება; ამის გამო მილში შეიქმნება გაუხშოება და სითხის ზედაპირზე მოქმედი ატმოსფერული წნევა შეერეკავს სიფონში სითხეს, რომელიც იდგნს სიფონში განუწყვეტლად მანამდე, ვიდრე ღონეთა სიმაღლეების სხვაობა $h_1 - h_2$ საკმარისი იქნება მოძრაობის ყველა წინაღობის დასაძლევად. სიფონის წინასწარ სითხით ავსება შეიძლება მოვახდინოთ სპეციალური მოწყობილობის საშუალებით, რომლის სქემა მოყვანილია ნახ. 166-ზე. კოდში (1) ჩასმულია სითხე; სიფონის მილის (2) ერთი ბოლო ჩაყოფილია სითხეში, მეორე ბოლო კი ჰერკლის გარეთაა და მისზე დაყენებულია საცეტი (3). სიფონის მილის უმაღლეს წერტილში დაყენებულია ჩასახედი ფარანი (6). ფარანი ერთი მილის (4) საშუალებით შეერთებულია ვაკუუმტუმბოსთან, მეორე მილის (5) საშუალებით კი ატმოსფეროსთან. სიფონის ასამუშავებლად უნდა გაიღოს ონკანი (1). ვაკუუმტუმბო შეიწოვს ჰაერს, სიფონში შეიქმნება გაუხშოება, რის გამოც სიფონის მილში (2) სითხე აიწევს. როდესაც სითხე უკვე ჩასახედი ფარანში გამოჩნდება, ონკანი (4) იკეტება და ონკანი (3) იღება. სითხე სიმძიმის ძალის მეოხებით გარეთ გადმოიღვრება და, მაშასადამე, მოხდება ჰერკლიდან გარეთ სითხის განუწყვეტელი დენა. სიფონის მოქმედების შეწყვეტა ხდება ონკანის (5) გაღებით. ეს ონკანი აერთებს სიფონის მილს ატმოსფეროსთან. სიფონი იხმარება უფრო ხშირად იმ შემთხვევაში, როდესაც რაიმე მოსაზრებით არ არის სასურველი ჰერკელში ონკანის დაყენება და აგრეთვე იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა ჰერკლიდან სითხის მხოლოდ ზემო ნაწილის გადმოსხმა.



ნახ. 165. მარტივი სიფონის სქემა.



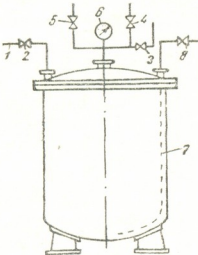
ნახ. 1-6 სიფონი, რომელშიაც ვაკუუმებულია შეკუმშული ჰაერი.

წყვეტა ხდება ონკანის (5) გაღებით. ეს ონკანი აერთებს სიფონის მილს ატმოსფეროსთან. სიფონი იხმარება უფრო ხშირად იმ შემთხვევაში, როდესაც რაიმე მოსაზრებით არ არის სასურველი ჰერკელში ონკანის დაყენება და აგრეთვე იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა ჰერკლიდან სითხის მხოლოდ ზემო ნაწილის გადმოსხმა.

§ 23. მ ო ნ ი

მონტეჟიუ წარმოადგენს მოწყობილობას სითხის გადაადგილებისათვის ჰაერის ან სხვა რაიმე ინერტული გაზის საშუალებით. მონტეჟიუს სქემა მო-

ყვანილია ნახ. 167-ზე. მონტეჟიუს ძირითადი ნაწილი—კორპუსი წარმოადგენს ცილინდრულ კოდს სფერული ფსკერითა და ხუფით. მონტეჟიუს ხუფში შედის რამდენიმე მილი: სითხის მიმღები მილი (1) ონკანით (2),



ნახ. 167. მონტეჟიუს სქემა.

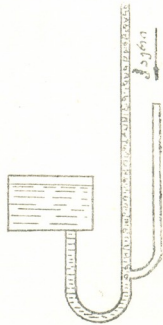
სითხის მიმწოდებელი მილი ონკანით (8), შეკუმშული ჰაერის მილსადენი ონკანით (4), ვაუხშობული ჰაერის მილსადენი ონკანით (5), ატმოსფეროსთან შემავრთებელი მილი ონკანით (3). მონტეჟიუ შემდეგნაირად მუშაობს: თუ გადასაქაჩი სითხე მოთავსებულია ჭურჭელში, რომელიც მონტეჟიუს კორპუსის ზემოთ მდებარეობს, მაშინ მონტეჟიუში სითხე შეიძლება თვითღინებით ჩაისხას. ამისათვის უნდა გაიღოს ონკანი (2). ამავე დროს უნდა გაიღოს ონკანი (3) იმისათვის, რომ კორპუსში მოთავსებული ჰაერი ატმოსფეროში გამოვიდეს. თუ თვითღინებით სითხის კორპუსში ჩასმა შეუძლებელია, მაშინ სითხე უნდა შეიწოვოს კორპუსში ვაკუუმტუმბოს საშუალებით. ამისათვის უნდა გაიღოს ონკანი (2) და ამავე დროს ონკანი

(5), ყველა დანარჩენი ონკანი გადაკეტილი უნდა იყოს. მონტეჟიუდან სითხია მიწოდებისათვის უნდა გაიღოს საკეტები (4) და (8), დანარჩენი ონკანები კი დაიკეტოს. შეკუმშული ჰაერი განდევნის სითხეს სითხის მიმწოდებელ მილში (7). შეკუმშული ჰაერის წნევას მილსადენში გვიჩვენებს მონომეტრი (6). სითხის მიწოდების შეწყვეტისათვის უნდა დაიკეტოს ყველა ონკანი და გაიღოს ონკანი (3), კოდი ატმოსფეროს შეუერთდება და სითხის მოძრაობა შეწყდება. ხუფზე იდგმება დამცველი სარკველი (სქემაზე ნაჩვენებია არ არის), რომელიც სცემს ჰარბ წნევას და ამით იცავს კოდს გახეტქვისაგან. მონტეჟიუ ფართოდაა გავრცელებული ქიმიურ მრეწველობაში, იხმარება აგრეთვე ლუდის წარმოებაშიაც.

§ 24. ე რ ლ ი უ ტ ი

ერლიფტის მოკმედების პრინციპი ნათლად ჩანს ნახ. 168-ზე მოყვანილი სქემიდან.

სითხით სავსე მილში შედის ცალკე მილის საშუალებით ჰაერი ან რომელიმე გაზი. თუ ჰაერის წნევა მეტია, ვიდრე სითხის ჰიდროსტატიკური წნევა ჰაერის შესვლის წერტილში, ჰაერი შეერევა სითხეს. ჰაერით გაჯლენთილ სითხეს უფრო ნაკლები ზედაღრითი წონა ექნება, ვიდრე წმინდა სითხეს. ამიტომ სითხისა და ჰაერის ნარევი ზიარი ჭურჭლების კანონის თანახმად უფრო მალეა აიწეეს, ვიდრე წმინდა სითხე. თუ სითხის ჰაერით გაჯლენთვის პროცესი განუწყვეტლივ მიმდინა-

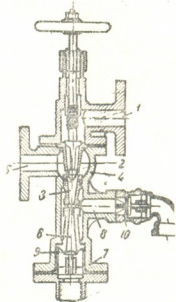


ნახ. 168. ერლიფტის სქემა.

რეობს, აგრეთვე განუწყვეტლივ იდენს სითხე მილის ზემო კვეთიდან. ლიფტი ძალიან მარტივია თავისი კონსტრუქციით; მას არა აქვს არავითარი მოძრავი მექანიზმი. ერლიფტის დიდ ღირსებას წარმოადგენს აგრეთვე ის, რომ მისი მუშაობა არ არის დამოკიდებული გადასაქაჩი სითხის ტემპერატურაზე. ერლიფტი მხოლოდ მოითხოვს საკომპრესიორო დანადგარს შეკუმშული ჰაერის მისაწოდებლად.

§ 25. ჰაველური ტუმბოები

ჰაველური ტუმბოებში სითხის გადაადგილება ხდება ორთქლის ან წყლის ჰაველის ენერგიის მეშვეობით. ამის შესაბამისად ტუმბოები არის ორთქლჰაველური და წყალჰაველური. ორთქლჰაველური ტუმბოს კრილის სქემა მოყვანილია ნახ. 169-ზე. ორთქლი შედის ტუმბოში მილის (1) საშუალებით, გადის ორთქლის საქმენში (2), სადაც ის გასასვლელი კვეთის შევიწროების გამო დიდ სიჩქარეს ღებულობს. ამ სიჩქარით ის შედის შემრევ საქმენში (3). ამ ორ საქმენს შორის არის ღრიჭო, რის გამოც შემწოვ კამერაში (4) გაუხშობა შეიქმნება და მილის (5) საშუალებით ტუმბოში გადასაქაჩი სითხე შეიწოვება: შეწოვილი სითხე შევა ღრიჭოში და ორთქლს შეერევა. ორთქლი კონდენსატად იქცევა და, მაშასადამე, გადასცემს სითხეს თავისი კინეტიკური ენერგიის ნაწილს. გარდა ამისა, საქმენის (3) კვეთი თანდათან ვიწროვდება. ამიტომ ამრევ საქმენიდან სითხე დიდი სიჩქარით გამოდის და შედის დიფუზორში (6), რომელსაც კვეთი თანდათან უფართოვდება, რის გამოც ხდება სითხის სიჩქარის წნევად გარდაქმნა. ამ წნევით სითხე შედის საკირხნ მილში (7). გაშვების დროს ზედმეტი კონდენსატი და ორთქლი ღრიჭოდან მილის (8) საშუალებით საკონდენსაციო ქსელში გადადის.

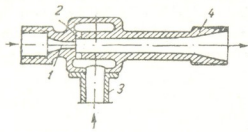


ნახ. 169. ორთქლჰაველური ტუმბო.

დიფუზორს (6) და კონდენსაციის გამყვან მილს (8) დაყენებული აქვს შექცევული სარქველები (9) და (10). ვინაიდან გადასაქაჩი სითხეს ერევა ორთქლი, ამიტომ სითხე თბება ($70 \div 90^\circ$). ორთქლჰაველური ტუმბოს გამოყენება მიზანშეწონილია იქ, სადაც სითხის მიერ ტუმბოში შექმნილი სითბო გამოუყენებლად არ დაიკარგება. გარდა ამისა, ამ ტუმბოს გამოყენება შეიძლება მხოლოდ მაშინ, როდესაც დასაშვებია გადასაქაჩი სითხის კონდენსაციით განზავება. ყველა ამის გამო, ორთქლჰაველურმა ტუმბოებმა ინჟექტორების სახელწოდებით ფართო გამოყენება ჰპოვეს ორთქლის ქვაბების (უმთავრესად ორთქლმავალზე) საკვები წყლით მომარაგების საქმეში.

წყალჰაველური ტუმბოს სქემა მოყვანილია ნახ. 170-ზე. წყალსადენიდან წნევით შედის წყალი ტუმბოში. მან უნდა გაიაროს საქმენი (1), რომლის კვეთი გზადაგზა ვიწროვდება, რის გამო წყლის სიჩქარე თანდათან მატუ-

ლობს. საქშენიდან გამომავალი წყალი ნახვრეტებიდან (2), რომლებიც შეიწოვს გადასაქაჩ სითხეს და წარიტაცებს მას საჭირბნ მილში (4). წყალქველურ ტუმბოში მოქმედებს მხოლოდ წყლის ქაელის ცოცხალი ძალა. წყალქველური ტუმბო იხმარება როგორც დროებითი დანადგარი ორმოებიდან, სარდაფებიდან წყლის ამოსაქაჩად, როდესაც აღეილი მისაწვდომია წყალსადენის წყლის მიღება.



ნახ. 170. წყალქველური ტუმბო.

§ 26. მ ა ზ ა ლ ი თ ე ბ ი

მაგალითი 39. განვსაზღვროთ ცალმაგქმედების დგუშისანი ტუმბოს ძირითადი ზომები მუშაობის შემდეგი პირობებისათვის: ტუმბომ უნდა მიაწოდოს წყალი რაოდენობით $Q=1200 \frac{\text{მ}^3}{\text{წთ}}$ და განავითაროს წნევა $h=50 \text{ მ}$.

ამოხსნა: 1. ავილოთ მიცემის კოეფიციენტი $\eta_1=0,9$ (მცირე მწარმოებლობის გამო ვიღებთ მცირე η_1 -ს).

2. ტუმბო ნელმავალად უნდა მივიჩნიოთ, ამიტომ ვიღებთ

$$\text{ბრუნებათა რიცხვი } n=45 \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}},$$

$$\text{დგუშის საშუალო სიჩქარე } C_{საშ}=0,5 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}.$$

3. დგუშის სელა ტოლი იქნება:

$$S=\frac{30 \cdot C_{საშ}}{n}=\frac{30 \cdot 0,5}{45}=0,33 \text{ მ}.$$

4. დგუშის ფართი ტოლი უნდა იყოს:

$$F=\frac{Q_{\text{ფ}}}{\eta_1 \cdot s \cdot n \cdot 1000}=\frac{1200}{0,9 \cdot 0,33 \cdot 45 \cdot 1000} \cong 0,09 \text{ მ}^2.$$

დგუშის დიამეტრი:

$$D=\sqrt{\frac{4F}{\pi}}=\sqrt{\frac{4 \cdot 0,09}{3,14}} \cong 0,105 \text{ მ}.$$

5. შევამოწმოთ შეფარდება $\varphi=\frac{S}{D}$

$$\varphi=\frac{S}{D}=\frac{0,33}{0,105} \cong 3,2, \text{ რაც მისაღებია.}$$

6. განვსაზღვროთ მრუდმხარა (იხ. გვ.) მექანიზმის ზომები.
მრუდმხარას რადიუსი:

$$r = \frac{s}{2} = \frac{0,33}{2} = 0,165 \text{ მ.}$$

ბარბაცას სიგრძე:

$$l = 5r = 5 \cdot 0,165 = 0,285 \text{ მ.}$$

7. ტუმბოსათვის საჭირო სიმძლავრე ფორმულის (194) თანახმად ტოლი იქნება:

$$N = \frac{Q_{\text{ფ}} \cdot h_{\text{ფ}} \cdot \gamma}{45\,000\,000 \cdot \eta}$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

$\eta_1 = 0,9$, ჰიდრაულიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი ავილთ $\eta_2 = 0,42$ და მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\eta_3 = 0,94$. აქედან ტუმბოს საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლი იქნება

$$\eta = 0,9 \cdot 0,42 \cdot 0,94 \approx 0,77$$

და საჭირო სიმძლავრე:

$$N = \frac{1200 \cdot 50 \cdot 1000}{4\,500\,000 \cdot 0,77} \approx 17,4 \text{ ც. d.}$$

ანუ

$$N = \frac{17,4}{1,36} \approx 12,8 \text{ კვ.}$$

ელმოტორთა კატალოგის მიხედვით ვირჩევთ ელმოტორს, რომელსაც აქვს მაჩვენებლები:

$$N = 13,8 \text{ კვ; } n = 940 \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ.}}$$

მაშასადამე, ელმოტორიდან ტუმბოზე უნდა მოეწყოს გადაცემა. გადაცემის საერთო რიცხვით:

$$i = \frac{940}{45} \approx 21.$$

8. ჰაერის ხუფის მოცულობა განვსაზღვროთ იმ ვარაუდით, რომ ხუფის უთანაბრობის კოეფიციენტი ტოლი იყოს $\delta = 0,05$.
ფორმულის (192a) თანახმად:

$$\frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{საშ}}} = \delta$$

და ფორმულის (190) თანახმად:

$$V_{max} - V_{min} = 0,55 F \cdot S$$

აქედან ხუფის მოცულობა ტოლი უნდა იყოს:

$$V_{საშ} = \frac{V_{max} - V_{min}}{\delta} = \frac{0,55 F \cdot S}{\delta} = \frac{0,55 \cdot 0,09 \cdot 0,33}{0,05} = 0,667 \text{ მ}^3.$$

მაგალითი 40. განვსაზღვროთ ცენტრიდანული ტუმბოს ძირითადი ზომები მუშაობის შემდეგი პირობებისათვის: ტუმბომ უნდა მიაწოდოს წყალი რაოდენობით $15000 \frac{\text{მ}^3}{\text{წთ}}$ წნევით 12 მ.

ამოხსნა: 1. მივიღოთ, რომ ტუმბო უშუალოდ შეერთებულია ელმოტორის ღერძთან:

$$h_a = h_b = 500 \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}.$$

2. მივიღოთ, რომ წყლის მოძრაობის სიჩქარე შემწოვ მილში და წყლის მოძრაობის აბსოლუტური სიჩქარე ბორბალზე შესვლისას ტოლი არიან:

$$c_0 = c_1 = 2 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}.$$

3. ავიღოთ მიცემის კოეფიციენტი $\eta_1 = 0,95$, მაშინ წყლის საანგარიშო ხარჯი ტოლი იქნება:

$$Q = \frac{Q_{\text{მ}}}{\eta_1} = \frac{15000}{1000 \cdot 60 \cdot 0,95} = 0,262 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}}.$$

4. შემწოვი მილის კვეთი ტოლი უნდა იყოს:

$$F_0 = \frac{Q}{c_0} = \frac{0,262}{2} = 0,131 \text{ მ}^2.$$

ვინაიდან შემწოვი მილის კვეთის ნაწილი ღერძს უჭირავს, F_0 ამ მილის ცოცხალ კვეთად უნდა ჩაეთვალოს. თუ მივიღებთ, რომ ღერძს უჭირავს შემწოვი მილის კვეთის 15% , მაშინ ადგილი უნდა ჰქონდეს ტოლობას:

$$F_0 = 0,85 \frac{\pi d_0^2}{4},$$

საიდანაც შემწოვი მილის დიამეტრი ტოლი უნდა იყოს:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 F}{0,85 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,131}{0,85 \cdot 3,14}} = 0,445 \text{ მ} = 445 \text{ მმ}.$$

5. სამუშაო ბორბლის შესასვლელი დიამეტრი:

$$D_1 \approx 1,05 d_0 = 1,05 \cdot 445 \approx 665 \text{ მმ.}$$

6. სამუშაო ბორბლის გამოსასვლელი დიამეტრი:

$$D_2 = (1,5 \div 3) D_1 = 1,5 \cdot 465 \approx 700 \text{ მმ.}$$

7. წრიული სიჩქარე ბორბლის შესასვლელში:

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,465 \cdot 500}{60} = 12,2 \frac{\text{მ}}{\text{წმ.}}$$

ნიჩბის დახრის კუთხე ბორბლის შესასვლელში:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1}{U_1} = \frac{2}{n_1 2} = 0,64; \beta_1 \approx 10^\circ.$$

8. წრიული სიჩქარე ბორბლიდან გასასვლელში:

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,7 \cdot 500}{60} = 17,4 \frac{\text{მ}}{\text{წმ.}}$$

მივიღოთ ტუმბოს ჰიდრავლიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\eta_2 = 0,6$, ავიღოთ აგრეთვე

$$\alpha_2 = 11^\circ, \operatorname{tg} \alpha_2 = 0,176$$

მაშინ

$$\operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \beta_2 = \frac{\eta_2 \cdot U_2^2}{h_{\text{ფ}} \cdot g} - 1,$$

საიდანაც

$$0,176 \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 = \frac{0,6 \cdot 17,6^2}{12 \cdot 9,81} - 1,$$

აქედან

$$\operatorname{ctg} \beta_2 = 2,8;$$

მაშასადამე, ფრთის დახრის კუთხე ბორბლიდან გასასვლელში ტოლი უნდა იყოს:

$$\beta_2 = 20^\circ.$$

9. წყლის აბსოლუტური სიჩქარე ბორბლიდან გამოსვლისას ტოლი იქნება:

$$c_2 = U_2 \frac{\sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)} = 17,4 \frac{0,342}{0,5} = 12 \frac{\text{მ}}{\text{წმ.}}$$

10. სამუშაო ბორბლის სიგანეებს განესაზღვრავთ ტოლობიდან:

$$V_{\text{ფ}} = 2 \pi \cdot R_1 \cdot b_1 \cdot c_1 = 2 \pi R_2 \cdot b_2 \cdot c_2 \cdot \sin \alpha_2;$$

აქედან ბორბლის სიგანე შესასვლელში ტოლი იქნება:

$$b_1 = \frac{V_{\text{გზ}}}{2\pi \cdot R_1 \cdot c_1} = \frac{0,262}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,232 \cdot 2} = 0,09 \text{ მ} = 90 \text{ მმ.}$$

ბორბლიდან გასასვლელში კი:

$$b_2 = \frac{V_{\text{გზ}}}{2\pi R_2 \cdot c_2 \cdot \sin \alpha_2} = \frac{0,262}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,35 \cdot 12 \cdot 0,174} = 0,06 \text{ მ} = 60 \text{ მმ.}$$

11. ტუმბოსათვის საჭირო სიმძლავრე ტოლია:

$$N = \frac{Q \cdot h \cdot \gamma}{4500000 \eta}$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,95 \cdot 0,610,99 = 0,513$$

$$N = \frac{15000 \cdot 12 \cdot 1000}{4500000 \cdot 0,513} \approx 70 \text{ ც. დ.}$$

ანუ

$$N = \frac{70}{1,36} = 51 \text{ კვ.}$$

მაგალითი 41. ცენტრიდანული ტუმბო აკეთებს 1000 $\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$, აწვდის 500 $\frac{\text{ლ}}{\text{წთ}}$ წყალს წნევით 20 მმ. წყ. სვ. და სჭირდება სიმძლავრე 6 ც. დ. როგორ შეიცვლება ტუმბოს მუშაობის მაჩვენებლები, თუ ტუმბოს მივცემთ 1200 $\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$?

ამოხსნა 1. მწარმოებლობა ტუმბოსი ტოლი იქნება:

$$Q_2 = Q_1 \frac{h_2}{h_1} = 500 \frac{1200}{1000} = 600 \frac{\text{ლ}}{\text{წთ.}}$$

2. ტუმბო განავითარებს წნევას

$$h_2 = h_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 = 20 \left(\frac{1200}{1000} \right)^2 = 20 \cdot 1,44 = 28,8 \text{ მმ. წყ. სვ.}$$

3. ტუმბოს დასჭირდება სიმძლავრე:

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 = 6 \left(\frac{1200}{1000} \right)^3 = 6 \cdot 1,73 = 10,4 \text{ ც. დ.}$$

თავი მესამე

გაზოგრივ მასალათა გადაზიდვა

§ 27. გაზის მოძრაობისა და შეკუმშვის პირობები

გაზის მოძრაობის პირობები. როგორც ეს ზემოთ გვექონდა აღნიშნული (§ 3), გაზების გადაადგილება აუცილებლად დახურულ მილსადენებში უნდა ხდებოდეს. გაზების გადაადგილებისათვის საჭიროა, რომ მილსადენის თავსა და ბოლოში არსებობდეს წნევათა სხვაობა. ამ წნევათა სხვაობას, შეგვიძლია შემდეგი სამი წესის საშუალებით მივაღწიოთ:

1) გაზის ხვედრით წონათა სხვაობა, რაც გამოწვეულია გაზის ტემპერატურათა სხვაობით,

2) ინჟექცია და

3) გაზის შეკუმშვა ან გაუხშობა.

პირველი წესი ფართოდ იხმარება საცეცხლე დანადგარებში, კერძოდ, საქვებზე დანადგარებში, სადაც ხდება ნამწვი გაზების ატმოსფეროში განდევნა (ბუნებრივი წევა). ამ შემთხვევაში ცივი ჰაერი, რომელიც საცეცხლეში შედის, როგორც უფრო მძიმე, ატმოსფეროში დევნის საკვამლე მილში მოთავსებულ ნამწვ გაზებს. გაზის ამამოძრავებელი ძალა ამ შემთხვევაში პროპორციულია ხვედრითი წონების სხვაობისა ანუ საბოლოო ანგარიშში ტემპერატურათა სხვაობისა და აგრეთვე საკვამლე მილის სიმაღლისა. ასეთივე წესით ხდება სათავსებში ჰაერის გამოცვლა ანუ ე. წ. ბუნებრივი ვენტილაცია.

მეორე წესის (ინჟექციის) პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: მილსადენში გაზის მოძრაობის მიმართულებით მაღალი წნევის ორთქლი ან ჰაერი აქციალური ნაცმიდან შეიშვება მილსადენში. ეს ჰავლი აწევბა გარემოცულ ჰაზს, დევნის მას წინ, ჰქმნის უკან გაუხშობბას და ამით უზრუნველყოფს მილსადენში გაზის მუდმივ დინებას.

მესამე წესი წარმოადგენს სპეციალური მანქანებით გაზის შეკუმშვას ან გაუხშობას, რის შედეგად იქმნება წნევათა სხვაობა მილსადენის ბოლოს და თავს შორის, რაც უზრუნველყოფს გაზის გადაადგილებას მაღალი წნევის მხრიდან მცირე წნევის მხრისაკენ.

გაზის შეკუმშვის პირობები. როდესაც წნევა ძალიან მცირეა (არა უმეტეს წყლის სვეტის 1000 მმ-სა), დიდი შეცდომა არ იქნება, თუ გაზს შეუკუმშვად ჩაეთვლით. უფრო დიდი წნევის დროს გაზის ხვედრითი წონა იმდენად იცვლება, რომ ეს უკვე საგრძნობლად მოქმედებს მანქანის მუშაობა-



ზე, რასაც ანგარიში უნდა გავუწიოთ. გაზის შეკუმშვის, როგორც ცნობილია, თან მოჰყვება სითბოს გამოყოფა. ღიდი მნიშვნელობა აქვს იმას—ეს სითბო შორდება თუ არა გაზს მისი შეკუმშვის პროცესში. ამის მიხედვით შეკუმშვის პროცესი ორნაირია:

1. შეკუმშვა მუდმივი ტემპერატურის დროს, ე. ი. როდესაც კუმშვის შედეგად გამოყოფილი სითბო განუწყვეტლად და მთლიანად შორდება გაზს. ასეთ პროცესს ეწოდება იზოთერმული შეკუმშვა.

2. შეკუმშვა ისეთ პირობებში, როდესაც გამოყოფილი სითბო მთლიანად რჩება გაზში და აღიღებს მის ტემპერატურას. ასეთ შეკუმშვას ადიაბატური შეკუმშვა ეწოდება.

თერმოდინამიკიდან ცნობილია, რომ მუშაობა, რომელიც საჭიროა გაზის იზოთერმული შეკუმშვისათვის, ტოლია:

$$L_{\text{იზ}} = 10\,000 \cdot V_1 \cdot p_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{კგ} \cdot \text{მ}), \quad (213)$$

სადაც: V_1 —(მ³) არის გაზის საწყისი მოცულობა;

p_1 — $\left(\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}\right)$ —გაზის წნევა შეკუმშვამდე;

p_2 — $\left(\frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2}\right)$ —გაზის წნევა შეკუმშვის შემდეგ.

თუ იკუმშება ჩვეულებრივი ატმოსფერული ჰაერი, მაშინ $p_1 = 1 \text{ atm}$ და, მაშასადამე, მუშაობა ტოლი იქნება:

$$L_{\text{იზ}} = 10\,000 \cdot V_1 \ln p_2. \quad (213a)$$

ადიაბატური შეკუმშვის დროს კი მუშაობა ტოლია:

$$L_{\text{ად}} = 10\,000 \cdot V \cdot p_1 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{კგ} \cdot \text{მ}, \quad (214)$$

სადაც $k = \frac{c_p}{c_v}$ არის ადიაბატის მაჩვენებელი, რომელიც წარმოადგენს შეფარდებას გაზის სითბოტევადობისა მუდმივი წნევის დროს მისი სითბოტევადობისადმი მუდმივი მოცულობის დროს.

თუ გაზი არ იკუმშება (ან უფრო სწორად რომ ვთქვათ, ისე მცირედ იკუმშება, რომ ეს შეკუმშვა შეიძლება ნულად ჩავთვალოთ), მაშინ $V_1 = V_2 = V$ და მუშაობა ტოლი იქნება:

$$L = V(p_2 - p_1) \cdot 10\,000 \quad (\text{კგ} \cdot \text{მ}). \quad (215)$$

თუ $p_1 = 1$ ატმ, მაშინ მუშაობა ტოლი იქნება:

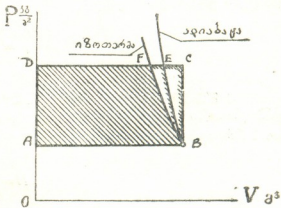
$$L = V(p_2 - 1) \cdot 10\,000 \quad (\text{კგ} \cdot \text{მ}) \quad (215a)$$

ანუ

$$L = V \cdot h \quad (\text{კგ} \cdot \text{მ}), \quad (216)$$

სადაც: h —(წყ. სვ. მმ) არის წნევათა სხვაობა. გაზის შეკუმშვის პროცესზე გრაფიკულად გამოსახულია pV დიაგრამაზე (ნახ. 171), სადაც ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია წნევები— p — $\left(\frac{\text{კმ}}{\text{სმ}^2}\right)$ და აბსცისთა ღერძზე კი—მოცულობანი— V — (მ^3) .

ამ დიაგრამაზე იზოთერმული შეკუმშვა p_1 -დან p_2 -მდე, ე. ი. მოცულობის შემცირება ხდება მრუდის BF -ის მიხედვით და ამიტომ ამ მრუდს იზოთერმა ეწოდება. შეკუმშვის მუშაობა კი, ანალიზურად გამოსახული განტოლებით (213) ამ დიაგრამაზე გრაფიკულად გამოისახება $ADFB$ A ფიგურის ფართობით. ადიაბატური შეკუმშვა იმავე წნევების (p_1 -დან p_2 -მდე) ფარგ-
ლებში ხდება მრუდის BE -ს მიხედვით, რომელსაც ადიაბატა ეწოდება. მუშაობა კი ანალიზურად გამოსახული განტოლებით (214) ამ დიაგრამაზე გრაფიკულად გამოისახება $ADEBA$ ფიგურის ფართობით. თუ გაზი არ იკუმშება (ე. ი. $V = \text{const}$), მაშინ მუშაობა ანალიზურად გამოსახული განტოლებით (215) ამ დიაგრამაზე გამოისახება სწორკუთხედ $ADCBA$ ფართობით. როგორც იზოთერმა, ისე ადიაბატა შეიძლება ერთი რიგით განესაზღვროთ:



ნახ. 171. გაზის შეკუმშვის მრუდეები.

$$pV^k = \text{const.} \quad (217)$$

იზოთერმა წარმოადგენს ცალგვერდა ჰიპერბოლას, რომლისთვისაც $k=1$. ადიაბატა კი წარმოადგენს ზოგად ჰიპერბოლას, რომლისთვისაც ჰაერის შემთხვევაში $k=1,41$. სინამდვილეში გაზის შეკუმშვა არ ხდება არც იზოთერმით და არც ადიაბატით. რეალურ პირობებში გაზის შეკუმშვა ხდება ისეთი მრუდეების მიხედვით, რომლებიც pV დიაგრამაზე იზოთერმასა და ადიაბატას შორის მდებარეობენ, სახელდობრ პოლიტროპით. ამ მრუდეებისათვის k მერყეობს $1 \div 1,41$ ჰაერისათვის. მაშასადამე, იზოთერმა და ადიაბატა წარმოადგენენ ამ მრუდთა ჯგუფის ორ განაპირა შემთხვევას. იმისდა მიხედვით, თუ როგორ მიმდინარეობს სითბოს გამოყოფა გაზიდან, მისი შეკუმშვის პროცესის მრუდი რეალურ პირობებში მეტად ან ნაკლებად უახლოვდება ან ადიაბატას ან იზოთერმას მხოლოდ არასდროს მათ არ დემთხვევა. ამ მრუდეებს საერთოდ პოლიტროპა ეწოდება. ისინი განისაზღვრებიან განტოლებით (217). მაშასადამე, ადიაბატა და იზოთერმაც პოლიტროპის ზღვრულ კერძო შემთხვევებს წარმოადგენენ.

თუ შევადარებთ ერთმანეთს განტოლებებს (213) და (214), დავრწმუნდებით, რომ ერთი და იმავე შეკუმშვის ეფექტის მისაღებად იზოთერმულ პროცესში უფრო ნაკლები მუშაობაა საჭირო, ვიდრე ადიაბატურ პროცესში. ეს ნათლად ჩანს აგრეთვე დიაგრამიდან (ნახ. 171), სადაც $ADFB$ A ფიგურის ფართი $ADEBA$ ფიგურის ფართზე ნაკლებია. ეს განსხვავება მუშაობის სიდიდეში მით უფრო

მეტია, რაც მეტია შეკუმშვის ხარისხი, ე. ი. რაც უფრო მეტია შეფარდება $\frac{p_2}{p_1}$

თუ კომპრესორი გაზების გაუხშოებაზე მუშაობს (ვაკუუმტუმბო), მუშაობა, რომელიც საჭიროა გაზის გაუხშოებისათვის, განისაზღვრება იმავე წესით. თუ, მაგალითად, ვაკუუმტუმბო შეიწოვს გაზს წნევით $p_1 = 0,1 \text{ at}$ და გარეთ განდენის მას წნევით $p_2 = 1 \text{ at}$, მაშინ მუშაობა, რომელიც დაიხარჯება ვაკუუმტუმბოში გაზის გაუხშოებაზე, ტოლი იქნება იმ მუშაობის, რომელიც იხარჯება კომპრესორში გაზის შეკუმშვაზე წნევიდან $p_1 = 1 \text{ at}$ წნევამდე $p_2 = 10 \text{ at}$, რადგან ორივე შემთხვევაში მანქანაში საბოლოო და საწყის წნევათა შეფარდება ერთი და იგივეა:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{10}{1} = \frac{1}{0,1} = 10.$$

თუ გვეცოდინება ის თეორიული მუშაობა, რომელიც საჭიროა გაზის კომპრესორში შეკუმშვისათვის, ან ვაკუუმტუმბოში გაუხშოებისათვის, საჭირო სიმძლავრეს განვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$N = \frac{L}{75 \cdot \eta}, \quad (218)$$

სადაც L —(კგ. მ) არის თეორიული მუშაობა, რომელიც საჭიროა გაზის შეკუმშვისათვის ან გაუხშოებისათვის, გაანგარიშებული ზემომოყვანილი ფორმულების თანახმად;

η —მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

§ 28. საშუალებანი გაზის შეკუმშვისათვის

§ 3-ში მოყვანილი იყო კლასიფიკაცია იმ მანქანებისა, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია გაზობრივი მასალების გადაზიდვა. ყველა ეს მანქანა კუმშავს გადასაზიდ გაზს და ამით ჰქმნის მოძრაობისათვის საჭირო წნევათა სხვაობას. წინა პარაგრაფში ჩვენ დავრწმუნდით, რომ მუშაობა, რომელიც საჭიროა გაზის შეკუმშვის პროცესისათვის, პირდაპირ პროპორციულია წნევათა შეფარდებისა, ანუ შეკუმშვის ხარისხისა: $\frac{p_2}{p_1}$. ეს უკანასკნელი კი უნდა

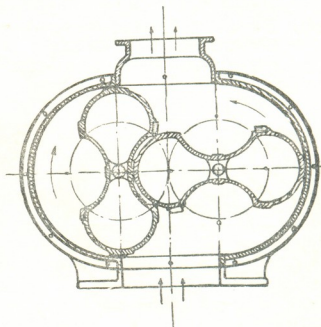
ავიღოთ იმისდა მიხედვით, თუ რა წნევა არის საჭირო, რომ გაზის განსაზღვრული რაოდენობა მივაწოდოთ მილსადენის საშუალებით დროის ერთეულში (მსგავსად იმისა, როგორც მილსადენებში სითხეებისათვის). ზემოთ (§ 3) მოყვანილი იყო გაზის შემკუმშავი მანქანების კლასიფიკაცია შეკუმშვის კოეფიციენტის მიხედვით, რომლის თანახმად ეს მანქანები სამ ჯგუფად იყოფა:

1) კომპრესორები და ვაკუუმტუმბოები, 2) ჰაერსაბერები და ექსპაუსტერები და 3) ენტრილატორები და ექსპაუსტერები. გაზის მხოლოდ გადაადგილებისათვის ძალიან იშვიათად არის საჭირო ისეთი დიდი წნევები, რომლებსაც კომპრესორები და ვაკუუმტუმბოები ავითარებენ. ამიტომ ეს მანქა-

ნები იხმარება უფრო ხშირად მაშინ, როდესაც გაზის შეკუმშვა ან გაუხშობა საჭიროა რაიმე სხვა მიზნებისათვის და არა გაზის გადაადგილებისათვის. მელდინეობაში, მაგალითად, კომპრესორი გამოიყენება სამაცივრო დანადგარში მაცივარი აგენტის შეკუმშვისათვის, ვაკუუმტუმბო კი ღვინის ტკბილის ბადაგად ხარშვის დროს ვაკუუმპარატში გაუხშობის შესაქმნელად. ამიტომ კომპრესორებს და ვაკუუმტუმბოებს ჩვენ განვიხილავთ ამ წიგნის შემდგომ ნაწილებში, სადაც განხილული იქნება მაცივრები და ვაკუუმპარატები. აქ ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ ჰაერსაბერებსა და ვენტრილატორებს, რომელთა დანიშნულებას მეტწილად გაზების გადაადგილება შეადგენს.

§ 29. ჰ ა ე რ ს ა ბ ე რ ე ბ ი

ჰაერსაბერები არის ორი ტიპის: 1) საროტაციო და 2) ცენტრიდანული. ცენტრიდანულ ჰაერსაბერს ხშირად ტურბოჰაერსაბერს უწოდებენ. ჰაერსაბერები მუშაობენ იმავე პრინციპზე, როგორც საროტაციო ტუმბოები და ცენტრიდანული ტუმბოები სითხეებით — სათვის, იმ განსხვავებით, რომ ტუმბოებში ჩვენ სითხეებს შეუკუმშვად ვთვლით, ჰაერსაბერებში კი ანგარიშს ვუწევთ გაზის ხვედრითი წონის გადიდებას გაზის შეკუმშვასთან დაკავშირებით. ამის გამო ჰაერსაბერის მოცულობითი მწარმოებლობა დამოკიდებული ხდება საბოლოო წნევაზე, რომელსაც გაზი მიიღებს ჰაერსაბერში. ამიტომ მიღებულია ჰაერსაბერის მოცულობითი მწარმოებლობის განსაზღვრა შეწოვილი ჰაერის მოცულობით.



ნახ. 172. საროტაციო ჰაერსაბერი.

საროტაციო ჰაერსაბერები. ჰაერსაბერების განივი კვეთების სქემები მოყვანილია ნახ. ნახ. 172 და 173. ყოველივე, რაც ითქვა საროტაციო ტუმბოებზე (§ 21), ვრცელდება საროტაციო ჰაერსაბერებზედაც. კერძოდ, ჰაერსაბერის მწარმოებლობა შეიძლება განესაზღვროთ ფორმულით (210):

$$V_{\text{გა}} = \frac{F_{\text{ფ}} - F_{\text{ე}}}{60} \cdot l \cdot n \left(\frac{P_{\text{ფ}}}{P_{\text{ე}}} \right),$$

აქაც შეგვიძლია შემოვიღოთ ავსების კოეფიციენტი ϕ , რომელიც ტოლია:

$$\phi = \frac{F_{\text{ფ}} \cdot l - F_{\text{ე}} \cdot l}{F_{\text{ფ}} \cdot l} = \frac{F_{\text{ფ}} - F_{\text{ე}}}{F_{\text{ფ}}};$$

$$F_{\text{ვ}} - F_{\text{გ}} = \psi \cdot F_{\text{ვ}},$$

და, მაშასადამე, საბოლოოდ მწარმოებლობა ტოლი იქნება:

$$V_{\text{ვგ}} = \frac{\psi \cdot F_{\text{ვ}} \cdot L \cdot n \cdot \eta_1}{60} \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}} \right). \quad (219)$$

სადაც η_1 არის მიწოდების კოეფიციენტი, რომელიც ჰაერსაბერებში მერყეობს $0,4 \div 0,9$.

საჭირო სიმძლავრე დამოკიდებულია საბოლოო წნევაზე და აგრეთვე იმაზე, თუ როგორ მიდის შეკუმშვის პროცესი. ის განისაზღვრება ზოგადი ფორმულით (218):

$$N = \frac{L}{75 \cdot \eta}.$$

თუ ჰაერსაბერს აქვს გაცივება, შეკუმშვა შეგვიძლია მივიჩნიოთ იზოთერმულად, წინააღმდეგ შემთხვევაში—ადიაბატურად. ამის შესაბამისად სიმძლავრის ფორმულებიც იქნება შემდეგი:

1) როდესაც $p_2 < 0,1 \text{ atm}$, გაზს შეუკუმშავად ვთვლით და იხმარება ფორმულა:

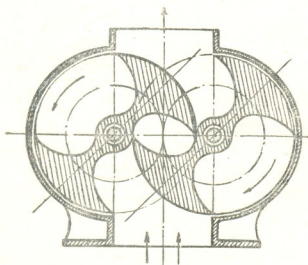
$$N = \frac{V \cdot h}{75 \cdot \eta}, \quad (220)$$

სადაც $L = V \cdot h$ ფორმულის (216) თანახმად.

2) ადიაბატური შეკუმშვის დროს

$$N = \frac{L_{\text{ად}} \cdot G}{75 \cdot \eta}, \quad (221)$$

სადაც: $L_{\text{ად}}$ —(კგ.მ) არის მუშაობა, რომელიც საჭიროა ერთი კგ გაზის შეკუმშვისათვის; G —(კგ) — წონითი რაოდენობა გაზისა, რომელიც იკუმშება ერთ წამში.



ნახ. 173. სარტატციო ჰაერსაბერი.

η —ჰაერსაბერის საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

$L_{\text{ად}}$ უნდა გავიანგარიშოთ ფორმულის (214) მიხედვით.

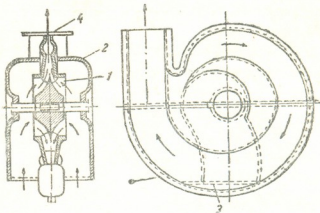
3) იზოთერმული შეკუმშვის დროს:

$$N = \frac{L_{\text{იზ}} \cdot G}{75 \cdot \eta}, \quad (222)$$

სადაც $L_{\text{იზ}}$ —(კგ. მ) არის მუშაობა, რომელიც საჭიროა ერთი კგ გაზის იზოთერმული შეკუმშვისათვის ფორმულის (217) თანახმად.

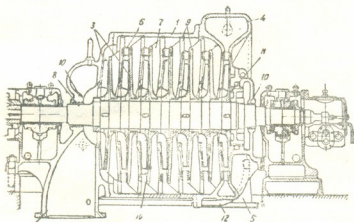
დანარჩენ ასოებს აქვთ იგივე მნიშვნელობა, რაც ფორმულაში (221).

ცენტრიდანული ჰაერსაბერები ანუ ტურბოჰაერსაბერები. თავისი მუშაობის პრინციპით ტურბოჰაერსაბერები ისე ემსგავსებიან ცენტრიდანულ ტუმბოებს, როგორც საროტაციო ჰაერსაბერები საროტაციო ტუმბოებს. მათ შორის განსხვავებაც სწორედ იმაშივე მდგომარეობს: ტუმბოებში ჩვენ სითხეებს შეუქუმშავად ვთვლით, ჰაერსაბერებში კი იძულებული ვართ ანგარიში გავუწიოთ ჰაერის შეკუმშვას. ცენტრიდანული ტუმბოების მსგავსად, ცენტრიდანული ჰაერსაბერები არიან როგორც ერთსაფეხურიანი, ისე მრავალსაფეხურიანიც. ერთსაფეხურიანი ტურბოჰაერსაბერის სქემა მოყვანილია ნახ. 174-ზე. ფრთებიანი სამუშაო



ნახ. 174. ერთსაფეხურიანი ტურბოჰაერსაბერი.

თვალი (1) დაყენებულია ღერძზე, რომელიც ტრიალებს გარსაცმში (2). სამუშაო თვლის ბრუნვის შედეგად შეიკმნება ცენტრიდანული ძალა, რომელიც



ნახ. 175. მრავალსაფეხურიანი ტურბოჰაერსაბერი,

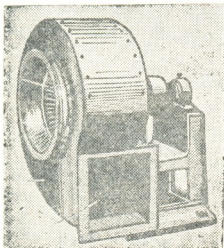
პერიფერიისაკენ გადაადგილებს ჰაერს. ამის გამო მილაკში (3) შეიკმნება გაუხშოება (შემწოვი მილი). ბორბლიდან გადასვლის შემდეგ ჰაერი ღიფუზორის გავლით შევა დამკირხნ მილში (4), საიდანაც გადავა ჰაერის ქსელში. ზოგიერთ მანქანაში ღიფუზორი თამაშობს აგრეთვე მომმართველი აპარატის როლსაც (ნახ. 175 — მრავალსაფეხურიანი ტურბოჰაერსაბერი).

§ 30. ვ ე ნ ტ ი ლ ა ტ ო რ ე ბ ი

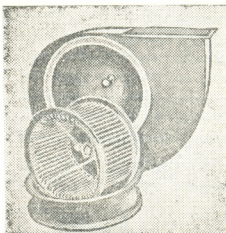
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მანქანას, რომელიც გადაადგილებს გაზებს და ავითარებს წნევას არა უმეტეს 1000 მმ. წყ. სვ, ანუ 0,1 atm, ვენტილატორი ეწოდება. ვენტილატორებს შორის ყველაზე უფრო გავრცელებულია ცენტრიდანული ვენტილატორები (ნახ. 176). ვინაიდან წნევა, რომელსაც ვენტილატორი ავითარებს, მცირეა, ამიტომ ჰაერი ვენტილატორში შეგვიძლია შეუქუმშავად ჩავთვალოთ. ამ შემთხვევაში ცენტრიდანული ვენტილატორების მუშაობა ზუსტად ემსგავსება ცენტრიდანული ტუმბოების მუშაობას. განსხვავება იქნება მხოლოდ გადასაადგილებელი მასალების (სითხისა და

გაზის) ხვედრითს წონებში. წნევის მიხედვით ცენტრიდანული ტუმბოები სამუშაოდ იყოფა:

- 1) დაბალი წნევის ვენტილატორები (წნევა წყლის სვეტის 100 მმ-მდე);
- 2) საშუალო წნევის ვენტილატორები (წნევა წყლის სვეტის $150 \div 200$ მმ-მდე);
- 3) მაღალი წნევის ვენტილატორები (წნევა წყლის სვეტის $200 \div 1000$ მმ-მდე).



ნახ. 176. ცენტრიდანული ვენტილატორი.

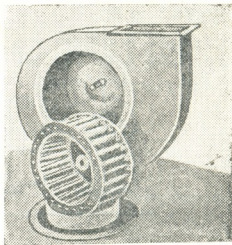


ნახ. 177. დაბალი წნევის ცენტრიდანული ვენტილატორი.

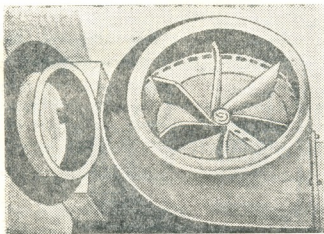
სხვადასხვა ჯგუფის ვენტილატორებს თავ-თავისი განმასხვავებელი ნიშნები აქვს, ასე რომ თუ რა წნევის (დაბალი, საშუალო ან მაღალი) არის ვენტილატორი, ამის გამოცნობა გარეგნულადაც შეიძლება: დაბალი წნევის ცენტრიდანული ვენტილატორები (ნახ. 177) იხმარება უფრო ხშირად ვენტილაციისა და გათბობისათვის, სადაც საჭიროა დიდი რაოდენობის ჰაერის მიწოდება შედარებით მცირე წნევით. ამ ვენტილატორს აქვს განიერი სამუშაო თვალი. თვალზე დამაგრებულ ფრთათა რაოდენობა შეადგენს მცირე (300 მმ-მდე) დიამეტრის თვლებისათვის 48 ცალს და უფრო დიდი დიამეტრის თვლებისათვის—64 ცალს. მწარმოებლობის მიხედვით, ვენტილატორები სხვადასხვა ზომის მზადდება. მათი სიდიდე ნომრით აღინიშნება (2-დან 20-მდე). მიღებულია, რომ დაბალი წნევის ვენტილატორის ნომერი უდრის სამუშაო თვლის გარე დიამეტრის ზომაში (მილიმეტრებით) შემავალი ასეულების რაოდენობას. მაგალითად, თუ დაბალი წნევის ცენტრიდანულ ვენტილატორში სამუშაო თვლის გარე დიამეტრი უდრის 950, მაშინ ამ ვენტილატორის ნომერი იქნება 91/2.

საშუალო წნევის (ნახ. 179) ვენტილატორებში, დაბალი წნევის ვენტილატორებთან შედარებით, სამუშაო თვლის დიამეტრი უფრო დიდია, შესასვლელი კვეთი უფრო მცირეა და თვლის სიგანე აგრეთვე უფრო მცირეა. გარდა ამისა, საშუალო წნევის ვენტილატორებში სამუშაო თვალზე დამაგრებულია სულ 24 ფრთა, ე. ი. მანძილი ფრთებს შორის საშუალო წნევის ვენტი-

ლატორებში უფრო დიდი, ვიდრე დაბალი წნევის ვენტილატორებში. მაშალაო წნევის ვენტილატორებში მისი ნომრის თითოეულ ერთეულზე მოდის ვენტილატორის სამუშაო თვლის გარე დიამეტრის 110 მმ., ე. ი. № 5 საშუალო წნევის ვენტილატორში სამუშაო თვლის გარე დიამეტრი ტოლი იქნება: $5 \cdot 110 = 550$ მმ, ხოლო იმავე ნომრის დაბალი წნევის ვენტილატორში, ზემოთქმულის თანახმად, ტოლი იქნება $5 \cdot 100 = 500$ მმ. საშუალო წნევის ცენტრიდანული ვენტილატორის ერთ-ერთ სახესხვაობას წარმოადგენს ე. წ. მტერის ვენტილატორი (ნახ. 179). ამ ვენტილატორში სამუშაო თვალზე დაყენებულია მხოლოდ ექვსი ფრთა. ამ ტიპის ვენტილატორები იხმარება პნევმატიკურ ტრანსპორტში (იხ. § 17) და აგრეთვე მტერის შემწვო დანადგარებში; მაღალი წნევის ვენტილატორებში, როგორც წესი, ჰაერის მიმწოდებელი არხი არის წრიული კვეთისა და არა სწორკუთხოვანი, როგორც ეს არის დაბალ და საშუალო წნევის ვენტილატორებში.



ნახ. 178. საშუალო წნევის ცენტრიდანული ვენტილატორი.



ნახ. 179. მტერის ვენტილატორი.

ჩვენი მანქანათმშენებელი ქარხნები სერიულად უშვებენ ვენტილატორებს შემდეგ ნომრებს: 2, 3, 4, 5, $6\frac{1}{2}$, 8, $9\frac{1}{2}$, 11, $12\frac{1}{2}$, 14, $15\frac{1}{2}$, 17, $18\frac{1}{2}$ და 20.

ვენტილატორები განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან აგრეთვე ლერძის ბრუნვის მიმართულებითა და ვენტილატორიდან ჰაერის ბერვის მიმართულებით. ლერძის ბრუნვის მიმართულების მიხედვით ვენტილატორები ორ ჯგუფად იყოფა:

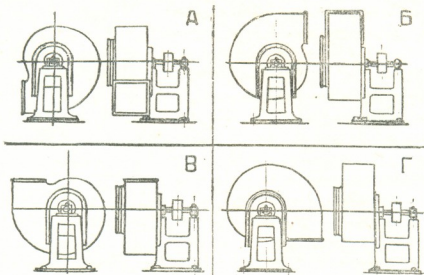
1) ვენტილატორები მარცხენა ბრუნვისა და

2) ვენტილატორები მარჯვენა ბრუნვის.

თუ ვენტილატორის ლერძი, როდესაც მას შეეხედავთ დგარის მხრიდან, ბრუნავს საათის ისრის ბრუნვის მიმართულებით, ასეთ ვენტილატორს მარჯვენა ბრუნვის ვენტილატორი ეწოდება (ნახ. 180 ყველა ფიგურა), ხოლო თუ იგი საათის ისრის მიმართულების წინააღმდეგ ბრუნავს, — მარცხენა ბრუნვის ვენტილატორი (ნახ. 181 ყველა ფიგურა).

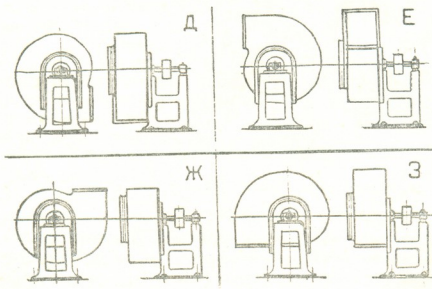
ჰაერის ბერვის მიმართულების მიხედვით ვენტილატორები შემდეგ ოთხ ჯგუფად იყოფა (ნახ. 180 და 181):

- 1) ჰაერი უბერავს ჰორიზონტალური ქვემო მხების მიმართულებით (ფიგურები A და D).
- 2) ჰაერი უბერავს ჰორიზონტალურად ზემო მხების მიმართულებით (ფიგურები B და E).
- 3) ჰაერი უბერავს ვერტიკალურად ზემოთკენ (ფიგურები B და Ж).
- 4) ჰაერი უბერავს ვერტიკალურად ქვემოთკენ (ფიგურები Г და З).



ნახ. 180. მარჯვენა ბრუნვის ცენტრიდანული ვენტილატორების სქემები.

ჰაერის ბერვის მიმართულება, ცხადია, დამოკიდებულია დგარის მიმართ ვენტილატორის გარსაცმის მდებარეობაზე. მცირე ნომრის ვენტილატორებში



ნახ. 181. მარცხენა ბრუნვის ცენტრიდანული ვენტილატორების სქემები.

რებში (2-დან 5-მდე) გარსაცმი დგარზე არის დამაგრებული, ამიტომ დგარის მიმართ გარსაცმის შებრუნება ადვილია. მაშასადამე, A ფიგურა ჩვენ ადვი-



ლად შეგვიძლია გადავაკეთოთ როგორც B, ისე B და Γ ფიგურად (ნებისმიერ როგორც Δ ფიგურა E, Ж და Z ფიგურად); № 6^{1/2}-დან კი გარსაცმის საძირკველზე ცალკე საყრდენი უკეთდება და ფიგურების შეცვლა შეუძლებელი ხდება.

ცენტრიდანულ ვენტილატორებში ადგილი აქვს ისეთივე შეფარდებებს, რაც ცენტრიდანულ ტუმბოებში, რომელიც განისაზღვრება იმავე ფორმულეებით—(206), (208) და (209). ვენტილატორისათვის საჭირო სიმძლავრე ზემოთქმულის თანახმად განისაზღვრება ფორმულით (220):

$$N = \frac{V \cdot h}{75 \cdot \eta} \quad (\text{ც. ძ.}),$$

სადაც h —(მმ. წყ. სვ.) არის სრული წნევა, რომელიც უნდა განავითაროს ვენტილატორმა;

$V - \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{ს}} \right)$ —ვენტილატორით ჰაერის მიწოდება;

η —ვენტილატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი;

უფრო ხშირად ვენტილატორის მწარმოებლობა განიზომება $Q - \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{ს}} \right)$.

მაშინ სიმძლავრის ფორმულა შემდეგ სახეს ღებულობს:

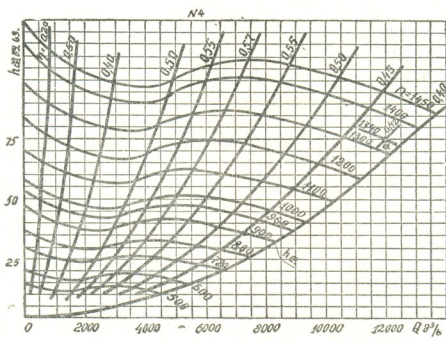
$$N = \frac{Q \cdot h \cdot \gamma}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} \quad (\text{ც. ძ.}). \quad (223)$$

ვენტილატორის შერჩევის დროს საჭიროა ვისარგებლოთ ე. წ. მახასიათებლებით. ვენტილატორის მახასიათებელი წარმოადგენს დიაგრამას, რომელზედაც სწორკუთხოვან კოორდინატთა სისტემაში აგებული არიან ტოლბრუნვათა რიცხვებისა და ტოლი მარგი ქმედების კოეფიციენტების მრუდები. ორდინატთა ლერძებზე გადაღებულია ვენტილატორის სრული წნევა— h (მმ. წყ. სვ.), აბსცისთა ლერძზე კი ვენტილატორის მწარმოებლობა— $Q \left(\frac{\text{მ}^3}{\text{ს}} \right)$. ტოლი

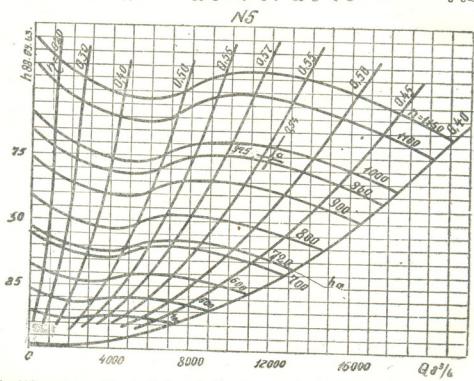
მარგი ქმედების მრუდები წარმოადგენენ პარაბოლების ოჯახს, რომელიც კოორდინატთა საწყისიდან იწყებიან. ყველაზე ქვემოთ მდებარე მრუდი შეესაბამება ვენტილატორის ისეთ მუშაობას, როდესაც წინაღობას ადგილი არა აქვს და, მაშასადამე, $h = h_{\text{დინ}}$. ტოლბრუნვათა რიცხვის მრუდები მიმართული არიან მარცხნიდან მარჯვნივ. ყველა მაღლა მდებარე მრუდი ასახავს ვენტილატორის ისეთ მუშაობას, როდესაც ვენტილატორს აქვს ბრუნვათა უდიდესი რიცხვი, რომელიც კი დასაშვებია ვენტილატორისათვის მისი გამძლეობის თვალსაზრისით (ნახ. 182, 183 და 184).

ვენტილატორების შერჩევა დიაგრამების მიხედვით შემდეგნაირად ხდება: დავუშვათ, რომ უნდა შევარჩიოთ ვენტილატორი, რომელმაც უნდა მოგვაწოდოს $Q = 12000 \frac{\text{მ}^3}{\text{ს}}$ ჰაერი წნევით $h = 75$ მმ. წყ. სვ. ვინაიდან $h < 100$

მმ. წყ. სვ., ამიტომ ვენტილატორი დაბალი წნევის იქნება. დაბალი წნევის
ვენტილატორებში მწარმოებლობა $Q=12000 \frac{მ^3}{ს}$ აქვს სამ ვენტილატორს:



ნახ. 182. დაბალი წნევის № 4 ცენტრიდანული ვენტილატორის მახასიათებელი.



ნახ. 183. დაბალი წნევის № 5 ცენტრიდანული ვენტილატორის მახასიათებელი.

№ 4, № 5 და № 6 $\frac{1}{2}$, (ნახ. 182, 183 და 184). ავიღოთ $Q=12000 \frac{მ^3}{ს}$ და
 $h=45$ მმ. წყ. სვ. როგორც კოორდინატები და მათი მიხედვით მოვნახოთ

გამოყენებული ლიტერატურა

1. А. Г. Касаткин—Основные процессы и аппараты химической технологии, изд. 1948 г.
2. А. Г. Касаткин—Основные процессы и аппараты химической технологии, часть II, тепловые и диффузионные процессы изд. 1937 г.
3. П. С. Козьмин—Машины непрерывного транспорта часть I, изд. 4-е, изд. 1938 г.
4. П. С. Козьмин—Машины непрерывного транспорта часть II, изд. 3-е, изд. 1935 г.
5. П. С. Козьмин—Машины непрерывного транспорта часть III, изд. 2-е изд. 1936 г.
6. М. Т. Райтман, М. Я. Дикис, А. Н. Мальский—Технологическое оборудование консервных заводов, изд. 1938 г.
7. М. П. Калинушкин—Вентиляторные установки, изд. 1938 г.
8. Проф. А. П. Шишкин и инж. У. Л. Лерер—Вентиляционные установки предприятий, изд. 1931 г.
9. Б. М. Аще и Г. Н. Максимов—Отопление и вентиляция том II, изд. 1940 г.
10. Г. Бетман—Грузоподъемные машины, изд. 4-е, изд. 1934 г.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

თავი პირველი

ზოგადი ცნებანი

1.	განზომილებანი	3
2.	გადასაზიდ მასალათა ზოგადი დახასიათება	8
3.	სატრანსპორტო საშუალებათა დანიშნულება და კლასიფიკაცია	12
4.	მაგალითები	16

თავი მეორე

ზოგიერთი ცნობები ჰიდრაულიკიდან

5.	ჰიდრაულიკის საგანი	18
6.	ჰიდროსტატიკა	18
7.	ჰიდროდინამიკა	26
8.	სითხის ღინების სიჩქარისა და წნევის გაზომვა	51
9.	მაგალითები	57

თავი მესამე

მაგარი მასალების გადაზიდვა

10.	მიწისზედა გზები	75
11.	ამწეები	88
12.	კიდული გზები	97
13.	ტრანსპორტიორები	99
14.	ელევატორები	115
15.	ხრახნიანი ტრანსპორტიორები	122
16.	ჰიდრაულიკური ტრანსპორტიორი	124
17.	ჰნემატიკური ტრანსპორტი	126
18.	მაგალითები	133

თავი მეოთხე

თხევადი მასალების გადაზიდვა

19.	დგუშინი ტუმბოები	146
20.	ცენტრიდანული ტუმბოები	169
21.	საროტაციო ტუმბოები	183

§ 22.	სიფონი	185
§ 23.	მონტეჟიუ	185
§ 24.	ერლიფტი	186
§ 25.	ქაელური ტუმბოები	187
§ 26.	მაგალითები	188

თავი მესამე

გაზობრივ მასალათა გადაზიდვა

§ 27.	გაზის მოძრაობისა და შეკუმშვის პირობები	193
§ 28.	საშუალებანი გაზის შეკუმშვისათვის	196
§ 29.	ჰერსაბერები	197
§ 30.	ვენტილატორები	199
	გამოყენებული ლიტერატურა	206

რედაქტორი შ. იოსელიანი
ტექ. რედაქტორი დ. ჟვიაძე
კორექტორი დ. დგებუაძე
გამომცემი შ. ხელაძე

უც06228.

შეკვ. № 1195.

ტირაჟი 2 000.

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28/XI-50. ანაწყობის ზომა 7×11. ქაღალდის ზომა 70×105.
სასტამბო ფორმათა რაოდენობა 13. სავეტრო ფორმათა რაოდენობა 11,96. საგ.-საალრიცხვო
ფორმათა რაოდენობა 12,24.

ფასი 6 მან. 60 ძაბ.

საქართველოს სსრ მინისტრთა საბჭოსთან არსებული პოლიგრაფიკული ინდუსტრიის, გამომცემლო-
ბებისა და წიგნით ვაჭრობის საქმეთა სამმართველოს სტამბა № 2,
თბილისი, ფურცელაძის ქ. № 5.

Типография № 2 Управления по делам полиграфической промышленности, издательстве
и книжной торговли при Совете Министров Грузинской ССР.
Тбилиси, ул. Пурцеладзе № 5.

Н. Е. МЕТОНИДЗЕ

Технологическое оборудование
винодельческой промышленности

(На грузинском языке)

Гостехиздат Грузинской ССР

„Техника და შრომა“

Тბილისი

1950