

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ლ. მახარაძე

საერთო საფუძვლების ჰიდრომექანიკა წიგნი მეორე

ჰიდრონავის მილსაღეში მოძრაობის რეჟიმები,
ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდები

დამხმარე სახელმძღვანელო



დამტკიცებულია სტუ-ს
სასწავლო-მეთოდური
საბჭოს მიერ

თბილისი
2003

უპკ 622.271. (075.8):622.648

განხილულია მყარი ფხვიერი მასალების მილსადენებში და ღია არხებში წყლის ენერგიით ჰიდროტრანსპორტირების საკითხები: ჰორიზონტალურ, დახრილ და ვერტიკალურ მილსადანებში ჰიდრონარევის მოძრაობის რეჟიმები; ჰიდროტრანსპორტირების პროცესები ღარებსა და არხებში; ჰიდრონარევის მილსადენებსა და არხებში ჰიდროტრანსპორტირების საინჟინრო-პრაქტიკული გაანგარიშების მეთოდების, სადაწნო მილსადანებში ჰიდრონარევის მოძრაობის დამყარებული და დაუმყარებელი მოძრაობისა და მილსადენების ჰიდროაბრაზიული ცვეთის საფუძვლები; ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მანვენებლები, მათი ამაღლების საშუალებები, ეკოლოგიური ასპექტები.

განკუთვნილია ძირითადად სამთო-გეოლოგიური, აგრეთვე სამშენებლო და ენერგეტიკული ფაკულტეტების სტუდენტების, მაგისტრანტებისა და ასპირანტებისათვის. დახმარებას გაუწევს ასევე აღნიშნულ დარგში მომუშავე ინჟინერ-ტექნიკურ პერსონალს და მეცნიერ მუშაკებს.

რეცენზენტები: პროფ.ა.ქუთათელაძე,
ტ.მ.დ. ვ. სილაგაძე

© გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2003

ISBN 99940-14-21-8

ჰიდრომექანიზაცია სამთო სამუშაოების კომპლექსური მექანიზაციის ერთ-ერთი სახეობაა, როდესაც ყველა სახის სამუშაო პროცესი მთლიანად ან ნაწილობრივ წყლის ნაკადის ენერჯის მეშვეობით სრულდება. სამთო სამუშაოების ჰიდრომექანიზაცია ითვალისწინებს სამი ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესის ერთობლიობას: სამთო ქანის, წიაღისეულის მონგრევას (მორეცხვას), მის ჰიდროტრანსპორტირებას და სპეციალურად გამოყოფილ ადგილებში ჩაწყობას (ჩალაგებას). ჰიდრომექანიზაციამ მეოცე საუკუნის მეორე ნახევრიდან ძალზე დიდი გავრცელება პოვა სამთო მრეწველობაში კომპლექსური მექანიზაციის სხვა სახეობებთან შედარებით მრავალი უპირატესობების გამო. კერძოდ, იგი ხასიათდება ტექნოლოგიური პროცესების (დაწყებული მონგრევიდან ჩალაგებით დამთავრებული) უწყვეტობით, კაპიტალური მშენებლობის მცირე მოცულობებით და მშენებლობის მცირე ვადებით. მაღალი შრომის ნაყოფიერებით, მცირე კუთრი დანახარჯებით, მცირე მასებით, ძირითადი მოწყობილობების შედარებით მცირე ზომებით და კონსტრუქციული სიმარტივით, ტექნოლოგიური პროცესების მართვისა და განვითარებული პარამეტრების რეგულირების სიმარტივით და, რაც მთავარია, წიაღისეულის ნაწილობრივ ან სრული გამდიდრებით (სამშენებლო ინერტული მასალები). დღესდღეობით შოფლიოს ინდუსტრიულად განვითარებული ქვეყნის სამთო მრეწველობა პრაქტიკულად წარმოუდგენელია ჰიდრომექანიზაციის გარეშე. შახტებში, მალაროებში და ღია კარიერებზე ჰიდრომექანიზაცია სულ უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს. ჰიდრომექანიზაციის სამი ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესიდან ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანია მყარი ფხვიერი მასალების (სამთო ქანის, წიაღისეულის) ტრანსპორტირება წყლის ენერჯის საშუალებით.

მყარი ფხვიერი მასალების ჰიდროტრანსპორტირებისას ადგილი აქვს მრავალფაზიან ნაკადებში (ჰიდრონარევი წყალთან და მყარ ნაწილაკებთან ერთად ყოველთვის არსებობს ჰაერის გარკვეული რაოდენობა) მიმდინარე რთულ ჰიდროდინამიკურ პროცესებს, რომელთა შესწავლა და ცოდნა აუცილებელია ჰიდროტრანსპორტირების პარამეტრების რაციონალური მნიშვნელობების დადგენის, სიტემების სწორი დაპროექტებისა და ექსპლუატაციისათვის. სწორედ ამ პრობლემებთან დაკავშირებული თეორიული და პრაქტიკული საკითხებია განხილული წინამდებარე სახელმძღვანელოში, რომელიც ძირითადად განკუთვნილია სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის იმ სტუდენტებისათვის, რომლებიც შეისწავლიან სასწავლო დისციპლინას „სამთო სამუშაოების

ჰიდრომექანიზაცია“, აგრეთვე იმ მაგისტრანტებისათვის, რომლებიც შეისწავლიან სასწავლო დისციპლინებს – „სამთო სამუშაოების ჰიდრომექანიზაცია“, და „მილსადენი ჰიდროტრანსპორტი“. იგი წარმოადგენს სახელმძღვანელოს პირველი ნაწილის მეორე წიგნს, რომელშიც განხილულია ჰიდროტრანსპორტი ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში; ჰიდროტრანსპორტი ღარებსა და არხებში; დამყარებული რეჟიმები ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში, ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები; დამყარებული რეჟიმები ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში; ჰიდროაბრაზიული ცვეთის საფუძვლები; ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, მათი ამაღლების საშუალებები, ეკოლოგიური ასპექტები.

სასწავლო დისციპლინის „სამთო სამუშაოების ჰიდრომექანიზაციის“ სრული კურსი ითვალისწინებს სახელმძღვანელოს ოთხ წიგნს: პირველი წიგნი – „მყარი ფხვიერი მასალების ჰიდროტრანსპორტის თეორიული საფუძვლები“, წიგნი მეორე – „ჰიდრონარევის მილსადენში მოძრაობის რეჟიმები, ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდები“, წიგნი მესამე – „მყარი ფხვიერი მასალების ჰიდროტრანსპორტირების ტექნოლოგიური სქემები“, წიგნი მეოთხე – „ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების მუშაობის რეჟიმები“, აგრეთვე დამხმარე სახელმძღვანელოს, რომელშიც ძირითადად განხილულია სამთო სამუშაოების ჰიდრომექანიზაციის სქემები. იგი 1999 წელს გამოსცა გამომცემლობამ „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. პირველი ნაწილი შეიცავს ორ წიგნს:

წინამდებარე სახელმძღვანელო აღნიშნულ სასწავლო დისციპლინაში პირველი სახელმძღვანელოა ქართულ ენაზე, ამდენად, იგი დაზღვეული არ იქნება ხარვეზებისაგან. ყოველგვარი საქმიანი შენიშვნა და რჩევა დიდი მადლიერების გრძნობით იქნება მიღებული ავტორის მიერ და გათვალისწინებული შემდგომ გამოცემაში.

ძირითადი პირობითი აღნიშვნები

D_p - მილსადენის შიგა დიამეტრი, მ;

D_g - მილსადენის გარე დიამეტრი, მ;

d_{Σ} - მყარი ნაწილაკის დიამეტრი, მ;

$d_{\Sigma 0}$ - მყარი ნაწილაკის საშუალო შეტივტივებული დიამეტრი, მ;

d_i - ფზვიერი მყარი მასალის ნიმუშში i -ური ფრაქციის დიამეტრი, მ;

W - მყარი ნაწილაკის ჰიდრავლიკური სისხო, მ/წმ;

z_p - მილსადენის შიგა რადიუსი, მ;

z_g - მილსადენის გარე რადიუსი, მ;

R_{Σ} - მილსადენში ნაკადის ცოცხალი კვეთის რადიუსი, მ;

ω_p - მილსადენის განივი კვეთის ფართობი, მ²;

ω - მილსადენში ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობი, მ²;

U - ჰიდრონარევის ნაკადის მოძრაობის საშუალო ფართობი, მ/წმ;

U_{Σ} - მზიდი სითხის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, მ/წმ;

U_p - მყარი მასალის ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირთან შეჯახების სიჩქარე, მ/წმ;

$U_{\Sigma 0}$ - ჰიდრონარევის მოძრაობის კრიზისული სიჩქარე, მ/წმ;

$\rho_{\Sigma}, \rho_{\Sigma 0}, \rho_{\Sigma}, \rho_{\Sigma}, \rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ - შესაბამისად წყლის, მზიდი გარემოს (სითხის), ჰიდრონარევის, მყარი მასალის, ჰაერის, ჰიდრონარევის ხარჯითი, ჰიდრონარევის ნამდვილი და სუსპენზიის სიმკვრივეები, კგ/მ³;

$\gamma_{\Sigma}, \gamma_{\Sigma 0}, \gamma_{\Sigma}$ - შესაბამისად წყლის, ჰიდრონარევისა და მყარი მასალის მოცულობითი წონები, ნ/მ³;

P_1 - წნევა მილსადენში, პა;

P_{Σ} - სრული წნევა მილსადენში ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს, პა;

P_0 - საწყისი წნევა მილსადენში დამყარებული რეჟიმის დროს, პა;

P_c - ატმოსფერული წნევა, პა;

ΔP - წნევის ნაზარდი მილსადენში ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს, პა;

P_3 - გაუხშობის (ვაკუუმის) წნევა, პა;

$Q_{ფ}, Q_{\text{კ}}$ და $Q_{\text{კ}}$ - შესაბამისად წყლის, ჰიდრონარევისა და მყარი მასალის ხარჯი, მ³/სთ;

$G_{ფ}, G_{\text{კ}}$ და $G_{\text{კ}}$ - შესაბამისდ წყლის, ჰიდრონარევისა და მყარი მასალის მასური ხარჯი, კგ/სთ;

$G_{\text{კ}}^0$ - მყარი მასალის მასა, კგ;

g - სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ²;

q_i - ფხვიერი მყარი მასალის ნიმუშში ცალკეული ფრაქციის პროცენტული შემცველობა მასის მიხედვით, %;

$m_{\text{კ}}, m_{\text{კ}}$ - შესაბამისად მყარი და თხევადი ფაზის მასა ჰიდრონარევაში, კგ;

S - ჰიდრონარევის მოცულობითი კონცენტრაცია;

$S_{\text{კ}}$ და $S_{\text{კ}}$ - შესაბამისად ჰიდრონარევის ნამდვილი და ხარჯითი მოცულობითი კონცენტრაცია;

$V_{\text{კ}}, V_{\text{კ}}$ და $V_{\text{კ}}$ - შესაბამისად ჰიდრონარევის, მისი თხევადი და მყარი ფაზების მოცულობა, მ³;

H - დაწნევა მილსადენში, მ წყ.სვ;

ΔH - დაწნევის დანაკარგი მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობის დროს, მ წყ.სვ;

$H_{\text{კ}}$ - ჰიდრონარევის ტრანსპორტირებისათვის საჭირო სრული დაწნევა, მ წყ.სვ;

$H_{\text{კ}}$ - ჰიდრონარევის მიწოდების გეომეტრიული სიმაღლე, მ;

C - ჰიდრონარევის მასური კონცენტრაცია;

$i_{\text{კ}}, i_{\text{კ}}$ - მილსადენში დაწნევის კუთრი დანაკარგები შესაბამისად წყლისა და ჰიდრონარევის მოძრაობისას;

$\lambda_{\text{კ}}, (\lambda_{\text{კ}})$ - სწორხაზოვანი მილსადენის ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი მზიდი გარემოს (წყლის) მოძრაობისას;

$\Delta i_{\text{კ}}$ - დაწნევის კუთრი დამატებითი დანაკარგები მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობის დროს, წყლის მოძრაობასთან შედარებით;

- $i_{\text{ელ}}$ - დაწნევის კუთრი დანაკარგები ადგილობრივ წინაღობაში
ჰიდრონარევის მოძრაობის დროს;
- $\Delta h_{\text{ელ}}$ - დაწნევის დანაკარგები ადგილობრივ წინაღობაში, მ;
- $\xi_{\text{ელ}}$ - ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტი;
- L - მილსადენის მთელი სიგრძე, მ;
- l - მილსადენის გარკვეული მონაკვეთის სიგრძე, მ;
- d_3 - მილსადენის კედლის სისქე, მ;
- α - მილსადენის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე გრადუსებში;
- α_3 - მყარი მასალის ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირთან შეჯახების კუთხე გრადუსებში;
- ϵ - მილსადენის ცოცხალი კვეთის პერიმეტრი (სველი პერიმეტრი);
- Re - რეინოლდსის რიცხვი;
- $Re_{\text{კრ}}$ - რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობა;
- $\mu_{\text{ფა}}, \mu_{\text{ს}} \cdot \mu_{\text{მა}}$ - და $\mu_{\text{მ}}$ - შესაბამისად წყლის, სუსპენზიის, მზიდი სითხის (გარემოს) ჰიდრონარევის სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი, ნ.წმ/მ²;
- $\mu_{\text{ფ}}$ - ჰიდრონარევის ნორმალური (ნიუტონური) სიბლანტე, ნ.წმ/მ²;
- $\mu_{\text{სკ}}$ - ჰიდრონარევის სტრუქტურული სიბლანტე, ნ. წმ/მ²;
- $V_{\text{ფა}}, (V_{\text{მა}}), V_{\text{მ}}$ და $V_{\text{ს}}$ - შესაბამისად წყლის (მზიდი გარემოს), ჰიდრონარევისა და სუსპენზიის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი, მ²/წმ;
- K_3 - ფხვიერი მყარი მასალის ფილტრაციის კოეფიციენტი;
- S', S'' და S''' - შესაბამისად ჰიდრონარევი წყლის, მყარი მასალისა და ჰაერის მოცულობითი შემცველობა (კონცენტრაცია);
- $E_{\text{ფა}}, E_{\text{მა}}$ და $E_{\text{მ}}$ - შესაბამისად წყლის, მყარი მასალისა და ჰაერის მოცულობითი დრეკადობის მოდული, მგპა;
- ϵ - იმ მასალის დრეკადობის მოდული, რომლისგანაც დამზადებულია მილსადენი, მგპა;
- a - ტალღის გავრცელების სიჩქარე მილსადენში ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს მ/წმ;

α_i -ბგერის გავრცელების სიჩქრე წყალში, მ/წმ;

l - დრო, წმ;

$l_{\text{ფ}}$ - მილსადენში რხევითი პროცესის ერთი ფაზის ხანგრძლივობა, წმ;

τ_0 -ძერის სტატიკური (საწყისი, ზღვრული) დაძაბულობა- დენადობის ზღვარი, ნ/მ²;

τ - ძერის დინამიკური (მხები) დაძაბულობა, ნ/მ²;

∇ -მილსადენის აბსოლუტური სიმაღლის (ზედაპირის ხორკლების საშუალო სიმაღლე), მმ;

Δ -ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობა, კგ;

$e = 2.718$ -ნეპერის რიცხვი.

თავი I. პიღროტრანსპორტი ნაწილობრივ დაღმეიღ მიღსადენებში

მრავალი მეცნიერის თეორიულმა კვლევებმა და სხვადასხვა დიამეტრის მიღსადენებზე, ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავებული ფიზიკური და მექანიკური თვისებების ფხვიერი მყარი მასალების პიღროტრანსპორტირების ექსპერიმენტულმა შესწავლამ პიღრონარევის ნაკადის პიღროდინამიკური პარამეტრების ცვალებადობის ფართო დიაპაზონში, გამოკვეთა რამდენიმე ძირითადი ტენდენცია, რომლებიც შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოყალიბდეს:

1. მყარი მასალის ნაწილაკებით ყოველთვის უფრო მეტად გაჯერებულია შეტივტივებული პიღრონარევის ნაკადის ქვედა ნაწილი-მიღსადენის ქვედა კედელსმიმდებარე შრეები, სადაც კონცენტრაცია გაცილებით მეტია, ვიდრე პიღრონარევის ცოცხალი კვეთის ზედა ნაწილში, სადაც უმეტესწილად ძალზე წვრილი ზომის ნაწილაკები გადაადგილდება. შედარებით უფრო დიდი ზომის მყარი ნაწილაკები იშვიათად ხდება მიღსადენის გეომეტრიული ღერძის ზედა ზონაში, ამდენად, მყარი ნაწილაკების ყველაზე დიდი მასა ტრანსპორტირდება მიღსადენის ფსკერიდან სიმაღლეზე, რომელიც მიღსადენის დიამეტრის ერთი მესამედის ტოლია.

2. პორიზონატალური მიღსადენის ზედა(გეომეტრიული ღერძის ზედა ნაწილი) ნაწილში მოძრაობს წყალი, რომელიც მცირედ გაჯერებულია ძალზე წვრილი თიხოვანი და მტერისებრი ნაწილაკებით. პიღრონარევის ნაკადის ამ ნაწილში კონცენტრაცია გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ქვედა ნაწილში. შედარებით უფრო დიდი ზომის მყარი ნაწილაკების (ქვიშა, ღორღი და ა.შ.) არსებობისას პიღრონარევეში, ნაკადის ზედა ნაწილში პრაქტიკულად სუფთა წყალი მოძრაობს.

3. იმის გამო, რომ მყარი აბრაზიული ნაწილაკების ძირითადი მასა პორი-ზონტალური მიღსადენის ფსკერსმიმდებარე შრეებში მოძრაობს, მიღსადენის ქვედა ნაწილი, განსაკუთრებით ქვედა კედლები, ინტენსიურ პიღროაბრაზიულ ცვეთას განიცდის, რის გამოც, სპეციალური ზომების მიღების გარეშე, მიღსადენები ძალიან მალე გამოდის მწყობრიდან.

ზემოჩამოთვლილ ფაქტორებს ახასიათებს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მხარეები. სპეციალისტების გარკვეული ნაწილი იმ დასკვნამდე მივიდა რომ ის, რაც დადებითია, გამოეყენებინათ პიღროტრანსპორტის ეფექტურობის ასამაღლებლად.

ფაქტორების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ ზემოჩამოთვლილი სამივე ფაქტორი შეიძლება იყოს ეფექტური, რადგან ისინი ერთმანეთისგან

გამომდინარეობენ (ერთმანეთს განაპირობებენ) და, ამდენად, მიზანშეწონილია მათი ერთიან კომპლექსში განხილვა. ზოგადად ეს ეფექტურობა შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოყალიბდეს: იმის გამო, რომ მყარი ნაწილაკების ძირითდი მასა პორიზონტალური მილსადენის ფსკერსმიმდებარე შრეებში მოძრაობს, ფსკერიდან მილსადენის დიამეტრის $1/3$ სიმაღლეზე წარმოიქმნება ნაწილობრივად დალექილი დამცავი შრე, რომელიც მილსადენის ქვედა ნაწილის ზედაპირს იცავს ჰიდროაბრაზიული ცვეთისაგან. ეს წარმონაქმნი რეალურად ჰიდრონარევის ნაკადის ცოცხალ კვეთს (მილსადენის განივკვეთს) აძლევს ახალ - ელიფსის ფორმას, რომელშიც სითხეების მოძრაობას მთელი რიგი უპირატესობები გააჩნია, მრგვალი კვეთის მილსადენებთან შედარებით. ასეთი ფორმის მილსადენში, რომელსაც უახლოვდება მილსადენის ქვედა ნაწილი, შესაძლებელია გადაადგილებულ იქნეს მყარი მასის გაცილებით მეტი რაოდენობა, ვიდრე იგივე სიმაღლის შრეებში მრგვალი კვეთის მილსადენისათვის. უნდა აღინიშნოს, რომ ტურბულენტური გადაადგილება ერთი და იმავე ხარჯის დროს ელიფსური ფორმის მილსადენში უფრო ინტენსიურია, ვიდრე მრგვალი კვეთის მილსადენში. აქედან გამომდინარე, ელიფსის ფორმის განივკვეთიდან მილსადენს მეტი ტრანსპორტირების უნარი უნდა გააჩნდეს, ვიდრე მრგვალი განივკვეთის მქონეს. ექსპერიმენტულმა კვლევებმა დაადასტურა, რომ ელიფსის ფორმის მილსადენებში, როდესაც მათი პორიზანტულარი და ვერტიკალური ღერძების შეფარდება $1/4$ -ის ფარგლებშია, მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტირებისათვის $20-40\%$ ნაკლები ენერგიაა საჭირო, ვიდრე იმავე განივკვეთის ფართობის მქონე მრგვალი კვეთის პორიზანტალურ მილსადენში სხვა დანარჩენი პარამეტრების სრული იდენტურობისას. ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია აგრეთვე, რომ კრიზისული სიჩქარე ელიფსის ფორმის მილსადენებისათვის რამდენადმე ნაკლებია - $U_{კრ.ელ} = 0,9U_{კრ}$.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ფხვიერი მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტირებამ ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში შესაძლებელია მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტიანობა განაპირობოს. ასეთი სისტემების დაპროექტებისას გამოთვლების ძალზე დიდი სიზუსტეა საჭირო, რადგან ძირითადი პარამეტრების (განსაკუთრებით მოძრაობის სიჩქარის) არაზუსტად გათვლა შესაძლებელია მილსადენის სრული დალექვისა და მყარი ნაწილაკების საცობის წარმოქმნის მიზეზი გახდეს. ზოგიერთ სპეციალისტს მიაჩნია, რომ ნაწილობრივ დალექილ რეჟიმში მომუშავე ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში სქელკედლიანი მილსადენების მაგივრად მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს თხელკედლიანი მილსადენები, რადგან ასეთ შემთხვევაში ხდება მილსადენის პ

იდროაბრაზული ცვეთის შემცირება. მილსადენის ქვედა ნაწილი პრაქტიკულად დაცულია ინტენსიური ჰიდროაბრაზიული ცვეთისაგან ნაწილობრივ დალექილი შრეების არსებობის გამო, ხოლო ზედა ნაწილში მოძრაობს ნაკლებად კონცენტრირებული ჰიდრონარევი - ხშირ შემთხვევაში პრაქტიკულად მღვრიე წყალი, რომელიც ნაკლებად ცვეთს მილსადენის ზედა მხარეს.

1.1. პორიზონტალურ მილსადენში დალექვის სხეულის წარმოქმნა

ფხვიერი მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტირებისას მყარი ნაწილაკების იმ შრეს, რომელიც იწყებს მილსადენის ფსკერზე დაწოლას, დალექვის სხეული ეწოდება. დალექვის სხეულის წარმოქმნის საწყის მომენტად შეიძლება ჩაითვალოს ჰიდრონარევის ერთეულების მილსადენის ფსკერზე დაჯდომის დასაწყისი. ასეთ სიჩქარეს კრიზისული ეწოდება, უფრო სწორად, იგი პირველი კრიზისული სიჩქარეა, რომელიც რამდენადმე ნაკლებია კრიზისულ სიჩქარეზე, რომელსაც დალექვის დაწყების სიჩქარე ეწოდება. იგი მყარი ნაწილაკების მილსადენის ფსკერიდან დაძვრის და შეტივტივების სიჩქარეზე რამდენადმე ნაკლებია. თუ ჰიდრონარევის კონცენტრაციის ერთი და იმავე მნიშვნელობის დროს, პირველი მყარი ნაწილაკის მილსადენის ფსკერზე დაჯდომის შემდეგ თანდათანობით შევამცირებთ მილსადენში ჰიდრონარევის ხარჯს (მოძრაობის სიჩქარეს), მაშინ ჰიდრონარევის ნაკადიდან სულ ახალ - ახალი ნაწილაკები დაიწყებს გამოყოფას და ფსკერზე დაჯდომას, რის შედეგად დალექვის შრე სულ უფრო გაიზრდება, ხოლო ჰიდრონარევის ცოცხალი კვეთი შემცირდება.

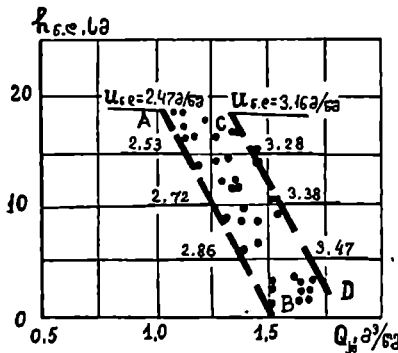
მყარი მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებისა და ჰიდრონარევის ჰიდროდინამიკური პარამეტრების და მიხედვით განასხვავებენ პორიზონტალურ მილსადენებში დალექვის სხეულის წარმოქმნის რამდენიმე ფორმას:

- ა) მილსადენის მთელ სიგრძეზე დალექვის შრის თანდათანობითი ზრდა;
- ბ) დალექვის შრის გადაადგილება მილსადენის დასაწყისიდან მის ბოლოსაკენ;
- გ) მყარი დისპერსირებული მასალის ტალღური მოძრაობა, რომელიც შემდგომში დალექვის სტაციონარულ შრეში გადაიზრდება.

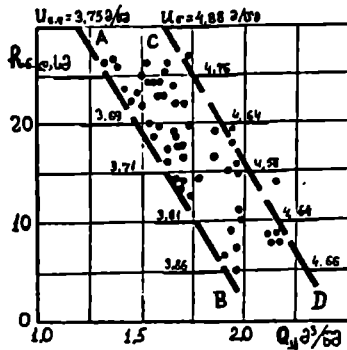
1.2. ნაწილობრივ დალექილ მილსადენში დალექვის შრის სიმაღლის პიროვნარევის სიჩქარისაგან დამოკიდებულება

მრავალი მეცნიერისა და სპეციალისტის აზრით, გარკვეულ პირობებში სპეციალურად, წინასწარგანზრახულად შესაძლებელია მყარი ფხვიერი მასალების პიროტრანსპორტირება ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში. ეს იდეა, რომელიც ეკუთვნის რუს მეცნიერს ნ. ხოლინს, ეფუძნება სამ ძირითად დებულებას: ა) მილსადენის ნაწილობრივი დალექვა შეიძლება წარმოადგენდეს სტაბილიზატორს, რომელსაც დალექვის შრის სიმაღლის ცვალებადობით შეუძლია შეინარჩუნოს პიროვნარევის სიძვერისა და სიჩქარის მუდმივობა; ბ) დალექილი შრე ამცირებს მილსადენის ქვედა ნაწილის პიროვნარევის ცვეთას; გ) დალექილი შრე სიმქისის გაზრდისა და ცოცხალი კვეთის ელიფსური ფორმის წარმოქმნის გამო ზრდის ნაკადის ტურბულენტურობას, რომელიც უზრუნველყოფს მყარი ნაწილაკების ტრანსპორტირებას.

ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში პიროტრანსპორტირებასთან დაკავშირებული საკითხების შესწავლა სათანადო დონეზე შესაძლებელია მხოლოდ ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე, რომელთა მთავარი ამოცანაა დაწინაურების კუთრ დანაკარგებზე პიროვნარევის ნაკადის სიჩქარისა (U) და ნაწილობრივ დალექილი შრის (h_c) სიმაღლის გავლენა. ამ მიმართულებით მრავალი მკვლევარის მიერ ჩატარებულ იქნა ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტული კვლევები. ამ კვლევების ზოგიერთი შედეგი მოცემულია 1.1 - 1.3 ნახაზებზე.



ნახ 1.1. დალექვის შრის სიმაღლის დამოკიდებულება პიროვნარევის ხარჯისაგან (სიჩქარისაგან) $D_p = 800$ მმ დიამეტრის მილსადენში გამდიდრების კულების ($d_{cs} = 0,16$ მმ) პიროტრანსპორტირებისას



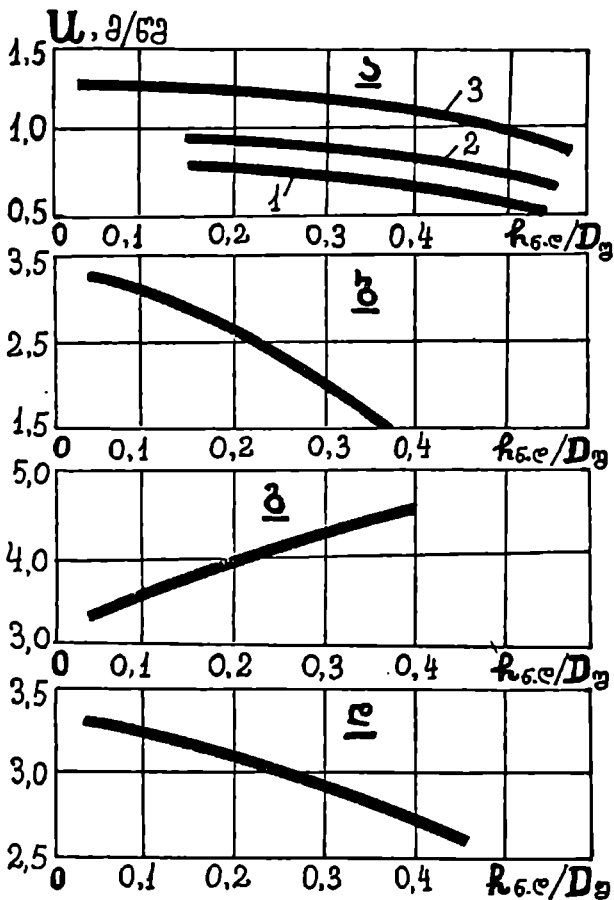
ნახ. 1.2. დალექვის შრის სიმაღლის დამოკიდებულება პიდრონარევის ხარჯისაგან (სიჩქარისაგან) $D_3 = 800$ მმ დიამეტრის მილსადენში გამდიდრების კუდების ($d_{\text{სა}} = 0,27$ მმ) პიდროტრანსპორტირებისას

1.1 და 1.2 ნახაზებზე ნაჩვენებია ექსპერიმენტული შედეგების მიხედვით აგებული ფუნქციური დამოკიდებულება $h_{\text{კ}} = f(Q, U)$. ამ ნახაზებიდან ჩანს, რომ ექსპერიმენტული წერტილები განლაგებულია გარკვეულ ზოლში, რომელიც შეიძლება AB და CD ხაზებით შემოიფარგლოს. ამ ზოლში დალექვის მუდმივი შრის დროს პიდრონარევის მინიმალური ხარჯი განისაზღვრება AB ხაზთან განლაგებული წერტილებით, ხოლო მაქსიმალური-CD ხაზთან განლაგებული წერტილებით. ცხადია, ამ ხარჯებს შეესაბამება მინიმალური და მაქსიმალური სიჩქარეები. მინიმალური სიჩქარე ($U_{\text{კ}}$) პრაქტიკულად იგივეა, რაც დალექვის სიჩქარე, ხოლო მაქსიმალური ($U_{\text{გ}}$) - წარეცხვის სიჩქარე. განხილული შემთხვევისათვის, ანუ როდესაც $D_3 = 800$ მმ, დიამეტრის მილსადენში ტრანსპორტირდება გამდიდრების კუდები ($d_{\text{სა}} = 0,15$ მმ) დალექვის შრის შესაბამისად 50, 100, 150 და 180 მმ სიმაღლეებისათვის ამ სიჩქარეების შეფარდება საშუალოდ შეადგენს $U_{\text{გ}} / U_{\text{კ}} = 1,24$. ამ შეფარდების მინიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება $h_{\text{კ}} = 50$ მმ და იგი ტოლია 1,21, ხოლო მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა $h_{\text{კ}} = 180$ მმ - ის დროს ტოლია 1,27-ისა.

დაახლოებით ასეთივე შედეგებია მიღებული მეორე შემთხვევაშიც, როდესაც იგივე დიამეტრის მილსადენში ხდებოდა გამდიდრების კუდების ჰიდროტრანსპორტირება, როდესაც $d_{\text{ლა}} = 0,27 \text{ მმ}$. ამ შემთხვევაში აღნიშნული შეფარდების მინიმალური მნიშვნელობა $1,21$ შეესაბამება $h_{\text{კ}} = 50 \text{ მმ}$, ხოლო მაქსიმალური $1,30 - h_{\text{კ}} = 270 \text{ მმ}$.

პროცესის სირთულის გამო; მიუხედავად იმისა, რომ ჩატარებულია ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტები, დღესდღეობით არ არსებობს მილსადენში დალექილი შრის სიმაღლის ჰიდრონარევის სიჩქარისაგან დამოკიდებულების აღმწერი მათემატიკური ფორმულები, თუნდაც ემპირიული. ეს დამოკიდებულება კი გადაწყვეტ როლს ასრულებს ჰიდროტრანსპორტირების მთავარი პარამეტრის - დაწნევის კუთრი დანაკარგის განსაზღვრისას მილსადენში. ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი ექსპერიმენტული კვლევებია შესრულებული უკრაინელი მეცნიერების მიერ. მათ მიერ 103, 202, 700 და 800 მმ დიამეტრის მილსადენებზე ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები გრაფიკების სახით მოცემულია 1.3 ნახ-ზე, სადაც ნაჩვენებია მრუდები გამოხატავს დამოკიდებულებას ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარესა და დალექვის შრის ფარდობით $h_{\text{კ}} / D_{\text{კ}}$ სიმაღლეს (დალექილი შრის შეფარდება მილსადენის შიგა დიამეტრთან) შორის, მილსადენებში მამდიდრებელი ფაბრიკის გამდიდრების კუდების ჰიდროტრანსპორტირებისას.

1.3 ნახაზე მოცემული გრაფიკებიდან ჩანს, რომ ერთ შემთხვევაში ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარის გაზრდით მილსადენის დალექვის შრის ფარდობითი სიმაღლე მცირდება (იხ. ნახ. 1.3, ა, ბ და დ), ხოლო მეორე შემთხვევაში (იხ. ნახ. 1.3, გ) - იზრდება, რაც ადასტურებს პროცესის სირთულეს. ს. კობერნიკისა და ე. ვოიტენკოს დასკვნების თანახმად, იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც დალექვის ფარდობითი სიმაღლის გაზრდით მცირდება ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარე, ექსპერიმენტული წერტილები (ნახაზე არ არის ნაჩვენებია) განლაგდება გარკვეული ზოლების სახით, როგორც ეს 1.1 და 1.2 ნახაზეზეა მოცემული. ეს იმას ადასტურებს, რომ დალექვის შრის ფარდობითი სიმაღლის ერთი და იმავე მნიშვნელობის დროს შესაძლებელია მილსადენში დამყარდეს ჰიდრონარევის მოძრაობის თუმც ერთმანეთთან მიახლოებული, მაგრამ სხვადასხვა სიჩქარე ან პირიქით, ჰიდრონარევის მოძრაობის ერთი და იმავე სიჩქარეების დროს გვექნედეს მილსადენის დალექვის ფარდობითი სიმაღლის თუმც ერთმანეთთან მიახლოებული, მაგრამ სხვადასხვა სიმაღლეები. ნაწილობრივ დალექილ მილსადენში დალექვის შრის



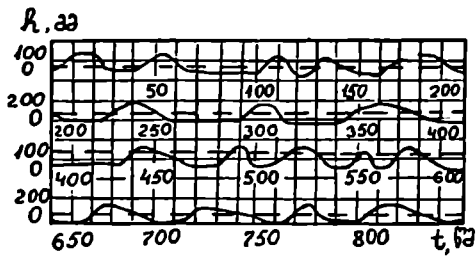
ნახ.1.3. პიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარისა და დალექვის შრის ფადობით $R_{c,el}/D_{\Sigma}$ სიმაღლეს შორის დამოკიდებულება მილსადენში მამდიდრებელი ფაბრიკის გამდიდრების კულების პიდროტრანსპორტირებისას: ა - მილსადენში $D_{\Sigma} = 103$ მმ; $\rho_{\Sigma} = 3200$ კგ/მ³: 1 - $d_{\Sigma} = 0,07$ მმ; 2 - $d_{\Sigma} = 0,15$ მმ; 3 - $d_{\Sigma} = 0,30$ მმ; ბ - მილსადენში $D_{\Sigma} = 202$ მმ: $d_{\Sigma} = 0,30$ მმ; $\rho_{\Sigma} = 3360$ კგ/მ³. გ - მილსადენში $D_{\Sigma} = 700$ მმ; $d_{\Sigma} = 0,31$ მმ; $\rho_{\Sigma} = 3200$ კგ/მ³; დ - მილსადენში $D_{\Sigma} = 800$ მმ; $d_{\Sigma} = 0,16$ მმ; $\rho_{\Sigma} = 1050$ კგ/მ³.

მუდმივობისას, შესაძლებელია ჰიდრონარევის ხარჯი და, შესაბამისად, სიჩქარე იცვლებოდეს, რასაც ადასტურებს 1.1 და 1.2 ნახაზებზე მოცემული ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები.

1.3. ჰიდრონარევის მყარი ფაზის მოძრაობის ტალღური რეჟიმი

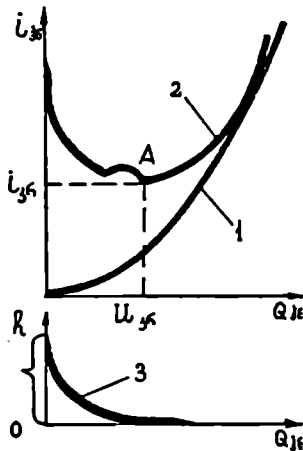
ჰორიზონტალურ მილსადენებში ჰიდრონარევების მოძრაობისას ჰიდრონარევის კონცენტრაციის, მყარი ნაწილაკების სისხოს და სიმკვრივის, აგრეთვე საშუალო სიჩქარეების გარკვეული დიაპაზონის დროს მყარი ნაწილაკები წარმოქმნის ე.წ. „სიმღვრივის ღრუბელს“. ამ დროს მყარი ფაზა ნაკადის ფსკერზე არათანაბრად ნაწილდება და ნაკადი წარმოადგენს მყარი ნაწილაკებით გაჯერებულ და მისგან სრულიად თავისუფალი შრეების ურთიერთშენაცვლებად არეებს. მოძრაობის საშუალო სიჩქარის მნიშვნელოვნად გაზრდის შემთხვევაში შესაძლებელია მიღწეულ იქნეს ნაკადში მყარი ნაწილაკების შედარებით თანაბრად განაწილება როგორც სიგრძეზე, ასევე სიმაღლეზე. ნაკადის საშუალო სიჩქარის მისი კრიზისულ მნიშვნელობამდე შემცირებისას, მყარ ნაწილაკები, წარმოადგენს რა ე.წ. „სიმღვრივის ღრუბლის“ საფუძველს. ნაკადის ფსკერზე შესაძლებელია შეყოვნდეს და ხელი შეუწყოს მყარი ფაზის მოძრაობის ტალღური რეჟიმის დაწყებას. ამ დროს მყარი ნაწილაკები მოძრაობის მიმართულებით წარიტაცება ტალღის დამრეცი აღმავალი შტოს მიერ, მიაღწევს რა ტალღის პიკს, იწყებს ვარდნას ტალღის დაღმავალ შტოზე. ვარდნის კუთხე, რომელიც მოცემული მყარი ნაწილაკის წყალში ხახუნის ტოლია, უფრო ციცაბოა და ნაკლები აღმავალი შტოს დახრის კუთხეზე. წარიტაცებს რა მყარ ნაწილაკებს და გადაადგილებს რა მათ, ტალღები ქმნის შთაბიჭვდილებას მყარი ნაწილაკების ტალღური მოძრაობისა (მაგ., როგორც ქვიშის ტალღები), რომლებიც მცირე სიჩქარით (წამში რამდენიმე სმ სიჩქარით ან უფრო ნაკლები) გადაადგილებიან ნაკადის დინების მიმართულებით. ცდებით დადგენილ იქნა, რომ ქვიშოვანი მყარი მასალის ტალღური მოძრაობა შესაძლებელია წარმოიშვას შედარებით დაბალი სიჩქარეებისას და მყარი ფაზის თხევად ფაზასთან შეფარდების (მყ: თხ=1:10) დროს. ასე, მაგალითად, წვრილმარცვლოვანი ქვიშებისათვის $U = (1 - 2) მ/წმ$, საშუალომარცვლოვანი ქვიშებისათვის $U = (1,2 - 2,5) მ/წმ$, მსხვილ-მარცვლოვანი ქვიშებისათვის $U = (1,5 - 3,0) მ/წმ$.

ჰიდროტრანსპორტირების დროს მილსადენის ფსკერზე ქვიშის მოძრაობის ტალღური რეჟიმის ხასიათი მოცემულია 1.4 ნახაზზე.



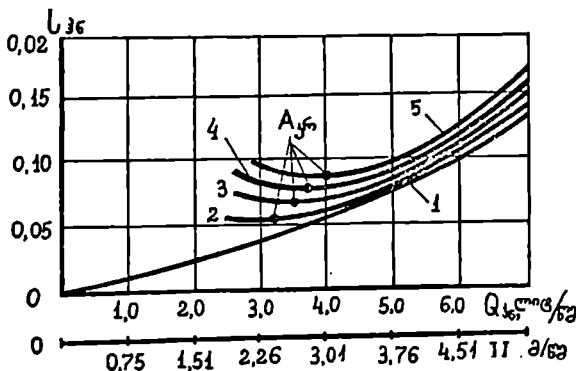
ნახ.1.4. მყარი ფაზის (ქვიშის) მოძრაობის ტალღური რეჟიმის (მილსაღენში ნაწილობრივად დალექილი რეჟიმის წარმოქმნის პროცესის სქემა) ხასიათი 450 მმ შიგა დამეტრის მილსაღენში, როდესაც $U=2,5$ მ/წმ, $S=0,2$

მილსაღენის ფსკერზე ტალღების წარმოშობა იწვევს ჰიდრონარევის არათანაბარ და დაუმყარებელ მოძრაობას, რაც, თავის მხრივ, განაპირობებს წნევის დამატებით ინერციულ დანაკარგებს. ტალღური რეჟიმის არეები ხასიათდება გაზრდილი წნევის დანაკარგებით, რაც, ნათლად ჩანს 1.5 ნახაზიდან. აღნიშნულ არეში წნევის დანაკარგების მრუდზე წარმოიშობა ე.წ. „კუზი“. ამდენად, სამრეწველო დანიშნულების ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში თავიდან უნდა იქნეს აცილებული ასეთი რეჟიმები.



ნახ.1.5. მილსაღენში წნევის დანაკარგის დამოკიდებულება ხარჯისაგან (სიჩქარისაგან): 1 - სუფთა წყლისათვის; 2 - ჰიდრონარევისათვის; 3 - მილსაღენის ნაწილობრივად დალექვის მრუდი

იმისათვის, რომ მილსადენის ქვედა ნაწილი დაცულ იქნეს ჰიდროაბრაზიული ცვითისაგან ნაწილობრივ დალექვით, აუცილებელია წარმოიქმნას მილსადენის დიამეტრის 10-15 % სიმაღლის ნაწილობრივ დალექვის შრე ისე, რომ მას შეესაბამებოდეს წნევის მინიმალური დანაკარგები, ისე, როგორც ეს მოცემულია 1.6 ნახაზზე. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, კრიზისული რეჟიმის წერტილები ($A_{კ}$) მარჯვნივ უნდა იქნეს განლაგებული ჰიდრონარეგების მოძრაობისა და წნევის დანაკარგების მრუდების ექსტრემუმიდან.



ნახ.1.6. წნევის დანაკარგების დამოკიდებულება ხარჯისაგან (Q) (სიჩქარისაგან - U) 130 მმ შიგა დიამეტრის მილსადენში $d_{\text{სა}} = 0,11$ მმ დიამეტრის ქვიშის ტრანსპორტირებისას: 1 - წყლის მოძრაობისას; 2 - ჰიდრონარევის მოძრაობისას, როცა მყ:თხ=1:50, ხოლო ჰიდრონარევის სიმკვრივე $\rho_{\text{ხ}} = 1028$ კგ/მ³; 3- როცა მყ:თხ=1:30, $\rho_{\text{ხ}} = 1053$ კგ/მ³; 4 - როცა მყ:თხ=1:14 $\rho_{\text{ხ}} = 1140$ კგ/მ³; 5 - როცა მყ:თხ=1:8, $\rho_{\text{ხ}} = 1169$ კგ/მ³.

1.4. ჰიდროტრანსპორტირების ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრა ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში

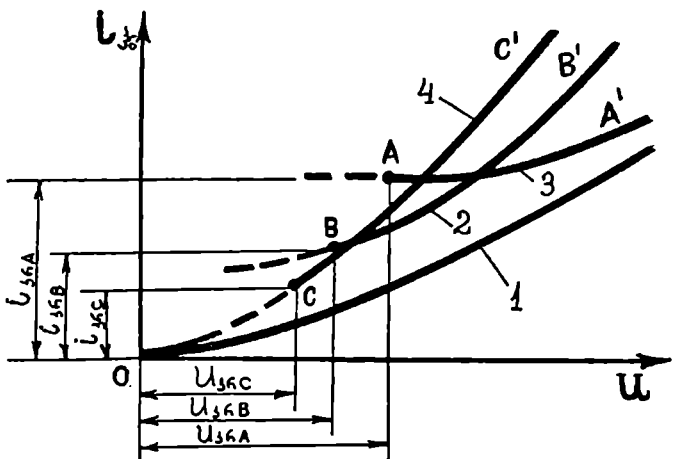
კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ მრგვალი კვეთის ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში ჰიდრონარეგების მოძრაობის სიჩქარეები უმნიშვნელოდ განსხვავდება კრიზისული სიჩქარის მნიშვნელობისაგან (სხვა

დანარჩენი პარამეტრების იდენტურობის შემთხვევაში), რაც აიხსნება დალექილი შრის არსებობისას ნაკადის ცოცხალი კვების ფორმისა და ფართობის, აგრეთვე მოძრაობის ზედაპირის (მოძარობა ძირითადად დალექვის შრეზე მიმდინარეობს) სიმქისის შეცვლით. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, რადგან დალექილი შრის სიმაღლე არ უნდა აღემატებოდეს $h_{\Sigma} = (0,10 - 0,15)D_1$, აღნიშნული განსხვავება უმნიშვნელოა.

დალექილი შრის სიმაღლესთან დაკავშირებული მოსაზრებები მოცემული იყო 1.2 პარაგრაფში. აქ კი უფრო დაწვრილებით განვიხილოთ დაწნევის კუთრი დანაკარგებისა და ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრასთან დაკავშირებული საკითხები.

როგორც წინა თავებში განხილული მასალებიდან ჩანს, დღესდღეობით არ არსებობს ერთიანი აზრი და განზოგადებული დამოკიდებულებები დაწნევის კუთრი დანაკარგებისა და ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრავად დაულუქავი მილსადენებისთვისაც კი. ცხადია, ეს საკითხი კიდევ უფრო გართულებულია ნაწილობრივ დალექილი მილსადენებისათვის.

ამ საკითხის განხილვისათვის ინტერესს მოკლებული არ იქნება დაულუქავ მილსადენებში ჰიდრონარევის კრიზისული ან კრიზისულთან მიახლოებული



ნახ.1.7. დაწნევის კუთრი დანაკარგების ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარისაგან ფუნქციური დამოკიდებულების განზოგადებული მრუდები მილსადენებში წყლისა (1) და ჰიდრონარევის (2,3 4) ტრანსპორტირებისას

სინქარეებით მოძრაობისას დაწნევის კუთრი დანაკარგების განზოგადებული მრუდების ანალიზი. ასეთი მრუდები მოცემულია 1.7 ნახაზზე.

ამ ნახაზზე მოცემული მრუდები შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც $i_x = f(u)$ ფუნქციური დამოკიდებულების სამი პირობითი ჯგუფის განზოგადება.

1. მრუდი $i_x = f(u)$ სინქარის შემცირებისას უახლოვდება კრიზისულ სინქარეს პრაქტიკულად დაწნევის კუთრი დანაკარგის გრადიენტის გარეშე (მრუდი AA'), რასაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს საშუალომარცვლოვანი მყარი ნაწილაკების ჰიდროტრანსპორტირებისას.

2. წვრილმარცვლოვანი მყარი ნაწილაკების ჰიდროტრანსპორტირების სინქარის შემცირებისას მრუდი $i_x = f(u)$ უახლოვდება კრიზისულს დაწნევის კუთრი დანაკარგის მნიშვნელოვანი გრადიენტის არსებობისას (მრუდი CC').

3. შესაძლებელია ფუნქციური დამოკიდებულების ისეთი მრუდები, რომელთაც წინა ორს შორის საშუალო მდგომარეობა უკავია (მაგ., მრუდი BB'). ასეთი მრუდები დამახასიათებელია, მაგალითად, საშუალომარცვლოვანი გამღიდრების კუდებისათვის, როდესაც ჰიდრონარევი $d_{\text{ჰ}} = 0,074$ სისხოს მყარი ნაწილაკების რაოდენობა 50%-ს აღემატება.

დაევშვათ, რომ ჰიდროტრანსპორტირების კრიზისულ არეში ჰიდრონარევის მოძრაობის სინქარის კრიზისულზე ცოტა მეტი ან ცოტა ნაკლები მნიშვნელობების დროს, როდესაც ჯერ კიდევ არ არის წარმოქმნილი დალექვის შრე, $i_x = f(u)$ ფუნქციური დამოკიდებულებების მრუდი ინარჩუნებს კრიზისული რეჟიმისათვის დამახასიათებელი მრუდის ფორმას. ეს შესაძლებელია სინქარეების კრიზისული მნიშვნელობიდან მხოლოდ უმნიშვნელო გადახრისას. ამ დაშვების გათვალისწინებით დავაკვირდეთ, თუ როგორ შეიცვლება დაწნევის კუთრი დანაკარგების მრუდი, სინქარის კრიზისულ სინქარესთან შედარებით, ΔU მნიშვნელობით შემცირებისას. ეს 1.7 ნახაზზე მოცემული ცალკეული მრუდისათვის გამოიწვევს დაწნევის კუთრი დანაკარგის შემცირებას შესაბამისად Δi_x -ით, რომელსაც ყველაზე დიდი მნიშვნელობა ექნება CC' მრუდის, ხოლო ყველაზე მცირე AA' - მრუდის შემთხვევაში. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ კრიზისული სინქარის დროს AA' მრუდი პრაქტიკულად პორიზონტალური ხდება, მაშინ $\Delta i_x = 0$. გარდა ამისა, სინქარის

ΔU მნიშვნელობით შემცირების გამო დაიწყებს წარმოქმნას დალექილი შრე, რომელიც, თავის მხრივ, გამოიწვევს დაწნევის კუთრი დანაკარგების $\Delta i_{c,e}$ სიდიდით გაზრდას. როგორც ამ ანალიზიდან ჩანს, ჰიდრონარევის მოძრაობის სინქარის ΔU მნიშვნელობით შემცირება, კრიზისულ სინქარესთან შედარებით, ერთის მხრივ, იწვევს დაწნევის კუთრი დანაკარგების შემცირებას Δi_u სიდიდით, ხოლო მეორეს მხრივ, მის გაზრდას $\Delta i_{c,e}$ სიდიდით. Δi_u და $\Delta i_{c,e}$ შორის შეფარდებისდა მიხედვით ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს 1.8 ნახაზზე განხილულ შემთხვევებს.

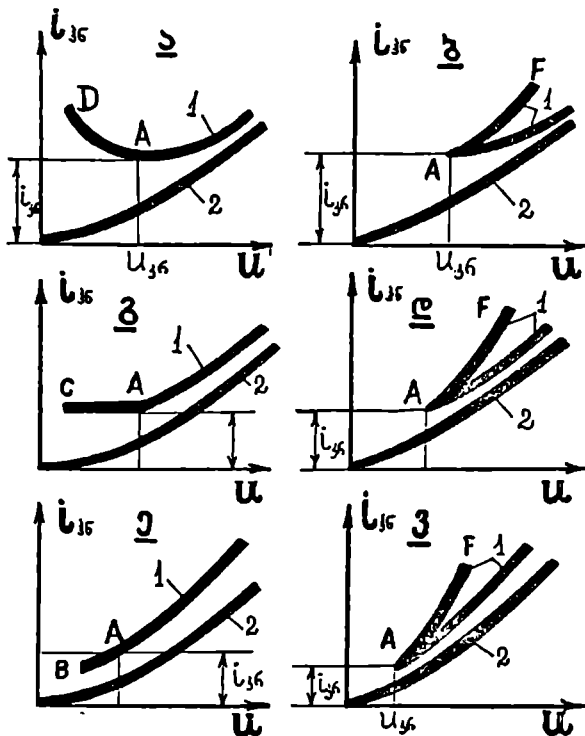
1. თუ Δi_u და $\Delta i_{c,e}$ აბსოლუტური მნიშვნელობები ტოლია, ხოლო მათი რეჟიმზე გავლენა ურთიერთსაწინააღმდეგო, მაშინ კრიზისული რეჟიმიდან გადასვლა ნაწილობრივ დალექილ რეჟიმზე არ იწვევს კუთრი დანაკარგების შეცვლას ანუ, თუ $\Delta i_u = \Delta i_{c,e}$, მაშინ დაწნევის კუთრი დანაკარგები ორივე რეჟიმის დროს ტოლი იქნება. ასეთ შემთხვევაში ფუნქციური დამოკიდებულება $i_{c,e} = f(u_{c,e})$ ნაწილობრივ დალექილი რეჟიმის შემთხვევაში გამოისახება AC სწორი ხაზით (იხ. ნახ. 1.8, გ).

2. თუ $\Delta i_u > \Delta i_{c,e}$, მაშინ სინქარის ცვალებადობით გამოწვეული დაწნევის კუთრი დანაკარგი მეტია, ვიდრე დალექვის შრის სიმაღლით განპირობებული დაწნევის დანაკარგები. ამიტომ კრიზისული რეჟიმიდან ნაწილობრივ დალექილ რეჟიმზე გადასვლისას დაწნევის კუთრი დანაკარგი, კრიზისულ რეჟიმთან შედარებით, შემცირდება, ხოლო დამოკიდებულება $i_{c,e} = f(u_{c,e})$ გამოისახება AB მრუდით (იხ. ნახ. 1.8, ე).

3. თუ $\Delta i_u > \Delta i_{c,e}$, მაშინ კრიზისული რეჟიმიდან ნაწილობრივ დალექილ რეჟიმზე გადასვლისას ფუნქციური დამოკიდებულება $i_{c,e} = f(u_{c,e})$ გამოისახება AD მრუდით (იხ. ნახ. 1.8, ა).

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, დაწნევის კუთრი დანაკარგის მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობის სინქარისაგან დამოკიდებულება, ანუ მრუდი $i_{c,e} = f(u_{c,e})$, ხარჯის(სინქარის) შემცირებით განპირობებული ნაწილობრივ დალექილი რეჟიმის დროს დამოკიდებულია ამავე ფუნქციის

ხასიათზე დაუღუქუაქვი რუქვიმის დროს. ამდენად, ნაწილობრივ დაღუქვილი რუქვიმის დროს დამოქვიდებულუბა $i_{\text{კ},\text{დ}} = f(u_{\text{კ},\text{დ}})$ გაანალი ზებული უნდა იქნეს $i_j = f(u)$



ნახ.1.8. ნაწილობრივ დაღუქვილ მილსადენში დაწნევის კუთრი დანაკარგების ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარისაგან დამოქვიდებულუბის შესაძლო დამახასიათებელი შემთხვევები: 1 - ჰიდრონარევის მოძრაობისას; 2 - წყლის მოძრაობისას

მრუდების შედარებით წყლისა და ჰიდრონარევის კრიზისულზე მეტი სიჩქარეებით მოძრაობისას მილსადენში.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, დაუღუქუაქვი (კრიზისული) რუქვიმიდან გადასვლა ნაწილობრივ დაღუქვილ რუქვიმზე შესაძლებელია არა მხოლოდ სიჩქარის შემცირებისა და ჰიდრონარევის სიმკვრივის მუდმივობის დროს, არამედ იმ შემთხვევაშიც, როდესაც შენარჩუნებულია იგივე სიჩქარე, ხოლო ჰიდრონარევის სიმკვრივის იმაზე მეტად გაზრდის შემთხვევაში, რომელიც მას

ქონდა კრიზისულ რეჟიმში, თუ შენარჩუნებული იქნება იგივე სიჩქარე (ხარჯი), ნაწილობრივ დალექილ მილსადენში U_{ϵ} იქნება კრიზისულ U_{μ} სიჩქარეზე მეტი. სიჩქარის გაზრდა Δu მნიშვნელობით, კრიზისულ სიჩქარესთან შედარებით, გამოიწვევს დაწნევის კუთრი დანაკარგების გაზრდას Δi_u სიდიდით. ამავე დროს, დაწნევის კუთრი დანაკარგი დალექვის შრის წარმოშობის გამო, Δi_{ϵ} -ით გაიზრდება. შესაბამისად, ამ შემთხვევაში სიჩქარის ΔU ცვლილება განაპირობებს დაწნევის კუთრი დანაკარგის ცვალებადობას $\Delta i_u + \Delta i_{\epsilon}$ მნიშვნელობამდე. ამის გამო ჰიდრონარევის სიმკვრივის გაზრდით კრიზისული რეჟიმიდან გადასვლა ნაწილობრივ დალექილ რეჟიმში გამოიწვევს დაწნევის კუთრი დანაკარგის გაზრდას კრიზისულ რეჟიმთან შედარებით. ამ შემთხვევაში ფუნქციური დამოკიდებულება $i_{\epsilon} = f(u_{\epsilon})$ შეიძლება დახასიათდეს AF მრუდით (იხ.ნახ. 1.8, ბ). ამ მრუდის ფორმაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ტრანსპორტირებული მყარი მასალის ნაწილაკების სისხო. რაც მეტია მყარი ნაწილაკების სისხო, მით უფრო მეტი იქნება განსხვავება დაწნევის კუთრი დანაკარგებს შორის ნაწილობრივ დალექილი და დაუღეპავი რეჟიმებისათვის მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობის ერთი და იმავე სიჩქარეების დროს.

1.8 ნახაზზე მოცემული მრუდების ანალიზი, რომლებიც გამოხატავენ თეორიულად ფუნქციურ დამოკიდებულებას $i_{\epsilon} = f(u_{\epsilon})$, ნაწილობრივ დალექილი რეჟიმების დროს მილსადენებში ჰიდრონარევის მოძრაობის სრულ და ნათელ სურათს არ იძლევა. ამდენად, არ შეიძლება მათი მიხედვით გამოყვანილ იქნეს თეორიული დამოკიდებულებები ჰიდროტრანსპორტირების ძირითადი პარამეტრების - დაწნევის კუთრი დანაკარგებისა და სიჩქარეების (ხარჯის) ცვალებადობის განსასაზღვრავად. ამისათვის საჭიროა დამუშავდეს მეთოდები, რომლებიც ძირითადად ექსპერიმენტულ შედეგებზე იქნება დაფუძნებული.

ჰიდროტრანსპორტირების ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდიკა ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში ითვალისწინებს კრიზისული სიჩქარის, წნევის დანაკარგების, ჰიდრონარევის ხარჯისა და დალექვის შრის სიმაღლის გამოანგარიშებას.

კრიზისული სიჩქარე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ა. იუფინის მიერ შემუშავებული ფორმულით, რომელიც მართებულია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $D_p \geq 0,2$ მ,

$$U_{\text{კ}} = 9,8\sqrt{D_3} \sqrt[3]{W} \left(\frac{\rho_m}{\rho_{\text{წ}}^2} - 0,4 \right), \quad (1.1)$$

სადაც ρ_m წყლისა და თიხოვანი ნაწილაკების ჰიდრონარევის სიმკვრივეა. როგორც ავტორი აღნიშნავს, (1.1) ფორმულა არ ითვალისწინებს დალექილი შრის ზედაპირის სიმქისის დინამიკურ აქტიურობას, რაც ძალზე უმნიშვნელო გავლენას ახდენს ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარეზე (ხარჯზე), რომელიც შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ფორმულით

$$Q_{\text{ვ.ღ}} = U_{\text{კ}} \omega_{\text{ვ.ღ}}, \quad (1.2)$$

აქ $\omega_{\text{ვ.ღ}}$ ნაწილობრივ დალექილი მილსადენის ცოცხალი კვეთის ფართობია.

მილსადენის მთელ სიგრძეზე დაწნევის დანაკარგები განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\Delta H = \sum_{j=1}^n i_{\text{კ},j} l_j + \sum_{k=1}^m \Delta h_{\text{კ},k}, \quad (1.3)$$

სადაც n მილსადენის სწორხაზოვანი უბნების რაოდენობაა; m - ადგილობრივი წინაღობების რაოდენობა; j და k - აჯამვის ცვლადი ინდექსები.

მილსადენის სწორხაზოვან უბნებზე დაწნევის კუთრი დანაკარგები შეიძლება გამოანგარიშებულ იქნეს ფორმულით

$$i_{\text{კ},j} = b \frac{U_{\text{კ}} D_3}{g R_3 \Delta h_{\text{ვ.ღ}}}, \quad (1.4)$$

აქ

$$b = 0,0022 \frac{\rho_{\text{კ}}}{\rho_{\text{წ}}^2} - 0,0014 \left\{ \left(1 - \frac{d_{\text{მ}}}{d_3} \right) \left[1 - \left(\frac{\Delta h_{\text{ვ.ღ}}}{D_3} \right)^2 \right] \right\}. \quad (1.5)$$

ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში დაწნევის კუთრი დანაკარგების განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გამოსახულება

$$i_{\text{კ}} = i'_{\text{წ}} + \Delta i_{\text{კ}} \frac{Q_{\text{კ}}}{Q}, \quad (1.6)$$

სადაც $i'_{\text{წ}}$ არის დაწნევის კუთრი დანაკარგი დაუდექავ მილსადენში სუფთა წყლის მოძრაობის დროს, რომელიც ტოლია კრიზისული ($U_{\text{კ}}$) სიჩქარით მოძრაობის დროს დაწნევის კუთრი დანაკარგისა;

$$\Delta i_{\text{კ}} = \frac{d_{\text{სა}}}{D_3} \sqrt{K'_{\text{კ}}} \sqrt{S^2}, \quad (1.7)$$

$K'_{\text{კ}}$ - მყარი მასალის ნაწილაკების არაერთგვაროვნების კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება მყარი მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობის მრუდის მიხედვით.

მილსადენში დალექილი შრის სიმაღლე გამოითვლება ფორმულით

$$h_{\text{კ}} = D_3 \cdot 0,4 \sqrt{Q_{\text{კ}} / Q - 1}. \quad (1.8)$$

ექსპერიმენტებით დადგენილ იქნა, რომ ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში ჰიდრონარევის ხარჯი დამოკიდებულია დალექილი შრის სიმაღლეზე. ეს დამოკიდებულება შეიძლება განისაზღვროს ა. სტარიკოვის მიერ გამოყვანილი ფორმულით

$$Q = Q_{\text{კ}} \left(1 - \frac{h_{\text{კ}}}{0,75 D_3}\right). \quad (1.9)$$

ეს დამოკიდებულება მართებულია პირობებისათვის $h_{\text{კ}} \leq 0,3 D_3$.

ჰიდრონარევის მილსადენის დალექილი შრის ზედა ცოცხალ კვეთში მოძრაობის სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით

$$U = \frac{1 - \frac{h_{\text{კ}}}{0,75 D_3}}{1 - \frac{\varphi}{180} + \frac{1}{n} \left(1 - \frac{2h_{\text{კ}}}{D_3}\right) \sin \varphi} U_{\text{კ}}, \quad (1.10)$$

აქ

$$\varphi = \arccos \left(1 - \frac{2h_{\text{კ}}}{D_3}\right). \quad (1.11)$$

გარდა ზემოთ განხილული მეთოდისა და მოყვანილი ფორმულებისა, არსებობს მრავალი მეთოდი, რომლებიც განიხილავენ ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში ჰიდრონარევის მოძრაობის რეჟიმებს.

ერთ-ერთი ასეთია ა. სმოლდირევის მეთოდი, რომელშიც განხილულია ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში მრავალფრაქციული ფხვიერი მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტირების საკითხები. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დაყრდნობით ავტორი იძლევა

დაწნევის კუთრი დანაკარგების გამოსათვლელ ფორმულას. მილსადენში ნახშირის, ქვიშა-ლორღისა და ნაშხვრევი გრანიტის ჰიდროტრანსპორტირების შემთხვევისათვის:

$$i_{\epsilon} = i_{\gamma} + K_1 \left[\frac{gD_3 \sqrt[3]{S^2}}{U_{\epsilon}^2} \cdot \frac{h_{\epsilon}}{D_3} - K_2 \right], \quad (1.12)$$

აქ K_1 არის კოეფიციენტი, რომელც ითვალისწინებს მილსადენის კედლებთან მყარი ნაწილაკების გავლენას ზახუნის დაძაბულობაზე. სხვადასხვა გრანულომეტრიული შედგენილობის მყარი მასალებისათვის $K_1 = 0.17 - 2.5$; $K_2 = 0.0035 - 0.0105$ - კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს ჰიდრონარევის მოძრაობის თავისებურებას დალექვის შრის მცირე სიმაღლის გამო. მისი მცირე მნიშვნელობის გამო ზოგიერთი მყარი მასალისათვის მას მხედველობაში არ იღებენ; U_{ϵ} - ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარე ნაწილობრივ დალექილ მილსადენში

$$U_{\epsilon} = U_{\gamma} \sqrt{\cos\left(\frac{h_{\epsilon} \sqrt{gd_{\text{სა}}}}{D_3 W} \pi\right)}. \quad (1.13)$$

განხილულ შემთხვევაში დაუღექავ მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობის კრიზისული სიჩქარე

$$U_{\gamma} = K' \sqrt{D_3} \sqrt{\frac{aSW'}{\sqrt{d_{\text{სა}}}}}, \quad (1.14)$$

სადაც $K' = 6.5 - 8$ არის ექსპერიმენტული კოეფიციენტი; W' - მყარი ნაწილაკების შეზღუდული ვარდნის სიჩქარე მილსადენში, რომელიც იანგარიშება ფორმულით

$$W' = W(1 - S)^{2.5}. \quad (1.15)$$

დაუღექავ მილსადენში დაწნევის კუთრი დანაკარგები ამ შემთხვევისათვის იქნება

$$i_{\gamma} = i_{\text{ვ}} + k_3 \frac{SU_{\gamma}^3}{gD_3 W} \sqrt{\frac{d_{\text{სა}}}{D_3}}, \quad (1.16)$$

აქ K_3 არის ექსპერიმენტული კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა სხვადასხვა სახისა და სხვადასხვა გრანულომეტრიული შედგენილობის მყარი მასალებისათვის აიღება $K_3 = 0.024 - 0.135$.

ი. ხასკელბერგისა და ბ. კარლინის მეთოდის მიხედვით, რომელიც დამუშავებულია $D_3 = 100 - 500$ მმ დიამეტრის ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში წვრილი და საშუალოდისპერსიული ქვიშების ჰიდროტრანსპორტირების შემდგომისათვის, დაწნევის კუთრი დანაკარგები იანგარიშება ფორმულით

$$i_{\text{დ.ე.}} = j_{\text{კ}} \left(\frac{Q_{\text{კ}}}{Q_{\text{დ.ე.}}} \right)^{0.13}, \quad (1.17)$$

სადაც $Q_{\text{დ.ე.}}$ არის ნაწილობრივ დალექილ მილსადენში ჰიდრონარევის ხარჯი.

$$i_{\text{კ}} = i_{\text{ფ}} \left[1 + 165S \left(\frac{U'_{\text{კ}}}{gD_3} \sqrt{K_{\phi}} \right)^{-1.4} \right], \quad (1.18)$$

აქ $U'_{\text{კ}}$ მილსადენის ფსკერსმიმდებარე შრეში ჰიდრონარევის წამრეცხი სიჩქარეა; K_{ϕ} - სხვადასხვაგვარი მყარი მასალების ნაწილაკების წყალში თავისუფალი ვარდნის დროს საშუალო წინაღობის კოეფიციენტი. იმავე ავტორების მიერ წამრეცხი სიჩქარის მნიშვნელობის გამოსათვლელად რეკომენდებულია ემპირიული ფორმულა

$$U_{\text{კ}} = 6.5S^{0.36} \frac{\sqrt{gD_3}}{K_{\phi}^{0.25}}. \quad (1.19)$$

დალექვის მომენტში ჰიდრონარევის მოძრაობის კრიზისული სიჩქარე

$$U_{\text{კ}} = 4.9S^{0.36} \frac{\sqrt{gD_3}}{K_{\phi}^{0.25}}. \quad (1.20)$$

სამთო მამდიდრებელ ფაბრიკებში გამდიდრების ნარჩენების (კულების) მილსადენებში ჰიდროტრანსპორტირების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე მ. ლოშილოვმა მიიღო დაწნევის კუთრი დანაკარგების საანგარიშო დამოკიდებულება ნაწილობრივ დალექილი მილსადენებისათვის

$$i_{6, \text{კ}} = i_{36} \sqrt{\frac{h_{6, \text{კ}}}{D_3} \cdot \frac{\sqrt[3]{S}}{0,0045}} \quad (1.21)$$

დაულექავ მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობისას დაწნევის კუთრი დანაკარგების (i_{36}) გამოსათვლელად იგივე ავტორის მიერ მიღებულ იქნა ემპირიული ფორმულა

$$i_{36} = \frac{\lambda_{36} U^2}{2gD_3} + \frac{0,06d_{\text{საგ}}^{0,33} S^n g^{0,5} D_3^{0,166}}{\Psi U} \left(\frac{\rho_{\text{მყ}} - \rho_{\text{წყ}}}{\rho_{\text{წყ}}} \right)^{1,5} \cdot \frac{1}{D_3}, \quad (1.22)$$

აქ Ψ არის ემპირიული კოეფიციენტი, რომელიც ასე გამოითვლება:

$$\Psi = 0,05 \left(\frac{1}{d_{\text{საგ}}} \right)^{0,5} \quad (1.23)$$

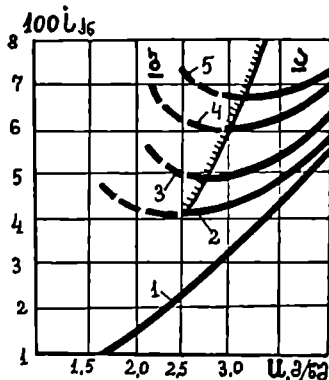
(1.23) ფორმულაში ხარისხის მაჩვენებელი $n = 0,5$, როცა $S \leq 0,1$ და $n = 0,49 + 3C$, როცა $S > 0,1$.

მის მიერვე შემუშავებული მეთოდის მიხედვით, იმავე პირობებისათვის ჰიდრონარევის დაულექავ მილსადენში მოძრაობის შემთხვევაში კრიზისული სიჩქარე იანგარიშება ფორმულით

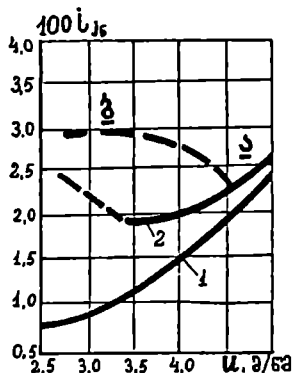
$$U_{\text{კრ}} = \sqrt{\frac{d_{\text{საგ}}^{0,5} g^{1,5} S^{0,5} D_3 \left(\frac{\rho_{\text{მყ}} - \rho_{\text{წყ}}}{\rho_{\text{წყ}}} \right)^{1,5}}{\lambda_{36} \Psi}} \quad (1.24)$$

ნახ.1.9 და 1.10 ნახაზებზე მოცემულია ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების მიხედვით აგებული დაწნევის კუთრი დანაკარგების ჰიდრონარევის მილსადენში მოძრაობის სიჩქარისაგან დამოკიდებულების მრუდები, როდესაც ადგილი აქვს ნაწილობრივ დალექილ რეჟიმს.

1.9 ნახაზიდან ჩანს, რომ მილსადენში საშუალომარცვლოვანი ($d_{\text{საგ}} = 0,30$ მმ) გამდიდრების კუდების ჰიდრონარევის ტრანსპორტირებისას, რომელიც შეიცავს $d_2 < 0,074$ მმ ზომის მყარ ნაწილაკებს 16 %-ის რაოდენობით, დაწნევის კუთრი დანაკარგები (ბ ზონა) იზრდება დალექილი შრის სიმაღლის გაზრდისას და სიჩქარის შემცირებისას. იგივე მკვლევარების მიერ ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გამოავლინა საწინააღმდეგო შედეგები ზოგიერთ შემთხვევაში (იხ.ნახ. 1.10). ზოგიერთი პირობისათვის ჩატარებული ექსპერიმენტების დროს კი დაწნევის კუთრი დანაკარგები პრაქტიკულად არ იცვლებოდა დალექილი



ნახ. 1.9. დაწნევის კუთრი დანაკარგების პიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარისაგან დამოკიდებულება ნაწილობრივ დაღექილ მილსადენში $D_3 = 202$ მმ, გამდიდრების კუდების ($d_{L3} = 0.30$ მმ, $\rho_{3j} = 3360$ კგ/მ³) ტრანსპორტირებისას: 1 - მილსადენში სუფთა წყლის მოძრაობისას; 2,3, 4 და 5 - პიდრონარევის ხარჯითი სიმკვირიეების შესაბამისად 1050 კგ/მ³, 1100 კგ/მ³, 1150 კგ/მ³, 1200 კგ/მ³ ღრუს; ა-დაუღექავი რეჟიმის ზონა; ბ- ნაწილობრივ დაღექილი რეჟიმის ზონა



ნახ.1.10. დაწნევის კუთრი დანაკარგების პიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარისაგან დამოკიდებულება ნაწილობრივ დაღექილ მილსადენში $D_3 = 614$ მმ წყლისა და ქვიშის ტრანსპორტირებისას: 1 - მილსადენში სუფთა წყლის მოძრაობისას; 2 - ქვიშისა და წყლის პიდრონარევის ($d_{L3} = 0.27$ მმ, $\rho_{3j} = 2650$ კგ/მ³) ტრანსპორტირებისას; ა - დაუღექავი რეჟიმის ზონა; ბ - ნაწილობრივ დაღექილი რეჟიმის ზონა

შრის სიმაღლისაგან დამოკიდებულებით, რაც იმას ადასტურებს, რომ მილსადენში ნაწილობრივ დაღეჭილი რეკიშები არასაკმარისადაა შესწავლილი და საჭიროებს ექსპერიმენტებს სხვადასხვა დიამეტრის, პიდრონარევისა და მისი შემდგენი ფაზების პარამეტრების ცვალებადობით ფართო დიაპაზონში.

თავი 2. ჰიდროტრანსპორტი ღარებსა და არხებში

ღარები და არხები (შესაძლებელია იყოს ღია ან დახურული) გამოიყენება უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტის შემთხვევაში. მყარი ფხვიერი მასალების წყლის ნაკადთან ჰიდრონარევის უდაწნეო ანუ თვითღინებით ჰიდროტრანსპორტირება შესაძლებელია განხორციელდეს სიმძიმის ძალის მოქმედებით, თუ ამის საშუალებას იძლევა ტრანსპორტირების საწყის და საბოლოო წერტილებს შორის ნიშნულთა სხვაობა – გეომეტრიული სიმაღლე. ასეთ შემთხვევაში ჰიდრონარევის ნაკადს ყოველთვის თავისუფალი ზედაპირი აქვს.

უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტს შემდეგი ძირითადი დადებითი თვისებები აქვს: ჰიდრონარევი ტრანსპორტირებისათვის საერთოდ არ საჭიროებს ენერგოდანხარჯებს, განხორციელებისთვის მოითხოვს მცირე კაპიტალდაბანდებებს, ახასიათებს ექსპლუატაციის მაღალი საიმედოობა (არ არის საშიშროება არაგაბარიტებისა და უცხო საგნების მოხვედრისას ანომალიური რეჟიმების წარმოშობისა). მის ძირითად უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ჰიდროტრანსპორტირებისათვის ნიშნულთა სხვაობის აუცილებლობა ტრანსპორტირების მთელ მანძილზე.

სამთო მრეწველობაში ფართოდ გამოიყენება წყლისა და ჰიდრონარევის ტრანსპორტირება ღარებსა და არხებში როგორც კარიერებზე ღია, ასევე მიწისქვეშა სამუშაოების წარმოებისას.

ღარებისა და არხების გეომეტრიულ ფორმებსა და ზომებზე, მათ მონტაჟსა და ექსპლუატაციაზე, აგრეთვე კონსტრუქციული პარამეტრების გაანგარიშებაზე მასალები დაწვრილებით მოცემულია სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილში და ამავე დისციპლინის დამხმარე სახელმძღვანელოში. აქ განხილული იქნება მხოლოდ ჰიდროტრანსპორტირების პროცესი და მისი ძირითადი პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდები.

2.1. ფხვიერი მყარი მასალის ჰიდროტრანსპორტირების პროცესი ღარებსა და არხებში

უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტის თეორიული საფუძვლები ემყარება ჰიდრონარევის ღია არხებში და ღარებში მოძრაობის შემდეგ ფიზიკურ პროცესებს:

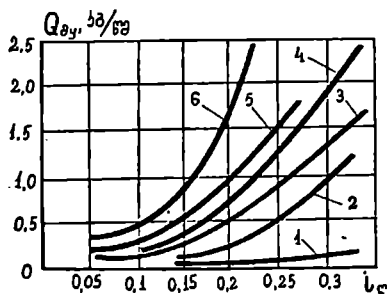
1. ჰიდრონარევის ნაკადი, მოძრაობს რა ჰორიზონტისადმი დახრილ სიბრტყეში, ზრდის თავისი კინეტიკური ენერჯის და შინაგანი ტურბულენტური შერევის ინტენსიურობას.

2. მყარ ნაწილაკებზე მოქმედი ძალები მილსადენის ფსკერზე როგორც გორვით, ასევე თრევით მოძრაობისას ახდენს მათ შერევას შეტივტივებულ მდგომარეობაში.

3. ღარებისა და არხების ფსკერის ჰორიზონტთან დახრის კუთხის (ქანობის) მნიშვნელობის მიხედვით იცვლება მყარი ნაწილაკების მდგრადობა, რადგან მათი წონის ნაწილი დაპროექტდება მოძრაობის მიმართულებაზე. დიდი კუთხეების შემთხვევაში მათი გადაადგილება უფრო ადვილდება, ხოლო თუ ამ კუთხის მნიშვნელობა აღმატება ბუნებრივ ფერდოს მნიშვნელობას, მყარი ნაწილაკები იმოძრავენ უწყლოდ, საკუთარი წონის მოქმედებით. იმყოფება რა ჰიდრონარევის ნაკადში შეტივტივებულ მდგომარეობაში, მყარი ნაწილაკები ამძიძებს ნაკადს, რაც ზრდის ამ უკანასკნელის მამოძრავებელ ძალას.

4. ჰიდრონარევის ნაკადის ფსკერსმიმდებარე არეში მყარი ნაწილაკების არსებობა ზრდის მოძრაობისადმი წინაღობის ძალას.

თვითღინებითი ჰიდროტრანსპორტის ძირთად მახასიათებელს წარმოადგენს ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობა. იგი ახასიათებს მყარი ნაწილაკების ზღვრულ რაოდენობას, რომელიც შეიძლება გადაიტანოს ნაკადმა. ტრანსპორტირების ეფექტურობაზე გავლენას ახდენს ღარისა და არხის ფსკერის ქანობი (დახრის კუთხე ჰორიზონტთან), ნაკადის განივკვეთის ფორმა და ფართობი, წყლის ხარჯი, მყარი ნაწილაკების სიმკვრივე და გრანულომეტრიული შედგენილობა, ადგილობრივი წინაღობები. 2.1 ნახაზზე მოცემულია 100 მმ სიგანის ლითონის ღარში ტრანსპორტირებული მყარი მასალის რაოდენობის ცვალებადობა ღარის ფსკერის ქანობისაგან დამოკიდებულებით.



ნახ. 2.1. ღარში (სიგანით 100 მმ) ტრანსპორტირებული მყარი მასალის რაოდენობის (Q_s) ცვალებადობის დამოკიდებულება ლითონის ღარის ფსკერის ქანობისაგან: 1,2, 3, 4, 5 - შესაბამისად, ჰიდრონარევის 0,5; 0,75; 0,9; 1,5; 2,0 და 3,0 ლიტრი/წმ ხარჯებისათვის

ღარებსა და არხებში ჰიდრონარევის ტრანსპორტირების უნარი დამოკიდებულია მყარი ნაწილაკების სისხოსა და არაერგვაროვნებაზე, აგრეთვე წვრილი ფრაქციების არსებობაზე, რომლებიც განაპირობებენ ნაკადის ტრანსპორტირების უნარს. ასეთი ფრაქციების დამატება მკვეთრად ზრდის მასის მიხედვით ტრანსპორტირების უნარს ნატეხოვანი მყარი ნაწილაკების შემცველობის დროს. ჰიდრონარევი. ნაკადის ტრანსპორტირების უნარზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გადასატანი მყარი ნაწილაკებისა და ფსკერის ურთიერთქმედების ძალა, რომელიც დამოკიდებულია ხახუნის კოეფიციენტზე. ნაკადის ტრანსპორტირების უნარი ხასიათდება კრიზისული სიჩქარით ($U_{კ}$), როდესაც ეს უნარი სრულად გამოიყენება. სიჩქარის შემცირებით ეს უნარი მცირდება. ხოლო გაზრდისას იზრდება.

უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტი შესაძლებელია განხორციელდეს როგორც შეტივტივებულ მდგომარეობაში, ასევე მყარი ნაწილაკების ფსკერზე გორვით. წვრილი ფრაქციები გადაადგილდება შეტივტივებულ მდგომარეობაში, ხოლო ნატეხოვანი ნაწილაკები ძირითადად მოძრაობს ფსკერმიმდებარე შრეებში ხანმოკლე ბიძგებით, გადაგორებით ან სრიალით. მყარი ფაზის მოძრაობის ასეთი რეჟიმები ერთმანეთისაგან ძირითადი პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდით განსხვავდება.

2.2. ფხვიერი მყარი მასალის უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდისა

ფხვიერი მყარი მასალების უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშება გულისხმობს არხებისა და ღარების ფსკერის ქანობისა და მათი განიკვეთის ზომების განსაზღვრას მყარი მასალის მოცემული რაოდენობისათვის წყლის კუთრი ხარჯისა და მყარი ნაწილაკების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების და მიხედვით.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტმა ფართო გამოყენება პოვა მრეწველობის მრავალ დარგში, მათ შორის სამთო მრეწველობაში, ამდენად მისი გამოვლენის ძალზე დიდი სპექტრი არსებობს, რაც აძნელებს ყველასადმი ერთნაირად მისადაგებელი გაანგარიშების მეთოდის შემუშავებას, განსაკუთრებით ძალზე დიდი და ძალზე წვრილი ნაწილაკების არსებობისას ჰიდრონარევის ნაკადში.

უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდისა შედგება ორი,

პრაქტიკულად ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ნაწილისაგან. პირველი ნაწილი ითვალისწინებს კრიზისული სიჩქარისა და საიმედო ტრანსპორტირების სიჩქარის განსაზღვრას, ხოლო მეორე - მათ მიხედვით ღარისა და არხის ჰიდრავლიკური ქანობის განსაზღვრას. საკითხისადმი ასეთი მიდგომა ძალზე ამარტივებს მეთოდის და გაანგარიშების პროცესს.

პირველი ნაწილით გათვალისწინებული გამოთვლებისათვის აუცილებელია მოცემულ იქნეს: ა) სატრანსპორტირებელი ფხვიერი მყარი მასალის მახასიათებელი პარამეტრები - ჰიდრავლიკური სისხო (ან მყარი ნაწილაკის საშუალო დიამეტრი) და სიმკვრივე; ბ) ჰიდრონარევის მახასიათებელი პარამეტრები - ხარჯი და მაქსიმალური კონცენტრაცია. იმ შემთხვევაში, თუ მოცემულია სისტემის ხარჯი მყარი მასალის მიხედვით, ჰიდრონარევის ხარჯისა და კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის საჭიროა მოცემულ იქნეს წყლის ხარჯი ან იგი გამოითვალოს ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე. წყლის რაოდენობა (ხარჯი) ისე უნდა იქნეს შერჩეული, რომ ჰიდრონარევის მაქსიმალური კონცენტრაცია მასის მიხედვით იყოს მყ:თხ=1:1; გ) ღარის ან არხის ძირითადი მახასიათებლები - მათი ფორმა და განივკვეთის ფართობი, აგრეთვე კედლების სიმქისე.

შეტივტივებულ მდგომარეობაში წყლის ნაკადის მიერ წვრილი ნაწილაკების გადატანის პროცესი ღია არხებსა და ღარებში ყველაზე სრულად ასახულია ლენინგრადელი მეცნიერების ვ. კნოროზისა და პ. ევლოკიმოვის მიერ შემუშავებულ მეთოდიკაში. მ. ველიკანოვის მიერ წამოყენებულ იქნა ჰიპოთეზა იმის შესახებ, რომ ჰიდრონარევის ნაკადის ტრანსპორტირების უნარი სიჩქარის კუბის პროპორციულია, რომლის საფუძველზე გამოიყვანა კრიზისული სიჩქარის საანგარიშო ფორმულა

$$U_{კრ} = (3,5 + 50W) \sqrt{\frac{(\rho_1 - \rho_{წყ})(\rho_2 - \rho_1)^2}{\rho_{წყ}}} \quad (2.1)$$

იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ღარებისა და არხების ფკერსმიმდებარე შრეებში ტრანსპორტირდება ნახევრად კლდოვანი ქანები (დამსხვრეული ქვიშაქვა, არგილიტი, ალევროლიტი და სხვ.), რომელთა სისხო 200 მმ-ს არ აღემატება, რეკომენდებულია ვ. შელოვანოვის მიერ შემუშავებული მეთოდიკა, რომლის საფუძველზე მიღებულ იქნა კრიზისული სიჩქარის საანგარიშო ფორმულა

$$U_{კრ} = 9,1K_c \sqrt{gd_{წყ} f_b} \sqrt{\frac{\rho_1 - \rho_{წყ}}{\rho_2 - \rho_1}} \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_{წყ}}{\rho_{წყ}}} \quad (2.2)$$

სადაც f_6 არის ღარის ფსკერზე მყარი მასალის ნატეხების გადაადგილებისას ხაზუნის კოეფიციენტი (მნიშვნელობა აიღება ცხრილიდან); K_c - ემპირიული კოეფიციენტი და

$$K_c = \sqrt[3]{\left(\frac{1,4 + 2,5}{0,7 + 0,5}\right)^2} \quad (2.3)$$

აღნიშნული მეთოდის გამოყენების არე განისაზღვრება შემდეგი პირობებისათვის: წყლის ხარჯი ცვალებადობს 500-4000 მ³/სთ; შუალედში

$\frac{\alpha_{\text{შე}}}{h_t} < 0,7$ და $\frac{\alpha_{\text{შე,წეს}}}{h_t} < 1$ (სადაც h_t წყლის ნაკადის სიღრმეა მასში მყარი მასალის ნაწილაკების მიწოდებამდე).

ქანობი ღარში წყლის მოძრაობის დროს გამოითვლება შეზის ფორმულით

$$i_c = \frac{U_{\text{შრ}}^2}{C_{\text{შვ}}^2 R_c} \quad (2.4)$$

სადაც R_c არის ღარის (არხის) ჰიდრავლიკური რადიუსი; $C_{\text{შვ}}$ - შეზის კოეფიციენტი, რომელიც იანგარიშება ნ. პავლოვსკის ფორმულით

$$C_{\text{შვ}} = \frac{1}{\delta_{\text{ლა}}} R^{\tau}, \quad (2.5)$$

აქ $\delta_{\text{ლა}}$ ღარის (არხის) კედლების სიმაღლეა, რომლის მნიშვნელობა აიღება

ცხრილებიდან; $\tau = \frac{1}{5} + \frac{1}{7}$ (პრაქტიკული საინჟინრო გათვლებისათვის მიიღება

$$\tau = \frac{1}{6}).$$

ვ. ტარასოვის მიერ შემუშავებულია შეზის კოეფიციენტის განსაზღვრის მეთოდთა ღარებში ჰიდრონარევის მოძრაობისას. ეს მეთოდთა ეფუძნება შეზის კოეფიციენტის ფიზიკური არსის დაზუსტებას, რომლის მიხედვითაც იგი წარმოადგენს იმ სიდიდეების შეფარებას, რომლებიც ახასიათებენ აქტიურ და წინაღობის ძალებს. თუ მივიღებთ, რომ $\tau = K_6 M^2$ (სადაც K_6 განვითარებული ტურბულენტურობის კოეფიციენტია), რაც განვითარებულ ტურბულენტურობას

შეესაბამება. მაშინ ჰიდრონარევის თანაბარი მოძრაობა შეიძლება აღიწეროს დამოკიდებულებით

$$\frac{K_{\delta} u^2}{\rho_{\text{სვ}}} = Ri_{\zeta}, \quad (2.6)$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ

$$U = \sqrt{\rho_{\text{სვ}} / K_{\delta}} \sqrt{Ri_{\zeta}} = C_1 \sqrt{Ri_{\zeta}}, \quad (2.7)$$

აქედან შეზის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ჰიდროტრანსპორტირების დროს ტოლი იქნება

$$C_1 = \sqrt{\frac{\rho_{\text{სვ}}}{K_{\delta}}}. \quad (2.8)$$

K_{δ} კოეფიციენტი ახასიათებს ხახუნს ნაკადის საზღვრებთან.

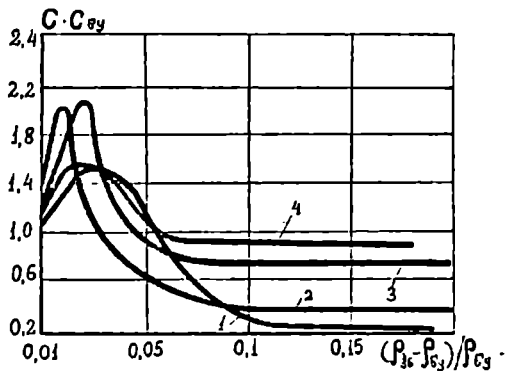
$u_{\text{კრ}}$ სიჩქარის მნიშვნელობა ცვალებადობს უმნიშვნელო დაიპაზონში, რის გამოც დასაშვებია უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდების გამოყენება.

ექსპერიმენტის საფუძველზე დადგინდა, რომ, თუ ჰიდრონარევის სიმკვრივე $\rho_1 \leq 1050$ კგ/მ³, მყარი მასალის დამატება იწვევს ნაკადის აჩქარებას, რადგან ასეთ შემთხვევაში იზრდება შეზის კოეფიციენტი (იხ.ნახ. 2.2), ხოლო, თუ $\rho_1 > 1050$ კგ/მ³ - ხახუნი ნაკადის საზღვრებზე.

ზოგად შემთხვევაში ღარებსა და არხებში ჰიდრონარევის მოძრაობისას კრიზისული სიჩქარის (ტრანსპორტირების უნარის გარკვეული თადარიგით) მნიშვნელობა განისაზღვრება ა. იუფინის ფორმულით

$$U_{\text{კრ}} = B_{\zeta} \sqrt{\frac{1}{Fr}} \sqrt{\frac{\rho_1 - \rho_{\text{ფვ}}}{\rho_{\text{ფვ}}} \left(\frac{\rho_{\text{მ}} - \rho_1}{\rho_{\text{ფვ}}} \right)^2}, \quad (2.9)$$

სადაც B_{ζ} არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია სატრანსპორტირებელი მყარი მასალის თვისებებზე. ზოგიერთი სახის ჰიდრონარევისათვის მისი მნიშვნელობა ტოლია: ქვიშა-ლორღიანი ნარევისათვის $B_{\zeta} = 3,85$; ნახშირისა და ქანის ნარევისათვის $B_{\zeta} = 3,49$; რიგითი



ნახ. 2.2. პიდრონარევისათვის შეზის კოეფიციენტის ცვალებადობის დამოკიდებულება პიდრონარევის ფარდობითი სიმკვრივისაგან: 1,2,3,4 - შესაბამისად, არხში მსხვილნატეხოვანი ქანების, ქვიშა-ლორღის, ნახშირისა და ქანის პიდროტრანსპორტირებისას.

ნახშირისათვის $B_c = 3,45$; მსხვილნატეხოვანი ნახშირისათვის

$$B_c = 2,86; Fr = \frac{W^2}{gd_{\Sigma}}$$

პიდრონარევის ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობი გამოითვლება დამოკიდებულებით

$$\omega_c = (Q_{\Sigma} + Q_{c\gamma}) / U_{\gamma} \quad (2,10)$$

როგორც 2.2 ნახაზზე მოცემული მრუდებიდან ჩანს, ფარდობითი სიმკვრივის გაზრდისას მცირე დიაპაზონში შეზის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მკვეთრად იზრდება. შემდგომში გაზრდისას ასევე მკვეთრად მცირდება, ხოლო აღნიშნული ფარდობის დაახლოებით 0,075-ის შემდეგ შეზის კოეფიციენტი მის მნიშვნელობაზე პრაქტიკულად აღარ არის დამოიდებული, იგი სტაბილური ხდება.

პიდროტრანსპორტირებისათვის გამოყენებული ღარები და არხების ფორმები, მათი გეომეტრიული ზომების გაანგარიშების მეთოდიკა განხილულია სახელმძღვანელოს მეოთხე წიგნში.

**თავი 3. ღამყარებულნი რეჟიმები კიდროსატრანსპორტო
სისტემებში, კიდროტრანსპორტის გაანგარიშების
ინჟინერული მეთოდები**

თუ ჰიდრონარევის მოძრაობისას მისი საშუალო სიჩქარე (U), წნევა (P) და კონცენტრაცია (S), აგრეთვე მისი შემდგენი ფაზების (სითხისა და მყარის, ხშირად ჰაერისაც) ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარეები და მათი კონცენტრაცია ჰიდრონარევის ნაკადში დროის მიხედვით უცვლელია, მოძრაობას დამყარებული ეწოდება. ასეთ შემთხვევაში დამყარებულია ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მუშაობის რეჟიმიც.

ჰიდრონარევის დამყარებული მოძრაობის განტოლება ზოგადი სახით შეიძლება შემდეგნაირად ჩაიწეროს:

$$\left. \begin{aligned} u &= f(x, y, z, s, \rho_{\text{სე}}); \\ p &= \varphi(x, y, z, s, \rho_{\text{სე}}); \\ S &= \psi(x, y, z, \rho_{\text{სე}}, u), \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

ამ დროს

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial s}{\partial t} = 0.$$

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ფუნქციურ დამოკიდებულებას (3.1) გაცილებით რთული სახე აქვს, რადგან მასში გათვალისწინებული არ არის შემდგენი ფაზების აღნიშნული პარამეტრების ცვალებადობა. ეს პრაქტიკულად შეუძლებელი იქნება, რადგან შეუძლებელია ამ განტოლების ცხადი სახით ჩაწერა მათი სირთულის გამო, ვინაიდან ჰიდრონარევის შემდგენი ცალკეული ფაზის თუნდაც ერთი პარამეტრის შეცვლა იწვევს შემდგენებისა და ჰიდრონარევის ყველა პარამეტრის ცვალებადობას. ასეთი პროცესების შესწავლა შეუძლებელია არა მხოლოდ თეორიულად, არამედ ექსპერიმენტულადაც. ამიტომ უნდა მივიღოთ, რომ შემდგენი ფაზებისა და ჰიდრონარევის ფიზიკურ-მექანიკური და ჰიდროდინამიკური პარამეტრების ცვალებადობა დროის მიხედვით მცირე დიაპაზონში მუდმივია და ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში გვექნება დამყარებული რეჟიმი, თუ მართებულია განტოლებათა სისტემა (3.1).

3.1. ფხვიერი მყარი მასალების სადწნეო მილსადენებით ჰიდროტრანსპორტირების გაანგარიშების პრაქტიკული მეთოდების საფუძვლები

როგორც ცნობილია, ფხვიერი მასალების სადწნეო მილსადენებით ჰიდროტრანსპორტირებამ ფართო გამოყენება პოვა მრეწველობის მრავალ დარგში. ამდენად, საკმაოდ მრავალფეროვანია ტრანსპორტირებული მყარი მასალების სახეობები, მათი ფიზიკური და მექანიკური თვისებები, გეომეტრიული ზომები და გრანულომეტრიული შედგენილობა, შესაბამისად ფართო დიაპაზონში ცვალებადობს ჰიდრონარეების ჰიდროდინამიკური პარამეტრები, მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან მიწოდების სქემები (მილსადენების პროფილები, ჰიდრონარეების მომზადების ტექნოლოგიები, განტვირთვის სქემები და ა.შ.), მილსადენების დიამეტრები და ა.შ.

მეცნიერებისა და სპეციალისტების გამოკვლევებისა და პრაქტიკული დაკვირვებების შედეგების გათვალისწინებით ფხვიერი მყარი მასალების სადწნეო მილსადენებით ჰიდროტრანსპორტირების გაანგარიშების დღესდღეობით არსებული პრაქტიკული მეთოდები ეფუძნება შემდეგ მოსაზრებებს:

ა) ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგების გამოყენებას, რომლებიც ძირითადად მოცემულია ცხრილების სახით და ძალზე მოსახერხებელია გაანგარიშებისათვის;

ბ) ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგებით აგებული ნომომგრამების გამოყენებას, რომლებიც ერთმანეთთან აკავშირებენ ჰიდროტრანსპორტის ძირითად პარამეტრებს. ისინი ძალზე ხელსაყრელია ჰიდროტრანსპორტირების სხვადასხვა შემთხვევებში პარამეტრების სწრაფად გაანგარიშებისათვის;

გ) ექსპერიმენტების შედეგების გათვალისწინებითა და განზოგადებით მიღებული ემპირიული ფორმულების გამოყენებას;

დ) შეტივტივებული ჰიდრონარეების მოძრაობის კანონზომიერებებს სხვადასხვა თეორიული და ექსპერიმენტული მოსაზრებების გამოყენებას;

ე) შეტივტივებული ნაკადების ლოკალურ და ინტეგრალურ მახასიათებლებს შორის დამოკიდებულებების დამყარების შედეგების გამოყენებას;

ვ) ჰიდროტრანსპორტირების პროცესების მსგავსებისა და მოდელირების თეორიების საფუძველზე ზოგიერთი კრიტიკული განტოლებების შედგენასა და ამოხსნას;

ზ) ჰიდრონარევის ნაკადის ერთფაზიან მზიდი სითხის ნაკადებად წარმოდგენა (მყარი ნაწილაკების გარეშე), რომელიც მოძრაობს უმოძრაო გარეგან და მოძრა შენაგან საზღვრებში. რომელთანაც ფარდობითი მოძრაობისას დინამიკურად ურთიერთქმედებს მზიდი სითხის (გარემოს) ნაკადი. შეტივიტივებული ნაკადი ამ შემთხვევაში წარმოგვიდგება მოძრაი სითხის სახით, რომელიც წარიტაცებს მყარი ნაწილაკების მიერ წარმოქმნილ ცხაურს და შეჰყავს იგი ფარდობით მოძრაობაში.

არსებობს აგრეთვე ფხვიერი მყარი მასალების სადაწნეო მილსადენებით ჰიდროტრანსპორტირების გაანგარიშების პრაქტიკული მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია ზემოჩამოთვლილი მოსაზრებების კომბინაციაზე სხვადასხვა სახით, იმისდა მიხედვით თუ რა კონკრეტული საკითხია გადაჭრილი.

განვიხილოთ უფრო დაწერილებით ზემოთ აღნიშნული მეთოდები, მათი ფიზიკური არსი და ფორმირების საფუძვლები.

3.1.1. ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებაზე დაფუძნებული ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი

ანალიზურად მიღებულ ერთ-ერთ პირველ ფორმულას, რომელიც ამყარებს დამოკიდებულებას დაწნევის დანაკარგსა და ჰიდრონარევის მასსიათებლებს შორის მისი მილსადენში მოძრაობისას, აქვს სახე

$$\Delta H = h_1 + \frac{L h_2 P}{1000}, \tag{3.2}$$

აქ P არის ჰიდრონარევიში მყარი მასალის ნაწილაკების პროცენტული შემცველობა; h_1 - დაწნევის დანაკარგი მილსადენში წყლის მოძრაობის დროს; h_2 - დაწნევის დანაკარგი ჰიდრონარევიში მყარი ნაწილაკების არსებობის შემთხვევაში, 1%-იან კონცენტრაციის ჰიდრონარევის 1000 მ-ის სიგრძის მილსადენში მოძრაობისას.

ფორმულა (3.2) შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მილსადენებში როგორც ერთგვაროვანი, ასევე ნაირგვაროვანი მყარი მასალების შემცველი ჰიდრონარევიების მოძრაობისას, შეიცვლება მხოლოდ h_2 -ის მნიშვნელობა.

აღნიშნული მეთოდი მოითხოვს დიდი რაოდენობით სხვადასხვა პირობებისათვის ჩატარებულ ექსპერიმენტებს, ამდენად იგი ნაკლებად პრაქტიკულია.

(3.2) ფორმულაში ჰიდრაულიკური დანაკარგები წყლისა და ჰიდრონარევის მოძრაობის დროს ცალ-ცალკე წვევრებით არის წარმოდგენილი, რაც საფუძველად დაედო ამ პარამეტრის გამოსაანგარიშებელ უმეტეს ფორმულებს (კუთრი დანაკარგების საანგარიშო ფორმულებს), რომელთა სტრუქტურულ საფუძველს წარმოადგენს დამოკიდებულება

$$i_{\text{ж}} = i_{\text{ფი}} + \Delta i_{\text{ж}}. \quad (3.3)$$

ამავე მეთოდს ეფუძნება ს. გორიუნოვის მიერ მიღებული ფორმულა, რომლის მიხედვითაც მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობის შემთხვევაში დაწნევის დანაკარგი მილსადენის სიგრძეზე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ფორმულით

$$\Delta H = \lambda' \frac{L}{D_3} \frac{u^2}{2g}, \quad (3.4)$$

აქ

$$\lambda' = \lambda_{\text{ფი}} + \lambda_{\text{ж}}. \quad (3.5)$$

ამის გათვალისწინებით ფორმულა (3.4) შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$\Delta H = \lambda_{\text{ფი}} \frac{L}{D_3} \frac{u^2}{2g} + \lambda_{\text{ж}} \frac{L}{D_3} \frac{u^2}{2g}. \quad (3.6)$$

თუ განტოლების ყველა წევრს გავყოფთ L -ზე, მივიღებთ (3.3) ფორმულას. ფხვიერი მყარი მასალების ძალზე არაერთგვაროვანი გრანულომეტრიული შედეგნილობის გამო ს. გორიუნოვის მეთოდის გამოყენება ბევრ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული.

3.1.2. ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი ნომოგრამების მიხედვით

ამ მეთოდის გამოყენებისას სარგებლობენ ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით აგებული გრაფიკებით, მაგალითად, $i_{\text{ж}} = f(u, \rho_{\text{ж}}, D_3)$ ან სხვა ფუნქციური დამოკიდებულებით, რომლებსაც შემდგომში ექსტრაპოლაციისა და ინტერპოლაციის მეთოდების გამოყენებით გარდაქმნიან ნომოგრამებად, რომლებიც ურთიერთაკავშირებენ ჰიდროტრანსპორტირების იგივე

პარამეტრებს. ამ მეთოდის გამოყენება მაშინ არის სასურველი და უტყუარი, როდესაც ზემოგანხილული მეთოდის შესაგავსად ეფუძნება დიდი რაოდენობის ექსპერიმენტული კვლევების შედეგებს, რომლებიც სასურველია მოიცავდნენ ჰიდროტრანსპორტირების მაქსიმალურად შესაძლო ყველა ვარიანტს.

3.1.3. ჰიდროტრანსპორტის ემპირიული ფორმულებით გაანგარიშების მეთოდი

ფხვიერი მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტირების პროცესებს მსოფლიოს მრავალი ქვეყნის ცნობილი მეცნიერი შეისწავლიდა და დღესაც აქტიურად მიმდინარეობს იგი, როგორც თეორიული ანალიზის, ასევე ექსპერიმენტული გამოკვლევების გზით.

ექსპერიმენტული კვლევები ძირითადად ტარდება ლაბორატორიულ დანადგარებსა და სტენდებზე, აგრეთვე სამრეწველო დანიშნულების ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებზეც. კვლევები ტარდება ძალზე ფართო დიაპაზონში როგორც მილსადენების გეომეტრიული ზომების, ასევე ჰიდრონარევის შემდგენი ფაზების პარამეტრების ცვალებადობისას. კერძოდ: მილსადენის დიამეტრის, სიგრძის, მისი შიგა ზედაპირის სიშქისის; ჰიდრონარევის სიჩქარის, კონცენტრაციის, ტემპერატურის; მყარი მასალების ჰიდრავლიკური სისხოს, საშუალო დიამეტრის, სიმკვრივის, არაერთგვაროვნების (გრანულომეტრიული შედგენილობის) ცვალებადობისას.

ექსპერიმენტული კვლევებისას ძირითადად განისაზღვრება შემდეგი პარამეტრები: ჰიდრონარევის საშუალო და კრიზისული სიჩქარეები; წნევის დანაკარგები მილსადენის სწორხაზოვან უბნებზე და ადგილობრივ წინაღობებში; ჰიდრონარევის კონცენტრაციისა და მყარი მასალის მილსადენის განიკვეთში განაწილება; მილსადენის შიგა დიამეტრი, მისი სიგრძე, კედლის სისქე, შიგა ზედაპირის აბსოლუტური სიშქისის გაზომვა; მყარი მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობის დადგენა გაცრითი ანალიზით; მისი საშუალო დიამეტრისა და არაერთგვაროვნების ხასიათის დადგენა. ზშირად საქციალურად შექმნილ სტენდებზე ხდება მილსადენებში ჰიდროტრანსპორტირებისას მიმდინარე პროცესებზე ვიზუალური დაკვირვება (სტენდებზე გამჭვირვალე მასალებით ან საქციალურად დამზადებული გამჭვირვალე უბნებით ან ფანჯრებით) მოძრაობის სახეობის დასადგენად კრიზისული სიჩქარის განსაზღვრავად.

სხვადასხვა ქვეყნებში სხვადასხვა მეცნიერებისა და სპეციალისტების მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების განზოგადების საფუძველზე მიღებულია მრავალი ემპირიული ფორმულა, რომლებიც უმეტეს წილად მართებულია კონკრეტული პირობებისათვის და არ შეიძლება მათი საერთოდ, ყველა შემთხვევაში გამოყენება.

ქვემოთ განხილულია მხოლოდ ის ემპირიული ფორმულები, რომლებიც შეტანილია ნორმატიულ დოკუმენტებში და რომლებმაც შედარებით ფართო გამოყენება პოვა პრაქტიკული საინჟინრო გათვლებისათვის.

3.1.4. ტურბულენტური ნაკადის მიერ შეტივტივებული მყარი ნაწილაკების გადატანაზე დაფუძნებული ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი

სახელმძღვანელოს პირველ წიგნში, რომელშიც განხილული იყო ჰიდროტრანსპორტის თეორიული საფუძვლები, გაანალიზებულია რამდენიმე ჰიპოთეზა შეტივტივებული ნაკადების ფორმირებისა და სითხის ნაკადის მიერ მყარი ნაწილაკების გადატანის მექანიზმის შესახებ. მათ მიეკუთვნება დიფუზური და გრავიტაციული თეორიები, აგრეთვე დიუპუის ჰიპოთეზა. სწორედ ეს თეორიები და ჰიპოთეზები დაედო საფუძვლად ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდს, რომელიც ეფუძნება ტურბულენტური ნაკადის მიერ შეტივტივებული მყარი ნაწილაკების გადატანას. ამ საკითხს მიეძღვნა მრავალი მეცნიერის მნიშვნელოვანი თეორიული გამოკვლევები. ამ კატეგორიის გამოკვლევებს მიეკუთვნება სამუშაოები, რომლებშიც საკითხის თეორიული ანალიზის შედეგად შედგენილია არაერთგვაროვანი გარემოს მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები, მოცემულია მცდელობა მათი ამოხსნისა კონკრეტული საწყისი და სასაზღვრო პირობებისათვის, რომლისთვისაც მიღებულია მრავალი დაშვება. ცხადია, ასეთი გზით მიღებული საანგარიშო ფორმულები ვერ იძლევა ზუსტ შედეგებს და საჭიროებს შესწორების კოეფიციენტებს, რომელთა მნიშვნელობის დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ ექსპერიმენტებით. ამდენად, ასეთი გზით მიღებული ფორმულები ემპირიულს მიეკუთვნება. ამ გზით მიღებული ემპირიული ფორმულები განსხვავდება მხოლოდ ექსპერიმენტების შედეგების საფუძველზე მიღებული ფორმულებისაგან, რადგან მათი სტრუქტურები ეყრდნობა ზემოაღნიშნულ თეორიულ მოსაზრებებსა და ჰიპოთეზებს და ამდენად უფრო მეტად უნივერსალურია, ვიდრე სუფთა ექსპერიმენტებით მიღებული

ფორმულები, რომლებიც მართებულია მხოლოდ იმ კონკრეტული პირობებისათვის, რომლისთვისაც ჩატარდა ექსპერიმენტები. ეს კი ძალზე ზღუდავს მათი გამოყენების სფეროს.

3.1.5. ჰიდრონარევის ნაკადის ლოკალურ და ინტეგრალურ მახასიათებლებს შორის ურთიერთკავშირის დამყარებაზე დაფუძნებული ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი

ჰიდრონარევის ნაკადის ლოკალურ მახასიათებლებს მიეკუთვნება მოძრაობის სიჩქარეებისა და კონცენტრაციის ველები, ანუ ადგილობრივი სიჩქარეებისა და მყარი ნაწილაკების ნაკადის ცოცხალ კვეთში განაწილება. ეს საკითხები დაწვრილებით იყო განხილული სახელმძღვანელოს პირველ წიგნში, სადაც აღნიშნულია, რომ მილსადენის ცოცხალ კვეთში სიჩქარეთა განაწილება სუფთა წყლისა და ჰიდრონარევის მოძრაობის დროს მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. აქედან გამომდინარე, განსხვავებული იქნება წნევის დანაკარგებიც. ცხადია, რომ ენერჯის დანაკარგები და შესაბამისად წნევის დანაკარგები უფრო მეტი იქნება მილსადენის განივკვეთში სიჩქარეების არათანაბარი განაწილებისას. ანალიზისათვის დაუშვათ, რომ ჰიდრონარევის ნაკადი შეიცვალოს მისი დინამიკურად ეკვივალენტური წყლის ნაკადით ანუ წყლის იმ ნაკადით, რომლის მილსადენში მოძრაობისას იქნება ისეთივე წნევის დანაკარგები როგორც ჰიდრონარევის მოძრაობისას. ჰიდრონარევის ნაკადისა და მისი ჰიდროდინამიკური ანალოგის სუფთა წყლის მოძრაობის დროს მილსადენის ცოცხალ კვეთში სიჩქარეთა განაწილების ეპიურების განხილვის საფუძველზე მიღებულ იქნა გამოსახულება ნაკადი-ანალოგის საშუალო სიჩქარისათვის, რომლის მიხედვით შესაძლებელია გაანგარიშებულ იქნეს წნევის დანაკარგები მილსადენში სხვადასხვა სახის ჰიდრონარევების მოძრაობისას. ამ გამოსახულებას ზოგადი შემთხვევისათვის აქვს სახე

$$i_{\text{ж}} = i_{\text{в}}(1 + \varphi)^2, \quad (3.7)$$

აქ φ ფუნქციაა, რომლის განსაზღვრისათვის არსებობს მრავალი ემპირიული ფორმულა ცალკეული კონკრეტული პირობებისათვის.

აღნიშნული მიმართულებით მნიშვნელოვანი გამოკვლევები იქნა შესრულებული სანკტ-პეტერბურგელი მეცნიერის მ.დემენტიევის მიერ. მან მრავალი შრომა მიუძღვნა ფხვნიერი მყარი ნაწილაკების მზიდ სითხეში (გარემოში) შეტივტივების პროცესის შესწავლას. იგი ასაბუთებს, რომ მყარი

მასალის ნაწილაკების ურთიერთქმედება შეიძლება გამოისახოს (პირობითად გარკვეულწილად) მექანიკური ხახუნის $\tau_{\text{ჰ}}$ ძალით (მას პირველი შემდგენი ეწოდა), რომელიც ჰიდრონარევის ერთი შრიდან მეორეს გადაეცემა. მექანიკური ხახუნი განაპირობებს მთელი მყარი მასის დამუხრუჭებას მილსადენში, რაც იწვევს მყარი ნაწილაკების ჩამორჩენას მზიდი სითხის ნაწილაკებისაგან. ეს ჩამორჩენა თითქოსდა იწვევს სითხის ფილტრაციას მყარი ნაწილაკების მიერ წარმოქმნილ მოძრავ ცხურში. მყარი ნაწილაკების ურთიერთქმედება არის ის ძირითადი ფაქტორი, რომელიც განაპირობებს მყარი ნაწილაკების შეტივტივებას მზიდ სითხეში. ზედა შრეებში განლაგებული მყარი ნაწილაკები თითქოსდა ეყრდნობა ქვედა შრეებში განლაგებულ ნაწილაკებს.

ჰიდრონარევის ნაკადში ხახუნის მეორე შემდგენს წარმოადგენს თხევადი ხახუნი ($\tau_{\text{თხ}}$). ხახუნის ძალებით განპირობებული სრული დაძაბულობა შეიძლება გამოსახულ იქნეს ფორმულით

$$\tau_{\text{ჯ}} = \tau_{\text{ჰ}} + \tau_{\text{თხ}}. \quad (3.8)$$

მილსადენებში ფხვიერი მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტირების შემთხვევაში წნევის კუთრი დანაკარგები შეიძლება გამოანგარიშებულ იქნეს ფორმულით

$$i_{\text{ჯ}} = i_{\text{წ}} \frac{\rho_{\text{ჯ}}}{\rho_{\text{წ}}} (1 + K_1 M_1), \quad (3.9)$$

აქ $M_1 = \frac{G_{\text{ჰ}}}{G_{\text{წ}}}$ ჰიდრონარევის მასების კონცენტრაციაა, მას უგანზომილებო

ნაკადის ჩატვირთვისაც უწოდებენ; K_1 - სიდიდე, რომელიც განისაზღვრება ჰიდრონარევის ნაკადის მახასიათებლების მიხედვით.

მარცვლოვანი მყარი მასალების (ქვიშა, ღორღი და ა.შ.) პორიზონტალურ მილსადენებში ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების არსებული მეთოდების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ დღესდღეობით ყველაზე სრულყოფილია მეთოდიკა, რომელიც ეფუძნება ემპირიული ან ნახევრად ემპირიული ფორმულების გამოყენებას, რომელთა მართებულობა და სიზუსტე შემოწმებულია მრავალი ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტული კვლევებით, რომლებიც ტარდებოდა მრავალი ქვეყნის მეცნიერის მიერ. სწორედ ეს მეთოდი რეკომენდებული და შეტანილი ნორმატიულ დოკუმენტებში, რომლებითაც ხელმძღვანელობენ საპროექტო ორგანიზაციები.

3.2. სადაწნეო მილსადენი ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები

წყლის ნაკადის ენერჯის გამოყენება მილსადენებით, არხებითა და ღარებით შესაძლებელია განხორციელდეს ნებისმიერი ფხვიერი და დაქუცმაცებული მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტი. აქედან გამომდინარე, ნათელია თუ რაოდენ ერთმანეთისაგან დიდად განსხვავებული ჰიდრონარევის ნაირსახეობა შეიძლება შეგვხვდეს პრაქტიკაში. იმისდა მიხედვით, თუ როგორია მყარი მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. რადგან ჰიდრონარევი მყარი მასალისა და მზიდი სითხის (ძირითადად წყლის ნარეუს წარმოადგენს, ცხადია, მისი ფორმირება მოხდება შემდგენი კომპონენტების (ფაზების) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებიდან გამომდინარე. ამის შესახებ დაწვრილებით იყო საუბარი სახელმძღვანელოს პირველ წიგნში. აქ მხოლოდ აღვნიშნავთ, რომ ჰიდრონარევის სახეობების დიდი რაოდენობით არსებობის გამო, დღესდღეობით გვაქვს ჰიდრო-ტრანსპორტის გაანგარიშების ერთიანი უნივერსალური ინჟინრული მეთოდები. აქედან გამომდინარე, მეცნიერები და სპეციალისტები იმ დასკვნამდე მივიდნენ, რომ საჭიროა შეიქმნას სადაწნეო მილსადენი ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები ჰიდრონარევის ყველაზე მეტად გავრცელებული სახეობებისათვის, რომელთაც ჰიდროტრანსპორტირების ერთმანეთისგან განსხვავებული პარამეტრები აქვთ.

3.2.1. ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდების საერთო საფუძველი

ფხვიერი მყარი მასალების მილსადენი ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდების საფუძველს წარმოადგენს სამი ძირითადი პარამეტრის-კრიზისული სიჩქარის, დაწნევის (წნევის) და მილსადენის დიამეტრის განსაზღვრა.

სადაწნეო ჰიდროტრანსპორტის შემთხვევაში სრული დაწნევა, რომელიც აუცილებელია მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობის დროს ჰიდრავლიკური წინააღობების გადასალახავად, არის მილსადენის სწორხაზოვან უბნებში და ადგილობრივ წინააღობებში ბლანტ ხაზუნზე დანაკარგებისა და ჰიდრონარევის მიწოდების გეოდეზიური სიმაღლის გადასალახავად საჭირო დაწნევის ჯამი, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$H_{\text{სკ}} = i_{\text{სკ}} L + \sum i_{\text{სკ}} + H_{\text{სკ}} \frac{\rho_{\text{სკ}}}{\rho_{\text{სკ}}}. \quad (3.10)$$

ზოგადი შემთხვევისათვის დაწნევის კუთრი დანაკარგები ფუნქციაა შემდეგი პარამეტრებისა:

$$i_{\text{სკ}} = f(u, D_{\text{სკ}}, \rho_{\text{სკ}}, \rho_{\text{სკ}}, \rho_{\text{სკ}}, d_{\text{სკ}}, v_{\text{სკ}}). \quad (3.11)$$

ჰიდრონარეების სხვადასხვა სახეობებისათვის დაწნევის კუთრი დანაკარგების მნიშვნელობები განისაზღვრება შესაბამისი დამოკიდებულებებით: სუსპენზიებისა და წერილმარცვლოვანი ჰიდრონარეების შემთხვევაში

$$i_{\text{სკ}} = i_{\text{სკ}} \frac{\rho_{\text{სკ}}}{\rho_{\text{სკ}}}; \quad (3.12)$$

წერილ და მსხვილდისპერსიული ჰიდრონარეების შემთხვევაში

$$i_{\text{სკ}} = i_{\text{სკ}} + \Delta i_{\text{სკ}}; \quad (3.13)$$

პოლიდისპერსიული ჰიდრონარეების შემთხვევაში

$$i_{\text{სკ}} = i_{\text{სკ}} \frac{\rho_{\text{სკ}}}{\rho_{\text{სკ}}} + \Delta i_{\text{სკ}}. \quad (3.14)$$

ქვემოთ განხილული იქნება ჰიდროტრანსპორტირების გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები ჰიდრონარეების ძირითადი სახეობებისათვის.

3.2.2. სუფთა მზიდი სითხის გარემოს მოძრაობა

მილსადენებში სუფთა მზიდი სითხეების (როგორც წესი, წყლის) მოძრაობისას როგორც ლამინარული, ასევე ტურბულენტური რეჟიმისათვის დაწნევის კუთრი დანაკარგი (მ/მ) იანგარიშება დარსი-ვეისბახის ფორმულით

$$i_{\text{სკ}} = \lambda_{\text{სკ}} \frac{u^2}{2gD_{\text{სკ}}}. \quad (3.15)$$

სითხის მილსადენში მოძრაობის ლამინარული რეჟიმის დროს, როდესაც $Re < 2320$, ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით

$$\lambda_{\text{სკ}} = \frac{64}{Re}. \quad (3.16)$$

მიღების გადაბმის ადგილებში შედუღებით შეერთებული ჰიდრაულიკურად ვლუვი (რომლის ზედაპირი დამუშავებულია გარკვეული პერიოდის განმავლობაში ექსპლუატაციისას) შიგა ზედაპირის მქონე მილსადენებში მოძრაობის ტურბულენტური რეჟიმის დროს, როცა $Re > 2320$, ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი გამოითვლება კოლბრუკ-კონაკოვის ფორმულით

$$\lambda_{\text{ფა}} = \frac{0,309}{(\lg Re - 0,845)^2} \quad (3.17)$$

მიღების გადაბმის ადგილებში ქიშურების (მილტუჩების) და სწრაფგასართების გამოყენებისას ჰიდრაულიკურად დამუშავებული შიგა ზედაპირის მქონე მილსადენებში მოძრაობის იგივე რეჟიმის დროს უფრო ზუსტ შედეგს იძლევა ნ.სილინის ფორმულა, რომელსაც აქვს სახე

$$\lambda_{\text{ფა}} = \frac{0,309}{(\lg Re - 1)^2} \quad (3.18)$$

ახალი მქისე და ძალზე კოროზირებული მილსადენებისათვის ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით

$$\lambda_{\text{ფა}} = \frac{0,0159}{D_3^{0,226}} \left(1 + \frac{0,684}{U}\right)^{0,226} \quad (3.19)$$

მილსადენებში სუფთა მზიდი სითხის-წყლის მოძრაობისათვის კიდევ მრავალი ემპირიული და ნახევრად ემპირიული ფორმულები არსებობს. მაგალითად, ნიკურაძის, ბლაზიუსის, შიფრინსონის, მანანგის და ა.შ. მაგრამ ჰიდრონარეუების ტრანსპორტირებისათვის გამოყენებული მილსადენებისათვის რეკომენდებულია ზემოთ მოყვანილი ფორმულები.

3.2.3. სუსპენზიების მოძრაობა

მილსადენებში სუსპენზიების მოძრაობისას დაწნევის კუთრი დანაკარგი იანგარიშება ბუკინგამის გამარტივებული ფორმულით, რომელიც მიიღება შვედოვ-ბინგამის განტოლების ინტეგრირებით, რომელსაც აქვს სახე

$$\lambda_i = \frac{32U\mu_1}{\rho_{\text{ფა}}gD_3^2} + \frac{4\tau}{\rho_{\text{ფა}}gD_3} = \frac{1}{\rho_{\text{ფა}}gD_3} \left(\frac{32U\mu_1}{D_3} + 4\tau \right), \quad (3.20)$$

აქ სუსპენზიის სიბლანტის კოეფიციენტი

$$\mu_4 = \mu_6 + \mu_{6g}.$$

(3.20) ფორმულის პირველი წევრი (იგი პუაზილის ფორმულაა) გამოსახავს წნევის დანაკარგებს ნიუტონური სითხეების ლამინარული რეჟიმის დროს, ანუ სიბლანტით განპირობებულ ძალებს. მეორე წევრი ითვალისწინებს სითხის პლასტიკური თვისებებით განპირობებულ ჰიდრავლიკური დანაკარგების ნაზარდს, ანუ პლასტიკურობით განპირობებულ ძალებს. მეორე წევრი ითვალისწინებს სითხის პლასტიკური თვისებებით განპირობებულ ჰიდრავლიკური დანაკარგების ნაზარდს, ანუ პლასტიკურობით განპირობებულ ძალებს.

შლამისებრ, ლიოსისებრ და მათი მსგავსი ძლიერ ჰიდრატირებული ზედაპირის მქონე სუსპენზიების მოძრაობისადმი წინაღობა ძირითადად განისაზღვრება სტრუქტურული სიბლანტით. თიხის, ცემენტის, ტორფის და ქლალდის მინარევიანი სუსპენზიებისათვის დამახასიათებელია მეტწილად ძვრის დინამიკური დაძაბულობა, ხოლო ნახშირის სუსპენზიებისათვის სიბლანტისა და პლასტიკურობის ძალები თანაბარი მნიშვნელობითაა დამახასიათებელი.

მყარი ნაწილაკების მაქსიმალური ზომა, რომელიც შეუძლია შეტივტივებულ მდგომარეობაში დააკავოს ბლანტ-პლასტიკურ სუსპენზიას, შეიძლება განისაზღვროს ფომულით

$$d_{3y} = \frac{6\tau\rho_{\text{წ}}}{K_{\eta}(\rho_{3y} - \rho_{\text{ს}})g}, \quad (3.21)$$

სადაც $K_{\eta} = 0,5 - 0,7$ არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მყარი ნაწილაკების ფორმის განსხვავებას სფეროსაგან.

სტატიკურად და დინამიკურად სტაბილური სუსპენზიების მოძრაობის გარდამავალ რეჟიმში, როდესაც ($d_{3y} = 0 - 0,074$ მმ და $Re = 1500 - 3000$) ნაკადის გამოკვეთილი ბირთვი და პლასტიკურობის ძალები პრაქტიკულად არ არსებობს ($\alpha_3 = 0$, $\tau_0 = 0$), მაგრამ ნარჩენი სტრუქტურული კავშირების არსებობის გამო სუსპენზიის მოძრაობა ბლანტი სითხის ლამინალური რეჟიმის იდენტურია. ასეთ შემთხვევაში დაწნევის კუთრი დანაკარგი გამოითვლება პუაზილის ფორმულით

$$i_3 = \frac{32U\mu_4}{\rho_{\text{წ}}gD_3^2}, \quad (3.22)$$

აქ $\mu_4 = \mu_6 + \mu_{6g(პ.6)}$.

$\mu_{\text{ტ}(2,6)} = (1,5 - 2,0)\mu_{\text{კ}}$ სუსპენზიის მინიმალური სტრუქტურული სიბლანტეა, ნარჩენი სტრუქტურული კავშირებით განპირობებული.

ღინამიკურად სტაბილური და არასტაბილური სუსპენზიების მილსადენებში მოძრაობის ტურბულენტური რეჟიმის დროს, როდესაც $d_{\text{პ}} = 0 - 0,074$ მმ და $Re > 3000 - 4000$, კუთრი დანაკარგების გამოსაანგარიშებლად რეკომენდებულია გ. დიმიტრიევის ფორმულა

$$i_{\text{კ}} = \lambda_{\text{ფ}} C_{\text{კ}} \frac{\lambda_{\text{კ}}}{\lambda_{\text{ფ}}} (1 + a S_{\text{კ}}) = i_{\text{ფ}} C_{\text{კ}} \frac{\rho_{\text{კ}}}{\rho_{\text{ფ}}} \cdot \frac{\lambda_{\text{კ}}}{\lambda_{\text{ფ}}}, \quad (3.23)$$

სადაც $S_{\text{კ}}$ არის მყარი ფაზის უწვრილესი ნაწილაკების მოცულობითი

კონცენტრაცია სუსპენზიაში, რომლის სიმკვრივეა $\rho_{\text{კ}}$; $C_{\text{კ}} = \frac{S_{\text{კ}}}{\rho_{\text{პ}}}$ - ემპირიული

კოეფიციენტი; არასტაბილური მზიდი სითხისათვის $C_{\text{კ}} = 1,2 - 1,8$;

სტრუქტურირებული მზიდი სითხისათვის $C_{\text{კ}} = 1,9 - 2,5$; $\lambda_{\text{კ}}$ - მილსადენის სწორხაზოვანი ნაწილის პიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი, რომელიც შედულებით შეერთებული მილსადენებისათვის იანგარიშება ფორმულით

$$\lambda_{\text{კ}} = \frac{1}{(1,81 Re_{\text{კ}} - 1,52)^2}, \quad (3.24)$$

აქ $Re_{\text{კ}}$ რეინოლდსის რიცხვია სუსპენზიის ნაკადისათვის

$$Re_{\text{კ}} = \frac{UD}{\nu_{\text{კ}}} = \frac{UD\rho_{\text{კ}}}{\mu_{\text{კ}}}, \text{ რადგან } \nu_{\text{კ}} = \frac{\mu_{\text{კ}}}{\rho_{\text{კ}}}; \quad (3.25)$$

$a = \frac{\rho_{\text{პ}} - \rho_{\text{ფ}}}{\rho_{\text{ფ}}}$ - წვრილი ფრაქციების ფარდობითი სიმკვრივე

სუსპენზიაში; $\rho_{\text{კ}} = S_{\text{კ}}(\rho_{\text{პ}} - \rho_{\text{ფ}}) + \rho_{\text{ფ}}$ - სუსპენზიის სიმკვრივე.

იმ სუსპენზიებისათვის, რომელთაც ახასიათებთ მიდრეკილება სტრუქტურების წარმოქმნებისადმი

$$\mu_{\text{კ}} = \mu_{\text{კ}} + \mu_{\text{ტ}(2,6)} = (0,5 - 1,0)\mu_{\text{კ}}, \quad (3.26)$$

ხოლო უსტრუქტურო სუსპენზიებისათვის $\mu_{\text{კ}} = \mu_{\text{კ}}$.

ქიმურებით (მილტუნებით) შეერთებული მილსადენებისათვის დაწნევის კუთრი დანაკარგები იანგარიშება (3.18) ფორმულით.

3.2.4. წმინდა დისპერსიული ჰიდრონარეგების მოძრაობა

- წმინდა დისპერსიული ჰიდრონარეგები ($d_{\text{ჰ}} = 0,074 - 0,15$ მმ) მილსა-
 • დენებში შეტივტივებულ მდგომარეობაში მოძრაობს ტურბულენტურ რეჟიმში, რომელსაც ახასიათებს ნაკადის განიკვეთში მყარი ნაწილაკების თანაბარი განაწილება, რის გამოც ჰიდრონარევი სუსპენზიების მსგავსად იძენს ერთგვაროვანი გაზრდილი სიმკვრივისა და სიბლანტის მქონე ფსევდოსითხის თვისებებს. ასეთი ჰიდრონარეგები კრიზისულ სიჩქარეზე მეტი სიჩქარეების დროს დინამიკურად მდგრადი ხდება. ამრიგად, წმინდა დისპერსიული ჰიდრონარეგების მოძრაობისას დაწნევის კუთრი დანაკარგები, სუსპენზიების მოძრაობის მსგავსად, შესაძლებელია გამოითვალოს (3.23) სტრუქტურის მქონე ფორმულით

$$i_{\text{ფა.ღ.}} = i_{\text{ფს}} \frac{\lambda_{\text{ჰა.ღ.}} \rho_{\text{ფა.ღ.}}}{\lambda_{\text{ფს}} \rho_{\text{ფს}}} = i_{\text{ფს}} \frac{\lambda_{\text{ჰა.ღ.}}}{\lambda_{\text{ფს}}} (1 + aS_{\text{ფა.ღ.}}), \quad (3.27)$$

აქ $S_{\text{ფა.ღ.}}$ მყარი ფაზის წმინდა ნაწილაკების მოცულობით კონცენტრაციაა ჰიდრონარეგში, რომლის სიმკვრივეა $\rho_{\text{ფა.ღ.}} = S_{\text{ფა.ღ.}}(\rho_{\text{ჰ}} - \rho_{\text{ფს}}) + \rho_{\text{ფს}}$; λ - სწორხაზოვანი მილსადენის ჰიდრავლიკური წინააღობის კოეფიციენტი, რომელიც შედუღებული და ქიმურებით შეერთებული მილსადენებისათვის შესაბამისად გამოითვლება (3.24) და (3.18) ფორმულებით. განხილული შემთხვევისათვის აღნიშნულ ფორმულებში რეინოლდსის რიცხვი

$$\text{Re}_{\text{ფა.ღ.}} = \frac{UD_{\text{ჰ}}}{\nu_{\text{ფა.ღ.}}} \frac{UD_{\text{ჰ}} \rho_{\text{ფა.ღ.}}}{\mu_{\text{ფა.ღ.}}}, \text{ რადგან } \nu_{\text{ფა.ღ.}} = \frac{\mu_{\text{ფა.ღ.}}}{\rho_{\text{ფა.ღ.}}}. \quad (3.28)$$

წმინდა დისპერსიული ჰიდრონარეგების მილსადენში მოძრაობის შემთხვევაში კრიზისული სიჩქარე გამოითვლება აკურბატოვის ფორმულით

$$U_{\text{კრ}} = C_{\text{ფა.ღ.}} \sqrt{W_{\text{ფა.ღ.}} D_{\text{ჰ}} \sqrt{\frac{aS_{\text{ფა.ღ.}} g}{(1 + aS_{\text{ფა.ღ.}}) d_{\text{ჰ}}}}, \quad (3.29)$$

აქ $C_{\text{წკ}} = 3,0 - 3,2$ არის ემპირიული კოეფიციენტი; $W_{\text{წკ}}$ - წმინდა ნაწილაკების ჰიდრავლიკური სისხო.

3.2.5. წვრილდისპერსიული ჰიდრონარეგების მოძრაობა

წვრილდისპერსიული ჰიდრონარეგები ($d_{\text{წკ}} = 0,15 - 2,5$ მმ) მილსადენებში კრიზისულზე 15-20%-ით მეტი სიჩქარეებით მოძრაობისას დამახასიათებელია ნაკადის მთელ განივკვეთში მყარი ნაწილაკების წყვეტილი შეტივტივება, რომელიც ძირითადად დამოკიდებული არ არის ტურბულენტურ პულსაციებთან. მნიშვნელოვანი ინერციულობის გამო მყარი ნაწილაკები თითქოს ანაწევრებს ტურბულენტურ გრიგალებს და განაპირობებს ნაკადის გრიგალური სტრუქტურის ფორმირებას - შეტივტივებულ ნაკადს. ამის გამო სიჩქარის ზრდასთან ერთად შეინიშნება დაწნევის კუთრი დანაკარგების შემცირება, რის გამოც ხდება ჰიდრონარეგისა და მზიდი სითხის დაწნევის დანაკარგების მრუდების ერთმანეთთან მიახლოება.

მილსადენებში წვრილდისპერსიული ჰიდრონარეგების მოძრაობისას დაწნევის კუთრი დანაკარგების გამოსათვლელად რეკომენდებულია გდმიტრიევის მიერ გამოყვანილი ფორმულა

$$i_{\text{წკ}} = i_{\text{წკ}} + C_{\text{წკ}} a_{\text{წკ}} \frac{W_{\text{წკ}}}{U}, \quad (3.30)$$

სადაც $C_{\text{წკ}} = 5 - 9$ ემპირიული კოეფიციენტი; $W_{\text{წკ}}$ - წვრილი ნაწილაკების ჰიდრავლიკური სისხო; $a_{\text{წკ}}$ - მყარი ფაზის წვრილი ნაწილაკების მოცულობითი კონცენტრაცია ჰიდრონარეგში.

ექსპერიმენტების შედეგად დადგენილია, რომ მილსადენებში წვრილდისპერსიული ჰიდრონარეგების კრიზისულზე მეტი სიჩქარეებით მოძრაობისას დაწნევის კუთრი დანაკარგების სავარაუდო მნიშვნელობები შეიძლება გამოითვალოს ემპირიული ფორმულით

$$i_{\text{კრწკ}} = (2,5 - 3,5) i_{\text{წკ}}. \quad (3.31)$$

წვრილდისპერსიული ჰიდრონარეგების მილსადენში მოძრაობის შემთხვევაში

კრიზისული სიჩქარე შეიძლება გაანგარიშებულ იქნეს ფორმულით

$$U_{(კ)წკ} = \sqrt[3]{aS_{წკ} W_{წკ} g D_{წკ}} \cdot C'_{წკ}, \quad (3.32)$$

აქ $C_{წკ} = 7 - 12$ ემპირიული კოეფიციენტი.

3.2.6. მსხვილდისპერსიული ჰიდრონარეების მოძრაობა

მსხვილდისპერსიული ($d_{3\gamma} > 2-3$ მმ) ჰიდრონარეების მილსადენებში კრიზისულზე მეტი სიჩქარეებით მოძრაობისას ნაკადის ფსკერსმიმდებარე შრეებში მყარი ნაწილაკები წყვეტილი შეტივტივებით გადაადგილდება. ისინი მილსადენის ქვედა კედელზე (ფსკერზე) გადაადგილდებიან გორვით ან თრევით. ასეთ დროს წარმოქმნილი მოძრავი სიმქისე განაპირობებს ნაკადის გარკვეულწილად დამუხრუჭებას და ხაზუნის ძალები მყარი ნაწილაკების სიმკვრივესა და კონცენტრაციასთან ერთად ტრანსპორტირებისათვის საჭირო ენერჯის ძირითად დანახარჯს წარმოადგენს. ასეთი შემთხვევებისათვის ჰიდრონარევის დაწნევის კუთრი დანაკარგები მიზანშეწონილია გამოთვლილი იქნეს ა. სმოლდირევის მიერ შემოთავაზებულ ფორმულით

$$i_{ჰ.ღ} = i_{წკ} + C_{ჰ.ღ} a S_{ჰ.ღ}, \quad (3.33)$$

აქ $C_{ჰ.ღ} = 0,3 - 0,5$ ემპირიული კოეფიციენტი; $S_{ჰ.ღ}$ - ჰიდრონარეში მსხვილდისპერსიული მყარი ფრაქციის კოეფიციენტი.

მსხვილდისპერსიული ჰიდრონარეების მილსადენში მოძრაობის შემთხვევაში კრიზისული სიჩქარე შეიძლება გამოანგარიშებულ იქნეს ფორმულით

$$U_{(კ)ჰ.ღ} = C'_{ჰ.ღ} \sqrt{aS_{ჰ.ღ} g D_{ჰ.ღ}}, \quad (3.34)$$

სადაც $C'_{ჰ.ღ} = 3-5$ არის ემპირიული კოეფიციენტი.

3.2.7. პოლიდისპერსიული ჰიდრონარეების მოძრაობა

პოლიდისპერსიული ჰიდრონარეები შეიცავს მყარი მასალის მრავალ (სხვადასხვა) ფრაქციას, რომელთა ურთიერთშეფარდება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ამგვარი ჰიდრონარევის მოძრაობის რეჟიმზე. ყველაზე მნიშვნელოვან

გავლენას ახდენენ წმინდა და წვრილი ფრაქციები, რომლებიც მათი შედარებით მაღალი კონცენტრაციების ($S > 0,25 - 0,30$) შემთხვევაში ხელს უწყობენ დაწნევის კუთრი დანაკარგებისა და კრიზისული სიჩქარის მნიშვნელობის შემცირებას, იმის გამო, რომ ქმნიან გაზრდილი სიმკვრივისა და სიბლანტის მზიდ სითხეს (გარემოს).

მილსადენებში პოლიდისპერსიული ჰიდრონარევეების მოძრაობისას დაწნევის კუთრი (მ/მ) დანაკარგების გამოსათვლელად ყველაზე ზუსტ შედეგებს იძლევა გ.დმიტრიევის მიერ შემუშავებული მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ჰიდროდინამიკაში ცნობილ მონოდისპერსიული ჰიდრონარევეების მოძრაობისას წინალობათა ზედღების პრინციპს. ამ მეთოდის თანახმად, დაწნევის კუთრი დანაკარგები მილსადენში პოლიდისპერსიული ჰიდრონარევის მოძრაობისას შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით

$$i = i_{\text{ვ}} C_{1\text{e}} \frac{\lambda_{\text{ვ}}}{\lambda_{\text{ვ}}} [1 + a(S_1 + S_2)] + C'_{1\text{e}} \frac{a_{1\text{e}} S_3 W_{1\text{e}}}{U} + C_{1\text{e}} a_{1\text{e}} S_4, \quad (3.35)$$

აქ $C_{1\text{e}}$, $C'_{1\text{e}}$ და $C''_{1\text{e}}$ ემპირიული კოეფიციენტებია: არასტაბილური მზიდი გარემოსათვის (სუსპენზიისათვის) $C_{1\text{e}} = 1,2 - 1,8$; სტრუქტურირებული მზიდი გარემოსათვის (სუსპენზიისათვის) $C'_{1\text{e}} = 1,9 - 2,5$; $C''_{1\text{e}} = 0,3 - 0,5$; S_1 , S_2 , S_3 და S_4 - ჰიდრონარევი მოცულობითი კონცენტრაციები შესაბამისად: წმინდა - $d_{\text{ჰ}} = 0 - 0,074$ მმ; ძალზე წვრილი $d_{\text{ჰ}} = 0,074 - 0,15$ მმ; წვრილი - $d_{\text{ჰ}} = 0,15 - 2,5$ მმ; მსხვილი - $d_{\text{ჰ}} > 2,5$ მმ ნაწილაკების კონცენტრაცია ჰიდრონარევი (მათი ჯამი უნდა შეადგენდეს ჰიდრონარევის საერთო მოცულობით S კონცენტრაციას), რომელიც განისაზღვრება მყარი მასალის ცალკეული ფრაქციის მასის მიხედვით პროცენტული შემცველობით q_1 , q_2 , q_3 და q_4 მყარი მასალის საერთო გრანულომეტრიულ შედგენილობაში:

$$S_1 = q_1 S; \quad S_2 = q_2 S; \quad S_3 = q_3 S; \quad S_4 = q_4 S, \quad (3.36)$$

სადაც $\lambda_{\text{ვ}}$ სწორხაზოვანი მილსადენის ჰიდრავლიკური წინააღობის კოეფიციენტია პოლიდისპერსიული ჰიდრონარევის მზიდი სითხის მოძრაობისას, რომელიც შედლებით და ქიმურებით შეერთებული მილსადენებისათვის

შესაბამისად გამოითვლება (3.24) და (3.18) ფორმულებით. განხილული შემთხვევისათვის აღნიშნულ ფორმულებში რეინოლდსის რიცხვი

$$\text{Re}_{j,e} = \frac{UD_j}{V_{j,e}} = \frac{UD_j \rho_{j,e}}{\mu_{j,e}}, \text{ რადგან } V_{j,e} = \frac{\mu_{j,e}}{\rho_{j,e}}, \quad (3.37)$$

აქ $\mu_{j,e}$ მზიდი გარემოს სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტია; სტრუქტურირებული მზიდი გარემოსათვის $\mu_{j,e} = \mu_e + \mu_{e(m,e)} = (0,5 - 1,0)\mu_e$; უსტრუქტურო მზიდი გარემოსათვის $\mu_{j,e} = \mu_e$; $\rho_{j,e}$ - მზიდი გარემოს სიმკვრივე; $d_{j,e}$ - მყარი ფრაქციის ფარდობითი სიმკვრივე მზიდ გარემოში, რომლის სიმკვრივეა $\rho_{j,e}$, $a_{j,e} = \frac{\rho_{j,e} - \rho_{j,e}}{\rho_{j,e}}$.

წერილი ნაწილაკების ჰიდრავლიკური სისხო მზიდი გარემოს ბუნებრივ პირობებში გამოითვლება ფორმულით

$$W_{j,e} = \frac{\beta a_{j,e} d_{j,e} \cdot 10^{-3}}{\sqrt[3]{\mu_{j,e}}}, \quad (3.37)$$

სადაც β სხვადასხვა სისხოს მყარი მასალებისათვის იანგარიშება დამოკიდებულია: თუ $d_{j,e} = 0,15 - 0,5$ მმ, $\beta = 5,2 + 3,2$; თუ $d_{j,e} = 0,15 - 1,5$ მმ, $\beta = 6,5$; თუ $d_{j,e} = 1,5 - 3,0$ მმ, $\beta = 8 - d_{j,e}$.

წმინდადისპერსიული მზიდი გარემოს შემთხვევაში ჰიდრონარეგების მილსადენებში მოძრაობის რეჟიმს ძირითადად განაპირობებენ წერილი და მსხვილი ნაწილაკები. მათი კრიზისული სიჩქარე აღემატება წმინდადისპერსიული მყარი ნაწილაკების კრიზისულ სიჩქარეს, რომელიც შეიძლება უგულვებლყოფილი იქნეს. ასეთ შემთხვევაში წერილი ($d_{j,e} = 0 - 0,15$) ფრაქციების გავლენა კრიზისული სიჩქარის საანგარიშო ფორმულაში წარმოდგენილია $a_{j,e}$ და $W_{j,e}$ სიდიდეებით

$$U_{j,e} = C_{j,e}^0 \sqrt[3]{a_{j,e} S_j W_{j,e} g D_j} + C_{j,e}^{01} \sqrt{a_{j,e} S_j g D_j}, \quad (3.38)$$

აქ $C_{j,e}^0 = 7 - 12$; $C_{j,e}^{01} = 3 - 5$ ემპირიული კოეფიციენტებია.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ჰიდროტრანსპორტირების, მზიდი გარემოს, ფხვიერი მყარი მასალის სხვადასხვა პირობებისათვის ჰიდრო-

ტრანსპორტის გაანგრიშების მრავალი მეთოდი არსებობს. ცხადია, ყველა მათგანის განხილვა სახელმძღვანელოში შეუძლებელია. მათი ნაწილი განხილულია შესაბამის ლიტერატურაში, რომელიც გამოცემულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მიერ.

მილსადენი ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები დამუშავებულია არა მხოლოდ ჰიდრონარეუების სახეობის მიხედვით, არამედ ფხვიერი მყარი მასალის სახეობის მიხედვითაც. ცხადია, ამ შემთხვევაშიც საკმაოდ მრავალრიცხოვანია ეს მეთოდები. აქ განვიხილავთ მხოლოდ ზოგიერთს, იმ მყარი მასალებისათვის, რომელთა ჰიდროტრანსპორტირება ყველაზე მეტად გავრცელებულია.

3.2.8. სხვადასხვა მყარი მასალების მილსადენი ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდი

ა) მარცვლოვანი მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტი (ქვიშა, ღორღი, ზრეში და ა.შ.). ჰიდროტრანსპორტირებისას დაწნევის კუთრი დანაკარგების გაანგარიშების მეთოდი ეფუძნება ამ პარამეტრის განსაზღვრულ ორწევრიან ფორმულას (3.13) რომლის პირველი წევრი, რომელიც ითვალისწინებს დაწნევის კუთრი დანაკარგის განსაზღვრას, წარმოადგენს დარსი-ვეისბახის (3.15) ფორმულას.

დამატებითი დაწნევის კუთრი დანაკარგები მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობისას Δi_{γ} , რომელიც განპირობებულია ჰიდრონარევი ქვიშის, ღორღის და ა.შ. მარცვლოვანი მყარი ნაწილაკების არსებობით, იანგარიშება ფორმულით

$$\Delta i_{\gamma} = \Delta i_{\gamma(r)} \cdot Q_{\gamma} / Q, \quad (3.39)$$

სადაც $\Delta i_{\gamma(r)}$ არის დამატებითი დაწნევის კუთრი დანაკარგები ჰიდრონარევის U_{γ} კრიზისული სიჩქარით (შესაბამისად კრიზისული ხარჯის Q_{γ}) მოძრაობისას. იგი იანგარიშება ფორმულით

$$\Delta i_{\gamma(r)} = \frac{d_{\text{სა}}}{D_{\gamma}} \sqrt{K'_{\gamma}} \sqrt{S_{\gamma}^2}, \quad (3.40)$$

$K'_{\alpha} = \frac{3d_{10}}{d_{90}}$ მყარი მასალის ნაწილაკების არაერთგვაროვნების

კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება მყარი მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობის მრუდის მიხედვით.

მილსაღენში ჰიდრონარევის კრიზისული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით

$$Q_{კრ} = U_{კრ} \frac{M_1 D_2^2}{4}, \quad (3.41)$$

აქ

$$U_{კრ} = 8,3\sqrt{D_2} \sqrt{S\Psi}, \quad (3.42)$$

Ψ - ტრანსპორტაბელურობის კოეფიციენტი, მისი საშუალოდ შეტიკტივებული მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით

$$\Psi = \frac{\sum \Psi_i P_i}{100}; \quad (3.43)$$

Ψ_i - i -ური სტანდარტული ფრაქციის ტრანსპორტაბელურობის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა მოცემულია ცხრილებში; P_i - მყარი მასალის ნიმუშში i -ური ფრაქციის მასური პროცენტული შემცველობა.

ხარჯით და ნამდვილი კონცენტრაციების შეფარდება განისაზღვრება ფორმულით

$$\frac{S_b}{S_c} = 1 + 4 \frac{S_c}{S_{კმ}} \left(\lg \frac{S_c}{S_{კმ}} \right)^2, \quad (3.44)$$

აქ $S_{კმ}$ არის პარამეტრი, რომელიც ითვალისწინებს მყარი მასალის ნაწილაკების არათანაბრად განაწილებას მილსაღენის განიკვეთში

$$S_{კმ} = 1 + \left(\frac{S_b}{S} - 1 \right) \frac{U_{კრ}}{U} \cos \alpha. \quad (3.45)$$

S_b - ჰიდრონარევი მყარი მასალის კონცენტრაციის ზღვრული მნიშვნელობა. მარცვლოვანი მყარი მასალებისათვის $S_b = 0,6$; α - მილსაღენის პორიზონტთან დახრის კუთხე.

თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ მილსაღენებში დაწნევის დანაკარგები მინიმალურია კრიზისულთან ახლო სიჩქარეების დროს, მაშინ

მილსადენის შიგა დიამეტრი შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით

$$D_3 = 2 \sqrt{\frac{Q}{M_3 U_{\text{კ}}}}. \quad (3.46)$$

(3.46) ფორმულით მიღებული მილსადენის შიგა დიამეტრის მნიშვნელობა უნდა დამრგვალდეს სტანდარტულ მნიშვნელობამდე ნაკლებობისაკენ და არა მეტობისაკენ, როგორც ეს ერთფაზიანი სითხეების ტრანსპორტირების შემთხვევაში ხდება. ეს განაპირობებს მილსადენში ჰიდრონარევის ტრანსპორტირებას კრიზისულ სიჩქარეზე ცოტათი მეტი სიჩქარით, რაც გამორიცხავს დალექილი რეჟიმის წარმოშობას. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ე.ი. თუ მილსადენის სტანდარტულ დიამეტრს შევარჩევთ მეტობით, მოხდება ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარის, კრიზისულ მნიშვნელობასთან შედარებით, შემცირება. ამან შეიძლება განაპირობოს მილსადენის ფსკერზე მყარი ნაწილაკების დალექვა და დალექილი რეჟიმის წარმოშობა, რაც ყოველთვის არ არის დასაშვები და სპეციალურ გაანგარიშებებს მოითხოვს (იხ. თავი 1).

ბ) ნახშირის ჰიდროტრანსპორტი. მილსადენებით ნახშირების (კლასები 0-13; 0-25; 0-50; 0-100 მმ) ჰიდრო-ტრანსპორტირებისას დაწნევის კუთრი დანაკარგები გამოითვლება ფორმულით

$$i_{\text{კ}} = i_{\text{წ}} \frac{1 + aS'}{2gD_3} K_1 (\alpha' + \beta' U_{\text{კ}}^2), \quad (3.47)$$

აქ $K_1 = 0,9 - 1,0$ არის ცდით განსაზღვრული კოეფიციენტი; $\alpha' = 0,087 + 0,00008d_{\text{კ}};$ $\beta' = 0,00027d_{\text{კ}}.$

კრიზისული სიჩქარე

$$U_{\text{კ}} = K_v \sqrt{\frac{\rho_{\text{კ}}}{\rho_{\text{წ}}}} \cdot \sqrt{gD_3(1 + aS)}, \quad (3.48)$$

სადაც $K_v = 1,12 + 0,0012d_{\text{კ}}^2$ შესწორების კოეფიციენტია.

ნახშირმამდიდრებელი ფაბრიკების ნარჩენების (კულების) ჰიდროტრანსპორტირებისას დაწნევის კუთრი დანაკარგი იანგარიშება ფორმულით

$$i_{\text{კ}} = \lambda_{\text{წ}} \frac{U_{\text{კ}}^2}{2gD_3}, \quad (3.49)$$

ხოლო კრიზისული სიჩქარე

$$U_{\gamma\epsilon} = K_s K_d \sqrt{g D_3 (1 + aS)}; \quad (3.50)$$

$K_s = 0,9 - 1,0$; $K_d = 0,8$ - ცლით განსაზღვრული კოეფიციენტი.

ნახშირის სუსპენზიების მილსადენებით ტრანსპორტირებისას დაწნევის კუთრი დანაკარგები განისაზღვრება ფორმულით

$$i = \frac{\lambda_{\text{ს}} U_{\text{მე}}^2}{2g D_3}, \quad (3.51)$$

აქ $U_{\text{მე}}$ სუსპენზიის ტრანსპორტირებისათვის აუცილებელი მინიმალური სიჩქარეა.

ამ შემთხვევაში კრიზისული სიჩქარის ცნება პრაქტიკულად აზრს კარგავს და $U_{\text{მე}}$ იანგარიშება ფორმულით

$$U_{\text{მე}} = \frac{R_c v_{\text{კ}}}{D_3}, \quad (3.52)$$

$v_{\text{კ}} = 0,39 \cdot 10^{-4}$ არის სუსპენზიის მაქიმალურად შესაძლო კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი.

გ) მიწისქვეშა სივრცეების დაქუცმაცებული ამოსავლები მასალების მილსადენებით ჰიდროტრანსპორტირებისას დაწნევის კუთრი დანაკარგები იანგარიშება ფორმულით

$$i_{\gamma\epsilon} = i_{\text{ფ}} \frac{\rho_{\text{მე}}}{\rho_{\text{ფ}}} + K_v \left[\frac{\rho_{\text{მე}}}{\rho_{\text{ფ}}} - 1 \right] S (\sin \alpha + f \cos \alpha), \quad (3.53)$$

სადაც $K_v = 1,12 + 0,0012 d_{\text{კ}}^2$ ექსპერიმენტულად განსაზღვრული შესწორების კოეფიციენტი; $f = 1,05$ - მოძრავი მყარი ნაწილაკების ხახუნის განზოგადებული კოეფიციენტი; α - მილსადენის ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხე. ამ შემთხვევისათვის კრიზისული სიჩქარე (3.41) ფორმულით იანგარიშება.

დ) ნაცარწილოვანი ნარჩენების ჰიდროტრანსპორტი. მილსადენებში ნაცარწილოვანი ნარჩენების (რომელთა დიამეტრი $d_{\text{კ}} \leq 2$ მმ) ჰიდროტრანსპორტირებისას დაწნევის კუთრი დანაკარგები

$$i_{\gamma\epsilon} = \frac{\lambda_{\text{ფ}} U_{\text{წ}}^2}{2g D_3} \left\{ \left[1 + \left(\frac{\rho_{\text{მე}}}{\rho_{\text{ფ}}} - 1 \right) S \right] + \frac{W}{2g D_3 d_{\text{კ}}} \left[0,04 + 2,5 \frac{W}{U_{\text{წ}}} \right] S \right\}, \quad (3.54)$$

$U_{\text{კ}}$ არის ჰიდრონარევის მოძრაობის ოპტიმალური სიჩქარე მილსადენში.

შესაბამისად, აღნიშნული ზომის მყარი ნაწილაკების არსებობისას ჰიდრონარევი, მისი მოძრაობის კრიზისული სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით

$$U_{\text{კ}} = 0,7 \left(\frac{\rho_{\text{აყ}}}{\rho_{\text{წყ}}} \right)^{0,33} \sqrt{g D_{\text{ა}}}. \quad (3.55)$$

თუ ნაცარწილოვანი ნარჩენების დიამეტრი 2 მმ-ს ($d_{\text{აყ}} > 2$ მმ) აღემატება, ჰიდრონარევის მოძრაობის კრიზისული სიჩქარე მილსადენში გამოითვლება ფორმულით

$$U_{\text{კ}} = K_v \left(\frac{\rho_{\text{აყ}}}{\rho_{\text{წყ}}} \right)^{0,33} \cdot \left(1 + \frac{d_{\text{აყ}}}{D_{\text{ა}}} \right) \sqrt{g D_{\text{ა}}}. \quad (3.56)$$

ე) წიაღისეული კონცენტრატებისა და გამდიდრების ნარჩენების (კუდების) ჰიდროტრანსპორტი. სამთო მადიდრებელ ფაბრიკებზე წიაღისეული კონცენტრატებისა და გამდიდრების ნარჩენების (კუდების) ჰიდროტრანსპორტირებისას მილსადენებში დაწნევის კუთრი დანაკარგები გამოითვლება ფორმულით

$$i_{\text{კ}} = \frac{\lambda U_{\text{კ}}^2}{2g D_{\text{ა}} \left(1 - e^{-\frac{1-0,7U_{\text{კ}}/U_{\text{კ}}}{\sqrt{S}}} \right)}, \quad (3.57)$$

ხოლო კრიზისული სიჩქარე, ფორმულით

$$U_{\text{კ}} = 7,2 \sqrt{2g D_{\text{ა}} W} \sqrt{\rho_{\text{აყ}} - 1} \sqrt{S}. \quad (3.58)$$

ზემოთ განხილულის გარდა, კიდევ არსებობს ფხვიერი მყარი მასალების ნაირსახეობები, რომელთა ჰიდროტრანსპორტი განხილულია სპეციალურ ლიტერატურაში (სახელმძღვანელოს მოცულობის შეზღუდულობის გამო ჩვენ მათზე აქარ შეეჩერდებით).

**თავი 4. დაუმყარებელი რეჟიმები
ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში**

4.1. დაუმყარებელი რეჟიმების წარმოშობის პირობები და მიზეზები

სითხეების სადაწნეო მილსადენებით ტრანსპორტირებისას ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში შესაძლებელია წარმოიშვას გარდამავალი, ანუ დაუმყარებელი რეჟიმები. როგორც ცნობილია ჰიდრაულიკის კურსიდან, სადაწნეო მილსადენებში ერთფაზიანი სითხეების ტრანსპორტირებისას დაუმყარებელი ეწოდება მოძრაობას, როდესაც მოძრავი სითხის ნაწილაკის U სიჩქარე და P წნევა ნებისმიერ წერტილში დროის მიხედვით იცვლება, ე.ი.:

$$\left. \begin{aligned} U &= f(x, y, z, t), \\ P &= \phi(x, y, z, t). \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში დაუმყარებელი რეჟიმის დროს ჰიდრონაერევის ნაკადის U სიჩქარის და P წნევის ნებისმიერ წერტილში დროის მიხედვით ცვალებადობას ემატება ჰიდრონარევის კონცენტრაციის S ანუ სიმკვრივის ρ , ცვალებადობა, მაშინ (4.1) მიიღებს სახეს

$$\left. \begin{aligned} U &= f(x, y, z, s, \rho, t), \\ P &= \psi(x, y, z, s, \rho, t). \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

დაუმყარებელი რეჟიმი შეიძლება მიმდინარეობდეს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში (შესაძლებელია ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მუშაობის მთელ პერიოდში), თუ მუდმივად ხდება მილსადენში ჰიდრონარევის მიწოდების ან კონცენტრაციის ცვალებადობა. თუ დროის მცირე მონაკვეთში ხდება მიწოდების (სიჩქარის) ან კონცენტრაციის (ჰიდრონარევის ნაკადის სიმკვრივის) ცვალებადობა, მაშინ ასეთი რეჟიმებს გარდამავალს უწოდებენ. თუ დროის ძალზე მცირე მონაკვეთში მოხდა ჰიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარის მნიშვნელოვანი ცვალებადობა და შესაბამისად წნევის მატება, ასეთ პროცესს ჰიდრაულიკურ დარტყმას უწოდებენ.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ექსპლუატაციის პერიოდში სამივე პროცესს შეიძლება ჰქონდეს ადგილი, რადგან მათი განმპირობებელი მრავალი ფაქტორი და მიზეზი არსებობს, კერძოდ: ა) დროის შედარებით მცირე მონაკვეთში

მილსადენში ჰიდრონარევის სიმკვრივის მნიშვნელოვანი ცვალებადობა; ბ) ჰიდრონარევის ფხვიერი მყარი მასალის რაოდენობის (კონცენტრაციის) მყისიერი ცვალებადობა; გ) საჭირხნ მილსადენში მყარი მასალის საცობის წარმოქმნა; დ) ტუმბოების ამუშავებისა და გაჩერების მიმდევრობის დარღვევა (პრავალსაფეხურიან ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში, როდესაც ჰიდრონარევის მიწოდება ხდება მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების მეშვეობით); ე) მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების მუშაობის რეჟიმების დარღვევა; ვ) მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების უეცარი გაჩერება ელექტროენერჯის მიწოდების უეცარი შეწყვეტის დროს; ზ) ტუმბოების უეცარი ამუშავება განმეორებით მათი უეცარი გაჩერების შემდეგ; თ) სათავო ტუმბოს შემწოვ მილში ნაკადის გაწყვეტა; ი) სათავო ტუმბოს ან მცურავი მიწასაწოვი დანადგარის (სამთო სამუშაოების ჰიდრომექანიზაციით შესრულებისას) შემწოვი გაუხშობის დარღვევა (შემწოვი მილის გადაკეტვა არაგაბარიტული მყარი მასალებით ან სხვა რაიმე მიზეზით); კ) შემტორი ზუმპფიდან (თუ ტუმბოები მუშაობენ შეტბორვით) დიდი რაოდენობით ჰაერის შეწოვა ან ზუმპფში ჰიდრონარევის სვეტის სიმაღლის მნიშვნელოვანი შემცირება; ლ) მილსადენის, მილსადენი არმატურის ან ტუმბოების გაგლეჯა; მ) მილსადენის ჩამკეტ-მარეგულირებელი არმატურის შეადრებით სწრაფად გაღება და დაკეტვა (ძირითადად უკუსარქელების); ნ) ჰიდრონარევის არათანაბარი მიწოდება (ძირითადად სამთო მამდიდრებელი ფაბრიკების ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში (შემტბორ ზუმპფებში); ო) დამცველი განმტვირთავი სარქველების (თუ ისინი განლაგებულია მილსადენზე) არათანაბარი მოქმედება, მათი არასწორად შერჩევისა და გათვლის დროს; პ) ტუმბოების შემწოვ მილში ნაკადის გაწყვეტა, თუ არასწორად იქნა გაანგარიშებული შემწოვში შესაშვები ჰაერის რაოდენობა ტუმბოს რეჟიმის რეგულირებისათვის (თუ ტუმბოსა და ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მუშაობის რეჟიმის რეგულირება ხდება შემწოვი ჰაერის მეშვეობით).

ზემოთ ჩამოთვლილიდან განსაკუთრებით არასასურველი და საშიშია ზ-ნ პუნქტებში მოცემული მიზეზები, რადგან ასეთ შემთხვევაში, როგორც წესი, ხდება ჰიდრონარევის ნაკადის მთლიანობის დარღვევა (ნაკადის გაწყვეტა), შემხვედრი ნაკადების წარმოშობა და შეჯახება. ამ დროს ადგილი აქვს წნევის უეცარ მნიშვნელოვან მატებას, შესაძლებელია უფრო მნიშვნელოვანს, ვიდრე ჰიდრავლიკური დარტყმების დროს.

ა-გ და ი-კ პუნქტებში განხილული მიზეზები და პირობები უმეტესწილად დამახასიათებელია ჰიდრომექანიზაციის ობიექტების ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებისათვის (როდესაც სამთო ქანების გადახსნა და წიაღისეულის მოპოვება ხდება მცურავი სატუმბი სადგურებითა და მიწასაწოვი დანადგარებით);

წყალსაცავების, მდინარეებისა და პორტების გაწმენდა მათივე საშუალებით, როდესაც ჰიდრონარევის შეწოვა ხდება ხელოვნურად ფორმირებული ზუმფებიდან.

ლ-ო პუნქტებში ჩამოთვლილი მიზეზები და პირობები ძირითადად დამახასიათებელია ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებისათვის, რომლებიც მუშაობენ შემტბორი ავზებით (ზუმფებით). ასეთი სისტემები ფუნქციონირებს სამთამადნო და ნახშირის მრეწველობის მამდიდრებელ ფაბრიკებში.

ყველა განხილული მიზეზი და პირობა, გარდა ჰუნქტში მოცემულისა, შემთხვევითია, რომელთა თავიდან აცილება ხშირად პრაქტიკულად შეუძლებელია. ყველა შემთხვევაში ხდება დამყარებული რეჟიმის დარღვევა, რასაც შედეგად მოჰყვება რხევითი პროცესების წარმოშობა და უმეტესწილად წნევის დასაშვებზე მეტად გაზრდა. ამდენად, ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები, როგორც წესი, საჭიროებს დამატებითი ღონისძიებების განხორციელებას, რათა თავიდან იქნეს აცილებული არასასურველი შედეგები, განსაკუთრებით ტუმბოების ამუშავებისა და გაჩერების (მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების შემთხვევაში), აგრეთვე ჰიდრავლიკური დარტყმების წარმოშობის დროს.

4.2. გარდამავალი რეჟიმები ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში

წინა პარაგრაფში აღნიშნული იყო, რომ თუ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემაში დროის შედარებით მცირე მონაკვეთში ხდება მიწოდების (სიჩქარის) ან კონცენტრაციის (სიმკვრივის) და შესაბამისად წნევის ცვალებადობა, რეჟიმს გარდამავალი ეწოდება. ასეთ შემთხვევაში, დროის ამ მცირე მონაკვეთის გავლის შემდეგ აღნიშნული პარამეტრების ცვალებადობა უნდა შეწყდეს და რეჟიმი დამყარდეს. განხილულ სისტემებში გარდამავალი რეჟიმები შესაძლებელია წარმოიშვას წინა პარაგრაფში განხილული ფაქტორებისა და მიზეზების არსებობისას. ყველა მათგანის განხილვა და ანალიზი ძალზე დიდ სირთულეთან არის დაკავშირებული, რადგან, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ისინი, გარდა ჰუნქტში მოცემული მიზეზისა, შემთხვევითია. ამდენად, დაწერილებით განვიხილავთ ამ შემთხვევას, რადგან სწორედ მას აქვს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ექსპლუატაციისას. დღესდღეობით ჰიდრონარევის ტრანსპორტირებისათვის ძირითადად გამოიყენება ცენტრიდანული გრუნტის ტუმბოები, მიწასაწოვები, ნახშირსაწოვები, ფეკალური ტუმბოები, რომლებიც ძირითადად ერთსაფეხურიანია და შედარებით დაბალ წნევას ავითარებენ. ამდენად, უმეტეს

შემთხვევაში აუცილებელი ხდება მათი მილსადენში მიმდევრობით ჩართვა, რათა გაიზარდოს წნევები. ტექნოლოგიური დანიშნულების ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები სწორედ ასეთი სქემით მუშაობენ. დგუშიანი და ყვინთიანი ტუმბოები გამრიყენება მხოლოდ მაგისტრალურ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში, როდესაც ტრანსპორტირების მანძილი საკმაოდ მნიშვნელოვანია (აღმატება რამდენიმე ათეულ კილომეტრს).

როდესაც მილსადენში მიმდევრობით ჩართულია რამდენიმე ტუმბო, სისტემებს მრავალსაფეხურიანი ეწოდება. ასეთი სქემის განხორციელების დროს ყველაზე ხელსაყრელია ტუმბოების განაწილება მილსადენის გასწვრივ და პირველი (სათაო) ტუმბოს საჭირხნი მილსადენი გარკვეული მანძილის შემდეგ (სადაც პრაქტიკულად ხდება ამ ტუმბოს მიერ განვითარებული წნევის საჭირო მინიმუმამდე შემცირება) უშუალოდ უერთდება მეორე (საშუალებლო) ტუმბოს შემწოვ მილტუნს და ა.შ. დაუსუბელებია რამდენიმე ტუმბოს მიმდევრობით მიერთება ერთმანეთთან ერთ სატუმბ სადგურში. როგორც გამოჩვენდა, დასაშვებია მხოლოდ ორი ტუმბოს უშუალოდ ერთმანეთთან მიმდევრობით მიერთება ტუმბოს დამამზადებელი ქარხნის ნებართვის მიღების შემთხვევაში.

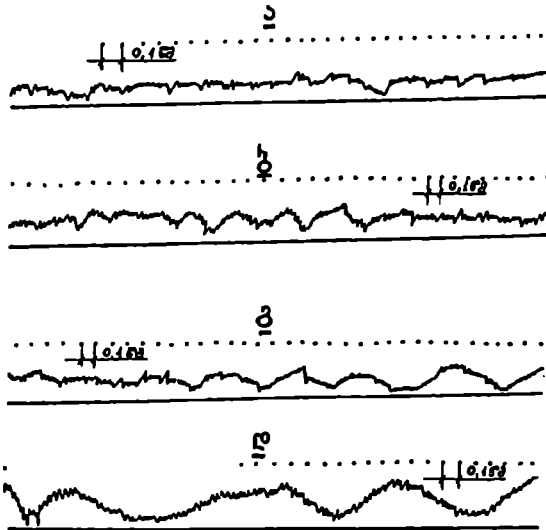
მიმდევრობით ჩართული ტუმბოებით მომუშავე ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში ტუმბოების ამუშაებისა და გაჩერების შემთხვევაში წარმოიშობა გარდამავალი რეჟიმები, რომლებიც ხასიათდებიან წნევის ცვალებადობით. წნევის ცვალებადობის სიხშირე და ამპლიტუდა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, კერძოდ: ა) ტუმბოების ამუშაებისა და გაჩერების თანამიმდევრობაზე; ბ) ამუშაებათა და გაჩერებათა შორის ინტერვალზე; გ) ტუმბოებისა და მილსადენების ინერციულობაზე; დ) მილსადენის პროფილზე; ე) ჰიდრონარევის მიწოდების გეომეტრიულ სიმაღლეზე და ა.შ.

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგენილია ა) მილსადენში მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების ამუშაება უნდა განხორციელდეს პირადპირი თანამიმდევრობით, ე.ი. ჯერ უნდა ამუშავედეს სათაო ტუმბო, შემდეგ პირველი საშუალებლო ტუმბო და ა.შ. ბოლოს კი - ბოლო საშუალებლო ტუმბო; ბ) მილსადენში მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების გაჩერება უნდა განხორციელდეს უკუთანამიმდევრობით, ე.ი. ჯერ უნდა გაჩერდეს ბოლო ტუმბო, შემდეგ მისი მომდევნო საშუალებლო ტუმბო და ა.შ. ბოლოს - სათაო (პირველი) ტუმბო; გ) მილსადენში მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების ამუშაებისა და გაჩერების დროს წნევების მინიმალური ნაზარდი დამყარებული რეჟიმის წნევასთან შედარებით, მიღწეული იქნება მხოლოდ მაშინ, თუ ტუმბოების ამუშაებასა და გაჩერებას შორის დაცული იქნება პირობა

$$l = \frac{2L}{a} \geq l_{ფ.} \quad (4.3)$$

(4.3) პირობით განსაზღვრული ინტერვალის დაცვა მილსადენში მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების ამუშავებასა და გაჩერებას შორის უზრუნველყოფს გარდამავალი რეჟიმის დროს წნევების მინიმალურად დასაშვებ მატებას, დამყარებული რეჟიმის წნევებთან შედარებით. რითაც თავიდან იქნება აცილებული არასუსურველი შედეგები.

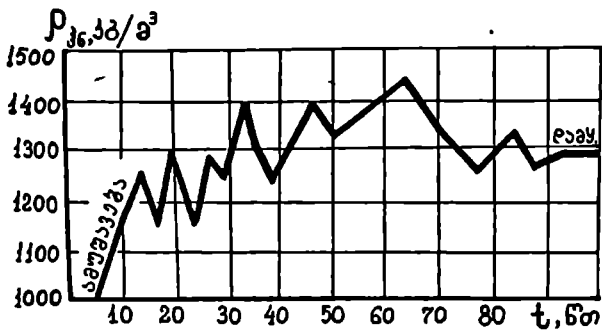
როგორც წინა პარაგრაფში იყო აღნიშნული, სადაწნეო პიდროსატრანსპორტო სისტემებში გარდამავალი რეჟიმები წარმოიშობა მიწოდების (სიჩქარის) ან კონცენტრაციის (პიდრონარევის სიმკვრივის) ცვალებადობის დროს. ამის ნათელი დადასტურებაა 4.1 და 4.2 ნახაზებზე მოცემული ოსცილოგრამები.



ნახ. 4.1. მიწოდების (სიჩქარის) ცვალებადობის ოსცილოგრამები პიდროსატრანსპორტო სისტემის საჭირბნ სილსადენში (მილსადენის შიგა დიამეტრი $D_3 = 700$ მმ, მყარი მასალის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი $d_{სა} = 0,56$ მმ, პიდრონარევის საშუალო სიჩქარე დამყარებული რეჟიმის დროს $U = 3,0$ მ/წმ):

ა - პიდრონარევის სიმკვრივე $\rho_x = 1100$ კგ/მ³. ბ - $\rho_x = 1200$ კგ/მ³.

გ - $\rho_x = 1250$ კგ/მ³. დ - $\rho_x = 1300$ კგ/მ³

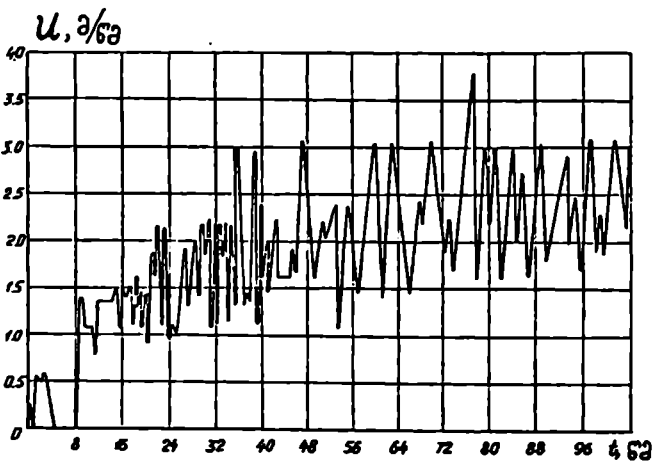


ნახ. 4.2. ჰიდრონარევის კონცენტრაციის (სიმკვრივის) ცვალებადობა ჰიდროსატ-რანსპორტო სისტემის ამუშავების დროს (მილსადენის შიგა დიამეტრი $D_3 = 500$ მმ, მაყრი მასალის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი $d_{სა} = 0,40$ მმ, ჰიდრონარევის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე დამყარებული რეჟიმის დროს $U = 4,5$ მ/წმ)

მიწოდების (სიჩქარის) ცვალებადობის ოსცილოგრამები ჩაწერილია სპეციალურად დამზადებული ტენზომეტრული გადაამწოდით - სიჩქარის საზომით, ხოლო ჰიდრონარევის კონცენტრაციის (სიმკვრივის) ცვალებადობის ხასიათი - რადიომეტრული სიმკვრივის საზომით (იხ. სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილი).

ნახაზიდან ჩანს, რომ ორივე შემთხვევაში მკვეთრად გამოხატულ რხევით პროცესს აქვს ადგილი, განსაკუთრებით კონცენტრაციის ცვალებადობის დროს. იგი ასახავს კონცენტრაციის ცვალებადობას, როდესაც მიწასაწოვი დანადგარი სამთო ობიექტის კარიერზე ხელოვნურად ფორმირებული ზუმპფიდან ახდენდა ჰიდრონარევის შეწოვას გრუნტის ტუმბოს ამუშავებისას. ამ შემთხვევაში ფხვიერი მყარი მასალა წარმოადგენდა სამთო ქანს (გადახსნითი სამუშაოები ჰიდრომექანიზაციის გამოყენებით).

4.3. ნახაზზე მოცემულია სიჩქარის ცვალებადობის ხასიათი (ოსცილოგრამა) იმავე სისტემაზე, რომელზეც ჩაწერილი იყო 4.1 ნახაზზე მოცემული ოსცილოგრამები. იგი ახასიათებს სიჩქარის ცვალებადობას მიწასაწოვის ამუშავებიდან რეჟიმის დამყარებამდე, ანუ როცა საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობამ მიაღწია $U = 3,0$ მ/წმ-ს.



ნახ. 4.3. სიჩქარის ცვალებადობის ხასიათი ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის გარდამავალ რეჟიმში მიწასაწოვის ამუშავებისას (ჰიდრონარევის კონცენტრაცია (სიმკვრივე) გარდამავალი რეჟიმის დასრულებისას $\rho_1 = 1300 \text{ კგ/მ}^3$)

4.3. ჰიდრაულიკური დარტყმები ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მილსადენში ჰიდრონარევის ნაკადის სიჩქარის სწრაფი ცვალებადობის შედეგად წნევის მყისიერ მომატებას ჰიდრაულიკური დარტყმა ეწოდება. იგ, ზოგიერთი გამონაკლისი შემთხვევის გარდა (მაგალითად, ჰიდრაულიკური ტარანი და ჰიდრაულიკური პულსატორები), მანვე მოვლენა და უარყოფით გაველენას ახდენს ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე, რადგან იწვევს სერიოზულ ავარიებს, მილსადენის, ტუმბოების, ჩამკეტ-მარეგულირებელი არმატურის, სხვა შემადგენელი კვანძებისა და ელემენტების დაზიანებას. მათი აღდგენისა და მწყობრში ჩაყენებისათვის ზოგჯერ დიდი დროა საჭირო, რაც იწვევს არასაწარმოო მოცდენებს. ამდენად, აუცილებელია ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების დაპროექტებისას გათვალისწინებულ იქნეს ღონისძიებები, რომლებიც ხელს შეუშლიან ჰიდრაულიკური დარტყმების წარმოშობას ან წარმოშობის შემთხვევაში დაიცავენ ზემოთ აღნიშნულ ელემენტებს დაზიანებისაგან.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში ჰიდრავლიკური დარტყმა პრაქტიკულად შესაძლებელია წარმოიშვას 4.1 პარაგრაფში ა-ჰ პუნქტებში ჩამოთვლილ შემთხვევაში. იქვე არის აღნიშნული, რომ განსაკუთრებით არასასურველი და საშიშია ზ-ნ პუნქტებში განხილული მიზეზები.

მილსადენებში რეალური სითხეების მოძრაობის შემთხვევისას ჰიდრავლიკური დარტყმა მიღვეადი რხევითი პროცესია, რომლის დროსაც წნევის რხევის სიხშირე, ამპლიტუდა და მიღვევის ინტენსიურობა დამოკიდებულია მილსადენის დიამეტრსა და კედლის სისქეზე, იმ მასალის დრეკადობის მოდულზე, რომლისგანაც დამზადებულია მილსადენი, ტრანსპორტირებული სითხის დრეკადობის მოდულზე და მისი მოძრაობის სიჩქარეზე დამყარებული რეჟიმის დროს (დარტყმის წინა სიჩქარე).

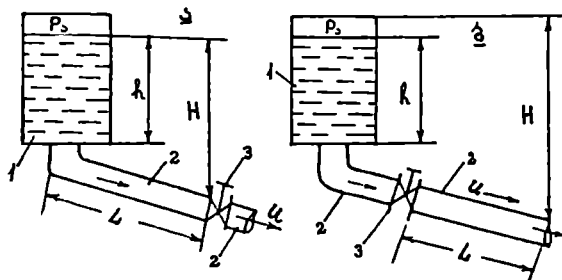
მრავალფაზიანი ჰიდრონარევის მოძრაობის შემთხვევაში, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი პარამეტრებისა, წნევის ამპლიტუდა, სიხშირე, განსაკუთრებით კი მიღვევის ინტენსიურობა დამოკიდებულია შემადგენელი ფაზების შემცველობაზე (კონცენტრაციაზე, სიმკვრივეზე) ჰიდრონარევაში, ფხვიერი მყარი მასალების ნაწილაკების მინარევების შემთხვევაში მასალის გრანულომეტრიულ შედგენილობაზე, მის ერთგვაროვნების მაჩვენებელზე და დრეკადობის მოდულზე.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში ჰიდრავლიკური დარტყმა შეიძლება წარმოიშვას როგორც წნევის მატებით, ისე წნევის კლებითაც.

განვიხილოთ ჰიდრავლიკური დარტყმის ფიზიკური არსი ორივე შემთხვევისათვის. პროცესის ანალიზისათვის გამოვიყენოთ 4.4 ნახაზზე მოცემული სქემები, რომლებიც შეიცავენ შემტბორ ზუმპფს 1, სადაწნეო მილსადენს 2 და საკვალთს 3.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემაში, როგორც საერთოდ სადაწნეო ჰიდრავლიკურ სისტემებში, ჰიდრავლიკური დარტყმა წნევის მატებით (იხ. ნახ. 4.4, ა) წარმოიშობა იმ შემთხვევაში, თუ სადაწნეო მილსადენის 2 განივკვეთის უეცარი გადაკეტვა ხდება მისი ბოლოში ან ჰიდრონარევის მიმწოდებელი მანქანადანადგარიდან, ტუმბო იქნება ის თუ სხვა რაიმე მოწყობილობა (ჩვენ შემთხვევაში შემტბორი ზუმპფი 1) გარკვეულ მანძილზე მოშორებით დამონტაჟებული საკვალთით (შესაძლებელია სხვა რაიმე ჩამკეტი მოწყობილობაც: ვენტილი, საცობიანი ონკანი, შიბერი და ა.შ). თუ სადაწნეო მილსადენის 1, რომელშიც დამყარებული რეჟიმის დროს ჰიდრონარევი მოძრაობს U სიჩქარით და შესაბამისი საწყისი P წნევით, განივკვეთს მყისიერად გადაკეტავთ საკვალთის 3 მეშვეობით, დროის მცირე მონაკვეთში გაჩერდება საკვალთთან უშუალოდ მიმდებარე ჰიდრონარევის თხელი შრე, ხოლო ნაკადის

დანარჩენი ნაწილი U საწყისი სიჩქარით იმოძრავეს პირვანდელი მიმართულებით - შემტბორი ზუმპფიდან საკვალთისაკენ, რის გამოც ეს შრე შეიკუმშება დამატებითი ΔP წნევით, რომელიც პიდრავლიკური დარტყმის დროს წარმოიშობა, ხოლო მილსადენის კედლები შესაბამის დეფორმაციას განიცდის და მილსადენის დიამეტრი იზრდება (მილსადენი ფართოვდება). რადგან მილსადენში 1 პიდრონარევის ნაკადის სიჩქარე და მასში ტალღის გავრცელების სიჩქარე მუდმივი სიდიდეებია. პიდრავლიკური დარტყმის მომენტში გარკვეული დროის განმავლობაში საკვალთთან უშუალოდ მიმდებარე შრეში წნევა მუდმივი რჩება. პიდრონარევი საკვალთის 3 ფრონტზე (მილსადენის L სიგრძე საკვალთიდან 3 შემტბორ ზუმპფამდე 1) იმყოფება საწყისი წნევის ქვეშ და აგრძელებს ინერციით მოძრაობას U სიჩქარით ზუმპფიდან საკვალთისაკენ 3. როცა ტალღის ფრონტი მიაღწევს შემტბორ ზუმპფთან მილსადენის მიერთების წერტილს, მილსადენში 2 სითხე უძრავია და მთელ სიგრძეზე იმყოფება მუდმივი $P_0 + \Delta P$ წნევის ქვეშ. ამ მომენტში სითხის ნაკადის მთელი კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება დრეკადი კუმშვისა და მილსადენის კედლების დეფორმაციის ენერგიად:



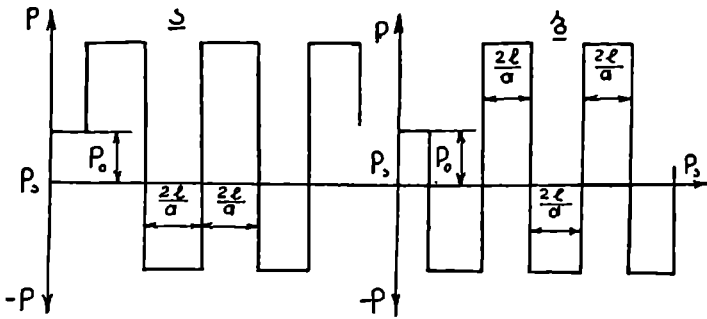
ნახ.4.4. პიდროსატრანსპორტო სისტემების სქემები პიდრავლიკური დარტყმის პროცესის განხილვისათვის: ა - დარტყმისათვის, რომელიც წარმოიშობა წნევის მატებით; ბ - დარტყმისათვის, რომელიც წარმოიშობა წნევის კლებით: 1 - შემტბორი ზუმპფი, 2 - სადაწნეო მილსადენი, 3 - საკვალთი

მას შემდეგ, რაც წნევის გავრცელების ტალღა მიაღწევს შემტბორ ზუმპფს 1, პიდრონარევი საკვალთიდან (მილსადენის 1 გადაკვეთის ადგილიდან) U სიჩქარით დაიწყებს მოძრაობას საწყისი მოძრაობის მიმართულების საპირისპიროდ, ე.ი. საკვალთიდან 3 ზუმპფისაკენ 1. ამ დროს წნევა მილსადენში 2 იწყებს საწყის მნიშვნელობამდე შემცირებას (ნახ.4.4, ა). კლებადი წნევის

ტალლა ზუმპფიდან 1 იწყებს გავრცელებას საკვალთიდან 3 იმავე a ტალლის გავრცელების სიჩქარით და მიაღწევს მილსადენზე საკვალთის დაყენების კვეთს მისი დაკეტვიდან $2L/a$ დროის შემდეგ. მილსადენში 2 ჰიდრონარევი კვლავ აღმოჩნდება საწყისი P_0 წნევის ქვეშ. ამ დროს ჰიდრონარევი U სიჩქარით იმოძრაებს საკვალთიდან 3 ზუმპფისაკენ 1. შემდგომში ჰიდრონარევი აგრძელებს მოძრაობას ზუმპფის მიმართულებით. მისი ნაწილი, რომელიც უშუალოდ საკვალთანაა განთავსებული, ჩერდება. წნევა ამ დროს ΔP სიდიდით მცირდება საწყის P_0 წნევასთან შედარებით და რხევითი პროცესის პირველ ფაზაში ($2L/a$) არსებული წნევის ტოლი ხდება. წნევის კლებისა და წნევის ნაზარდის (მატების) დროს წნევის (ΔP) ცვლილების ტოლობა განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ ორივე შემთხვევაში სიჩქარის ერთი და იგივე მნიშვნელობა (U) ნულამდე მცირდება. შემცირებული წნევის (ΔP) ტალლა ვრცელდება საკვალთან 3 ზუმპფის | მიმართულებით და მიაღწევს მას $3L/a$ დროის შემდეგ. ამასთან, ჰიდრონარევი მილსადენში უძრავია, ხოლო წნევა საწყისთან შედარებით შემცირებულია ΔP სიდიდით (ნახ.4.5, ა). შემდეგ ჰიდრონარევი მილსადენში 2 იწყებს მოძრაობას U სიჩქარით. წნევა მასში აღდგება საწყის P_0 მნიშვნელობამდე. მეორე ფაზის ბოლოს, ანუ საკვალთის დაკეტვიდან $4L/a$ დროის შემდეგ, მილსადენში 2 იგივე პირობები იქნება, რაც იყო საკვალთის 3 დაკეტვამდე და ზემოთ აღწერილი პროცესი განმეორდება. შემდეგ დაიწყება ახალი ციკლი.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემაში ჰიდრავლიკური დარტყმა წნევის კლებით წარმოიშობა იმ შემთხვევაში, თუ სწრაფად გადაკეტავენ მილსადენს საკვალთით 3, რომელიც უშუალოდ შემტბორი ზუმპფის | სიახლოვეს არის დამონტაჟებული (იხ. ნახ.4.4, ბ).

ასეთ დროს სადაწნეო მილსადენში რხევითი პროცესი მიმდინარეობს ზემოთ აღწერილი შემთხვევის საპირისპიროდ, საკეტით 3 მილსადენის განივკვეთის სწრაფი გადაკეტვისას მასთან უშუალოდ მიმდებარე მცირე შრე კი არ გაჩერდება, არამედ ჰიდრონარევის ნაკადი განაგრძობს მოძრაობას მილსადენში 2 საწყისი მიმართულებით. ამდენად, ჰიდრონარევის ნაკადი კი არ იკუმშება, არამედ ფართოვდება, რაც მოპყვება უშუალოდ საკვალთის განთავსების კვეთში ΔP წნევის შემცირებას (იხ.ნახ. 4.5, ბ). ეს შემცირება ტალლის გავრცელების a სიჩქარით ვრცელდება საკვალთიდან სადაწნეო მილსადენის ბოლოსაკენ (აქ, როგორც წესი, ხდება ჰიდრონარევის გამოდინება, ატმოსფეროში), სადაც ხდება ტალლის არეკლა (ამ შემთხვევაში მილსადენის ბოლო გაიგივებულია შემტბორ ზუმპფთან). ამ პერიოდში მთელ მილსადენში 2 გვექნება შემცირებული წნევა,



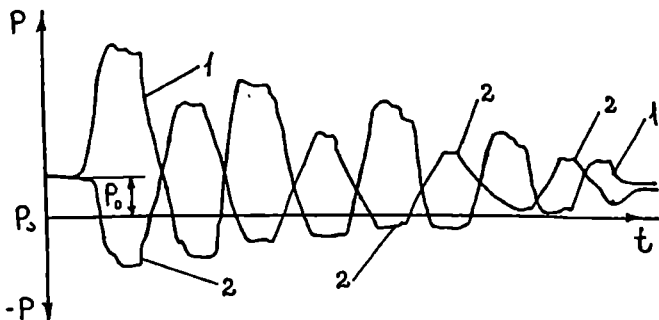
ნახ. 4.5. წნევის ცვალებადობის გრაფიკული გამოსახულება ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს მილსადენში იდეალური სითხეების მოძრაობის შემთხვევაში: ა - როდესაც ჰიდრავლიკური დარტყმა წარმოიშობა წნევის მატებით; ბ - როდესაც ჰიდრავლიკური დარტყმა წარმოიშობა წნევის კლებით

საწყის წნევასთან შედარებით, ანუ თუ წინა შემთხვევაში ჰიდრავლიკური დარტყმის პირველ ნახევარფაზაში (L/a) აღინიშნებოდა წნევის მატება, ამ შემთხვევაში იმავე პერიოდში გვექნება წნევის კლება, დამყარებული რეჟიმის P_0 საწყის წნევასთან შედარებით. განსხვავება რხევითი პროცესის შემთხვევაში მხოლოდ ეს არის. რხევითი პროცესის ანალიზის დანარჩენი ნაწილი იდენტურია წინა შემთხვევისა, რომელიც დაწერილებით იყო განხილული და გამეორებას არ საჭიროებს.

გრაფიკული ანალიზი, რომელიც 4.5 ნახაზზეა მოყვანილი მართებულია იდეალური სითხეებისათვის (როგორც ჰიდრავლიკის კურსიდანაა ცნობილი იდეალურია სითხეები, რომელთაც არ გააჩნიათ სიბლანტე). ისინი პროცესის ანალიზის თვალსაჩინოებისათვის არიან გამოყენებული. ასეთი დაშვების დროს რხევითი პროცესი არამილევადია და არ ასახავს პროცესს რეალური ბლანტი სითხეებისათვის.

სინამდვილეში კი, მზიდი სითხის სიბლანტისა და ხახუნზე ენერჯის დანაკარგების გამო, ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს მილსადენში წნევის ცვალებადობას მილევადი ხასიათი აქვს, ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 4.6 ნახაზზე.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში ჰიდრავლიკური დარტყმის პროცესის ხასიათი, ჰიდროდინამიკური პარამეტრების ამპლიტუდა და სიხშირე, მილევის ინტენსიურობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: ჰიდრონარევის მილსადენის კედლებთან მისი ცალკეული შრეებისა და მყარი ნაწილაკების ურთიერთგადაადგილებით წარმოქმნილ ხახუნის ძალებზე, მილსადენის, მზიდი



ნახ.4.6. წნევის ცვალებადობის გრაფიკული გამოსახულება სადაწნეო მილსადენში ჰიდრონარევის მოძრაობის დროს: 1 - როდესაც დარტყმა წარმოიშობა წნევის მატებით; 2 - როდესაც დარტყმა წარმოიშობა წნევის კლებით

სითხისა და მყარი ნაწილაკების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე, ჰიდრონარევის დამყარებული ნაკადის ჰიდროდინამიკურ პარამეტრზე, მილსადენის პროფილსა და მის განივკვეთის გადაკეტვის სისწრაფეზე.

მილსადენის განივკვეთის გადაკეტვის (ჰიდრონარევის ნაკადის სიჩქარის შემცირების) სისწრაფისა და სისრულის მიხედვით განასხვავებენ პირდაპირ და არაპირდაპირ ჰიდრავლიკურ დარტყმებს. თუ მილსადენის განივკვეთის სრული გადაკეტვა ხდება მილსადენში შემფოთების გავრცელების დროს წარმოშობილი რხევითი პროცესის ფაზის ხანგრძლივობაზე ნაკლებ დროში, მაშინ ადგილი აქვს პირდაპირ ჰიდრავლიკურ დარტყმას, ე. ი. ამისათვის აცილებელია დაცული იქნეს პირობა

$$t_{\text{დ.}} < t_{\text{ფ}} = \frac{2L}{a}, \quad (4.3)$$

სადაც $t_{\text{დ.}}$ მილსადენის განივკვეთის გადამკეტი ორგანოს სრული დაკეტვის დროა.

(4.3) პირობის შესრულების შემთხვევაში ჰიდრონარევის მოძრაობის U სიჩქარე ნულამდე ეცემა. წნევის ნაზარდის ΔP მნიშვნელობა ასეთ შემთხვევაში გამოითვლება ნ. ჟუკოვსკის თეორიის მიხედვით და ტოლია

$$\Delta P = a\rho_0 U, \quad (4.4)$$

ხოლო სრული წნევა მილსადენში ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს

$$P'_{\text{დ.}} = P_0 + \Delta P. \quad (4.5)$$

თუ მილსადენის განივკვეთის გადაკეტვის ხანგრძლივობა აღემატება (4.3)

პირობით განსაზღვრულ დროს ან მისი განივი კვეთის გადაკეტვა ხდება არასრულად (საკეტში ხდება ჰიდრონარევის გარკვეული რაოდენობის გაღინება), ან საფეხუროვნად, როდესაც ცალკეული საფეხურისათვის დაცულია პირობა

$$I_{\text{კა}} > I_{\text{გ}} = \frac{2L}{a}. \quad (4.6)$$

მაშინ ადგილი აქვს არაპირდაპირ ჰიდრავლიკურ დარტყმებს, როდესაც წნევის ნაზარდის ΔP მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta P = a\rho_1(U - U'), \quad (4.7)$$

სადაც U' არის შემცირებული სიჩქარე მილსადენის გადაკეტვის არასრული ან საფეხუროვანი გადაკეტვით განპირობებული.

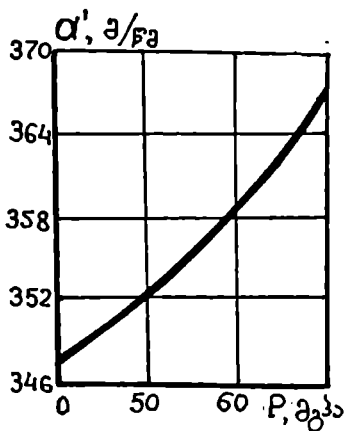
ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს მილსადენში ტალღის გავრცელების სიჩქარე a დამოკიდებულია მილსადენის გეომეტრიულ ზომებზე (კედლის სისქე, შიგა დიამეტრი), იმ მასალის დრეკადობის მოდულზე, რომლისგანაც არის ის დამზადებული. ჰიდრონარევის კონცენტრაციაზე, ჰიდრონარევი ცალკეული შემდგენი კომპონენტის, მზიდის სითხის, მყარი ნაწილაკების, ჰაერის შემცველობაზე, მათ ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე.

ფხვიერი მყარი მასალების წყალთან ნარევი პრაქტიკულად სამუაზიან ჰიდრონარევიად განიხილება, რადგან წყალთან (მზიდ სითხესთან) და მყარი მასალის ნაწილაკებთან ერთად მასში თითქმის ყოველთვის არის თავისუფალი ჰაერი (წყალში გაუხსნელი სახით). მილსადენში ტალღის გავრცელების სიჩქარის მნიშვნელობაზე სწორედ ეს უკანასკნელი ახდენს საგრძნობ გავლენას, რადგან მისი მოცულობითი დრეკადობის მოდული გაცილებით ნაკლებია წყლისა და მყარი მასალის დრეკადობის მოდულზე, რომელიც ძირითადად დამოკიდებულია წნევაზე და ნაკლებად - ტემპერატურაზე. შესაბამისად, ნაკლებია ჰაერში ტალღის გავრცელების სიჩქარე, რაც ნათლად ჩანს 4.7 ნახაზიდან.

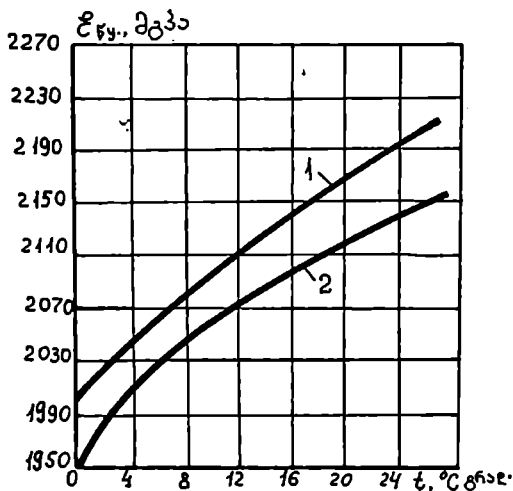
მნიშვნელოვნად ნაკლებია ტალღის გავრცელების სიჩქარე წყალშიც, რადგან მისი მოცულობითი დრეკადობის მოდულიც გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე მყარი მასალისა და იმ მასალისა, რომლისგანაც დამზადებულია მილსადენი. იგი უფრო დამოკიდებულია წყლის ტემპერატურაზე და შედარებით ნაკლებად - წნევაზე (იხ. ნახ. 4.8).

წყალში ბგერის (შემფოთების) გავრცელების სიჩქარე იცვლება მისი მოცულობითი დრეკადობის მოდულისაგან დამოკიდებულებით, მაგრამ უმნიშვნელოდ (ნახ. 4.9).

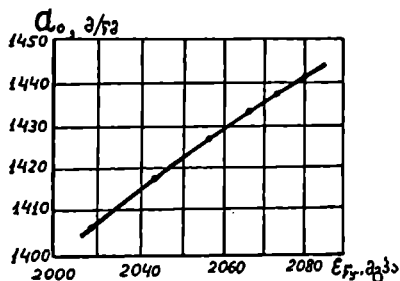
ჰაერისა და წყლის მოცულობითი დრეკადობის მოდულებთან შედარებით გაცილებით დიდია ფხვიერი მყარი მასალების იგივე პარამეტრი. სამთო ქანებისა



ნახ. 4.7. ჰაერში ბგერის (შეშფოთების) გავრცელების სიჩქარის წნევისაგან დამოკიდებულება



ნახ.4.8. წყლის მოცულობითი დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულება ტემპერატურისა და წნევისაგან: 1 - როდესაც წნევა ცვალებადობს 2,5-დან 5,0 მგპა-მდე; 2 - როდესაც წნევა ცვალებადობს 0,1-დან 2,5 მგპა-მდე



ნახ.4.9. წყალში ბგერის (შეშფოთების) გავრცელების სიჩქარის მოცულობითი დრეკადობის მოდულისაგან დამოკიდებულება

დასასარგებლო წიალისეულისათვის (არალითონური) იგი ცვალებადობს $2,0 \cdot 10^{-4} - 7,0 \cdot 10^{-4}$ მკპა-მდე, ხოლო ლითონური წიალისეულებისა და მათგან მიღებული ლითონებისათვის $0,5 \cdot 10^{-5} - 2,1 \cdot 10^{-5}$ მკპა-მდე. ამდენად, ისინი შედარებით უმნიშვნელო გავლენას ახდენენ მილსადენში ტალღის გავრცელების სიჩქარეზე.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის სადაწნეო მილსადენში საშუალოდანი ჰიდრონარევის (წყალი + თავისუფალი ჰაერი + ფხვიერი მყარი ნაწილაკები) მოძრაობისას ტალღის გავრცელების სიჩქარე ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს იანგარიშება ფორმულით

$$a = \frac{\sqrt{\varepsilon_{\text{ფ}} / \rho_{\text{ფ}}}}{\sqrt{S_1(1 + K_3 \varepsilon_{\text{ფ}}) + S_2(\varepsilon_{\text{ფ}} / \varepsilon_{\text{ჰ}} + K_3 \varepsilon_{\text{ფ}}) \rho_{\text{ფ}} / \rho_{\text{ჰ}} + S_3 \rho_0 a_0^2 K_3}}}, \quad (4.8)$$

აქ $K_3 = (1 - \mu_3^2) D_3 / \delta_3 E$ არის ორივე ბოლოთი დამაგრებული მილსადენის დრეკადი მახასიათებელი, $1/\alpha_3$; μ_3 - პუასონის კოეფიციენტი, ფოლადის

მილსადენისათვის $\mu_3 = 0,28$; $K_3 = [1 - (\frac{P_0}{P_0 + \Delta P})^{1/\alpha}] / \Delta P$ - ჰაერის შეკუმშვის

მახასიათებელი კოეფიციენტი; $\alpha = 1,4$ - ჰაერის ადიაბატური შეკუმშვის პროცესის დროს; $\alpha = 1$ - იზოთერმული პროცესის დროს.

თუ ჰიდრონარევი არ შეიცავს წყალში გაუხსნელ თავისუფალ ჰაერს, ე.ი. $S_3 = 0$, მაშინ ფორმულა (4.8) ორფაზიანი ჰიდრონარევისათვის მიიღებს სახეს

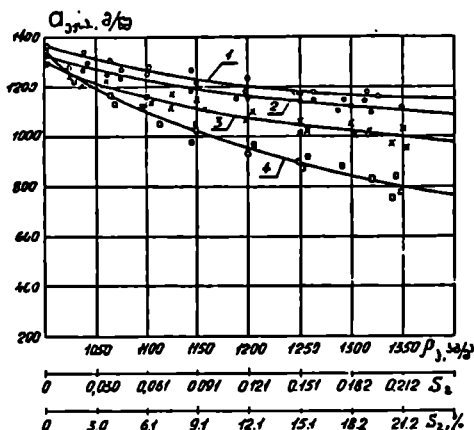
$$a = \frac{\sqrt{\varepsilon_{\text{ფ}} / \rho_{\text{ფ}}}}{\sqrt{S_1(1 + K_3 \varepsilon_{\text{ფ}}) + S_2(\varepsilon_{\text{ფ}} / \varepsilon_{\text{ჰ}} + K_3 \varepsilon_{\text{ფ}}) \rho_{\text{ფ}} / \rho_{\text{ჰ}}}}}. \quad (4.9)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც სადაწნეო მილსადენში მოძრაობს წყლისა და მასში გაუხსნელი თავისუფალი ჰაერის ნარევი, ე.ი. $S_2 = 0$. მაშინ (4.8) ფორმულა ორფაზიანი ჰიდრონარევისათვის მიიღებს სახეს

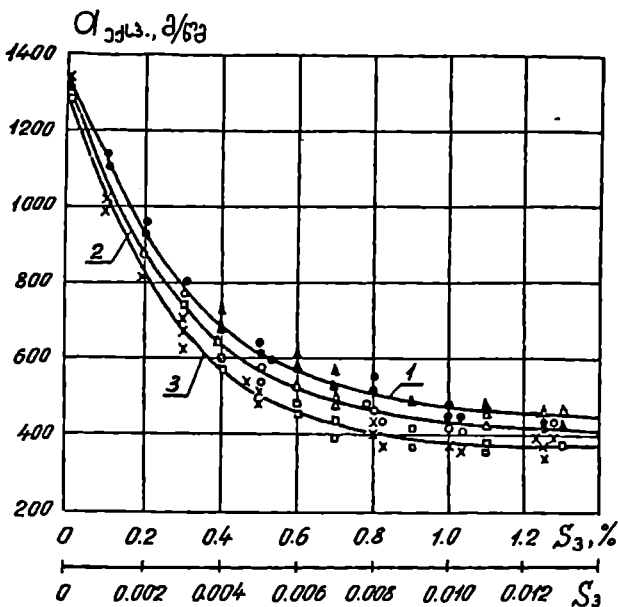
$$u = \frac{\sqrt{\varepsilon_{\text{ფ}_2} / \rho_{\text{ფ}_2}}}{\sqrt{S_1(1 + K_3 \varepsilon_{\text{ფ}_2}) + S_1 \rho_1 a_0^2 K_3}} \quad (4.10)$$

ზემოთ აღნიშნული დადასტურებულია ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებით, რომლებიც მრუდების სახით მოცემულია 4.10 - 4.13 ნახაზებზე.

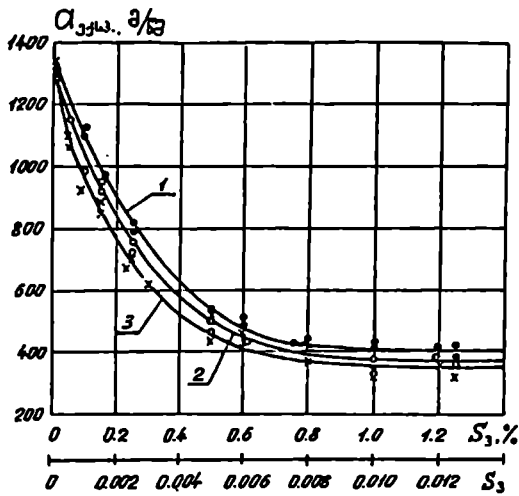
თუ მილსადენში მოძრაობს მხოლოდ სუფთა წყალი თავისუფალი ჰაერისა და მყარი ნაწილაკების მინარევის გარეშე, ე.ი. თუ $S_2 = S_3 = 0$, მაშინ ფორმულა (4.8) მიიღებს ნ. ეუკოვსკის ფორმულის სახეს



ნახ. 4.10. ჰიდრაულიკური დარტყმის ტალღის გავრცელების სიჩქარის დამოკიდებულება ფხვიერი მყარი მასალის კონცენტრაციისა (S_2) და ჰიდრონარევის (ρ_1) სიმკვრივისაგან მილსადენში ორფაზიანი ჰიდრონარევის (წყალი + ფხვიერი მყარი მასალის ნაწილაკები) მოძრაობისას: 1 - მილსადენის შიგა დიამეტრი $D_3 = 51,5$ მმ მილსადენის კედლის სისქე $\delta_3 = 6$ მმ; ფხვიერი მყარი მასალის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი $d_{L3} = 1,5$ მმ; 2 - $D_3 = 81$ მმ; $\delta_3 = 4,25$ მმ, $d_{L3} = 1,5$ მმ; 3 - $D_3 = 104$ მმ, $\delta_3 = 5$ მმ, $d_{L3} = 1,5$ მმ; 4 - $D_3 = 146$ მმ, $\delta_3 = 11,5$ მმ $d_{L3} = 1,5$ მმ



ნახ. 4.11 პიდრაველიკური დარტყმის ტალღის გავრცელების სიჩქარის დამოკიდებულება წყალში გაუხსნელი (თავისუფალი) ჰაერის კონცენტრაციისაგან მილსადენში სამფაზიანი პიდრონარევის (წყალი + ფხვიერი მყარი მასალის ნაწილაკები + თავისუფალი ჰაერი) ტრანსპორტირებისას (მყარი მასალის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი ყველა შემთხვევისათვის $d_{\text{სა}} = 1,5$ მმ, ხოლო სიმკვრივე $\rho_{\text{სა}} = 2600$ კგ/მ³): 1- მილსადენის შიგა დიამეტრი $D_3 = 68$ მმ, მილსადენის კედლის სისქე $\delta_3 = 4$ მმ, პიდრონარევის ნამდვილი სიმკვრივე $\rho_3 = 1350$ კგ/მ³; 2 - $D_3 = 104$ მმ, $\delta_3 = 5$ მმ, $\rho_3 = 1350$ კგ/მ³; 3- $D_3 = 146$ მმ, $\delta_3 = 11,5$ მმ, $\rho_3 = 1350$ კგ/მ³

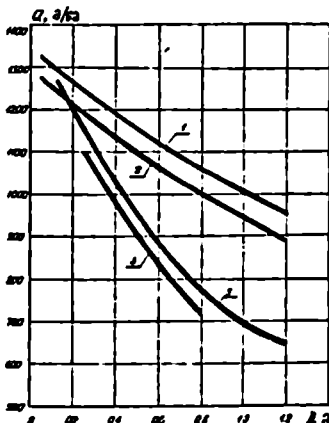


ნახ.4.12. ჰიდრაულიკური დარტყმის ტალღის გავრცელების სიჩქარის დამოკიდებულება წყალში გაუხსნელი (თავისუფალი) ჰაერის კონცენტრაციისაგან მილსადენში ორფაზიანი ჰიდრონარევის (წყალი + თავისუფალი ჰაერი) ტრანსპორტირებისას (წყლის ტემპერატურა ყველა შემთხვევისათვის $t = 20^{\circ}C$):
 1-მილსადენის შიგა დიამეტრი $D_w = 68$ მმ, მილსადენის კედლის სისქე $\delta_s = 4$ მმ;
 2 - $D_w = 104$ მმ, $\delta_s = 5$ მმ; 3 - $D_w = 146$ მმ, $\delta_s = 11,5$ მმ

$$a = \frac{\sqrt{\epsilon_{\text{ვკ}} / \rho_{\text{ვკ}}}}{\sqrt{1 + K_s \epsilon_{\text{ვკ}}}} \quad (4.11)$$

4.13 ნახაზზე მოცემულია მილსადენში ტალღის გავრცელების სიჩქარის ცვალებადობის მრუდები, რომლებიც აგებულია სხვადასხვა დიამეტრის მილსადენში სხვადასხვა პარამეტრების მქონე ჰიდრონარევის ტრანსპორტირებისას, და მათი შედარება თეორიული ფორმულით (4.11) აგებულ მრუდთან. ექსპერიმენტული მრუდები აგებულია სამთო მრეწველობის მსხვილ სამრეწველო დანადგარებზე ჩატარებული გამოკვლევების შედეგების განზოგადების შედეგად.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ჰიდრაულიკური დარტყმა, გარდა ზოგიერთი შემთხვევისა, მანვე მოვლენაა და აუცილებელია მის წინააღმდეგ



ნახ.4.13. მილსადენში ტალღის გავრცელების სიჩქარის ცვალებადობის მრუდები: 1 - თეორიული (ფორმულა (4.11)-ით აგებული); 2 - ექსპერიმენტული, მილსადენებში სუფთა წყლის ტრანსპორტირებისას; 3 - ექსპერიმენტული, მილსადენებში (სამფაზიანი პიდრონარევის) პიდრონარევის ტრანსპორტირებისას, რომელიც შეიცავდა თავისუფალ ჰაერს გარკვეული კონცენტრაციით ($S_g = 0,002 - 0,015$) და სხვადასხვა მყარი ნაწილაკების ($0 < d_{\text{კა}} < 3,0 \text{ მმ}$); 4 - ექსპერიმენტული, მილსადენებში (სამფაზიანი პიდრონარევის) პიდრონარევის ტრანსპორტირებისას ($S_g = 0,002-0,015$; $d_{\text{კა}} = 3,0 \text{ მმ}$)

ლონისძიებების კომპლექსის განხორციელება, რომელიც უზრუნველყოფს პიდროსატრანსპორტო სისტემების რეჟიმების სტაბილურობას და საიმედოობას.

4.4. პიდროსატრანსპორტო სისტემების რეჟიმების სტაბილურობისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის მეთოდები და საშუალებები

პიდროსატრანსპორტო სისტემების რეჟიმების სტაბილურობისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის ღონისძიებების კომპლექსი პირობითად შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს:

ა) მეთოდები, რომლებიც ძირითადად გამიზნულია იმისათვის, რათა თავიდან იქნეს აცილებული პიდრაველიკური დარტყმების წარმოშობა და გარდაშეკალი

რეჟიმების დროს სისტემებში ჰიდროდინამიკური პარამეტრების მკვეთრი ცვალებადობა;

ბ) საშუალებები (მოწყობილობები), რომლებმაც, თუკი სისტემებში წარმოიშვა ჰიდრაული დარტყმები 4.1 პარაგრაფში განხილული რომელიმე მიზეზის ან პირობის დროს, უნდა უზრუნველყოს ჰიდროდინამიკური პარამეტრების (ძირითადად წნევის) ცვალებადობა დასაშვებ ფარგლებში, ანუ მათი მნიშვნელობების ნაზარდი, დამყარებული რეჟიმის პარამეტრებთან შედარებით, იყოს უმნიშვნელო;

პირველი ჯგუფიდან ყველაზე საიმედოს, ადვილად განსახორციელებელ და პრაქტიკაში გავრცეებულ მეთოდებს მიეკუთვნებიან:

ა) მიმდევრობით ჩართული ტუმბოების რაციონალური თანამიმდევრობით ამუშავება და გაჩერება (4.3) პირობის დაცვით, როგორც ეს მოცემულია 4.2 პარაგრაფში.

ბ) საჭირხნ მილსადენებზე დაყენებული საკვალთების (თუკი ისინი დამონტაჟებულია მილსადენზე) ნელ-ნელა გაღება და დაკეტვა. ეს მეთოდი ძალზე იშვიათად გამოიყენება, რადგან ასეთი საკვალთები პრაქტიკულად არ იხმარება ჰიდროსატრანპორტო სისტემებში;

გ) ჰაერის შეშვება ტუმბოს შემწვოვ ან საჭირხნ მილსადენში. ტუმბოების შემწვოვ მილსადენში ატმოსფერული ჰაერის შეშვება ყველაზე უფრო ადვილი და იაფი მეთოდია, რადგან, არ საჭიროებს რაიმე დამატებით მოწყობილობასა და დანადგარებს, გარდა მცირე დიამეტრის მილყელის და იმავე დიამეტრის საკვალთის ან ვენტილისა, რომელიც შემწვოვ მილზე მონტაჟდება. ამუშავების ან გაჩერების წინ ადებენ ამ საკვალთს და სისტემაში უშვებენ ატმოსფერულ ჰაერს, თუ ტუმბო შეწოვაზე მუშაობს (ტუმბოს შემწვოვ მილში წნევა ყოველთვის ატმოსფერულზე ნაკლებია გაუხშობის არსებობის გამო). თუ ტუმბო შეწოვაზე არ მუშაობს, მაშინ სისტემაში ატმოსფერული ჰაერის შეშვება შეუძლებელია, რადგან შემტბორი ზუმპფით მომუშავე სისტემის ტუმბოს შემწვოვ მილში წნევა, ნატბორის არსებობის გამო, მუდამ აღემატება ატმოსფერულ წნევას. ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია დამატებითი მოწყობილობა (კომპრესორი), რომელიც შეკუმშავს ჰაერს იმაზე მეტი წნევით, რაც ტუმბოს შემწვოვ მილშია. შეკუმშული ჰაერის შეშვება შეიძლება საჭირხნ მილსადენშიც (იმ შემთხვევაში, თუ არ გვინდა შემწვოვ მილში შეშვებული ჰაერი მოხვდეს ტუმბოში, რადგან იგი იწვევს ტუმბოს მიწოდების შეცვლას). ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია ჰაერის შეკუმშვა უფრო მეტი წნევით.

ჰაერის შეშვებით სისტემაში ხდება ჰიდრონარევის ნაკადის აერირება. მისი მოცულობითი დრეკადობის მოდულის მნიშვნელოვანად შემცირება, რაც

იწვევს ტალღის გავრცელების სინქარის შემცირებას და შესაბამისად წნევის ცვალებადობის ამპლიტუდისა და სიხშირის შემცირებას (იხ. პარაგრაფი 4.3);

დ) საჭირხნ მილსადენზე გამომშვები მილყელების გამოყენება. ასეთ შემთხვევაში საჭირხნ მილსადენზე ამონტაჟებენ მილყელს, რომლის დიამეტრი ნაკლებია ძირითადი მილსადენის დიამეტრზე და მასზე აყენებენ საკვალთს (ან ვენტილს). ამუშავებისა და გაჩერების წინ ამ უკანასკნელს ადებენ და მილყელიდან ხდება პიდრონარევის გამოშვება მცირე რაოდენობით. რაც უზრუნველყოფს სისტემის მღოვრედ ამუშავებას და გაჩერებას, წნევის უმნიშვნელო ნაზარდით;

ე) უკუსარქელის ჩამკეტ ორგანოში (თეფშში) ნახვერტების გაკეთება ან მრავალბუდიანი უკუსარქელის გამოყენება. პიდროსატრანსპორტო სისტემების საჭირხნ მილსადენზე, როგორც წესი, ამონტაჟებენ უკუსარქელს, რომელიც, მართალია. იცავს ტუმბოს უკუნაკადის ზემოქმედებისაგან, მაგრამ უმეტეს შემთხვევაში თვით არის პიდრავლიკური დარტყმის წარმოშობის მიზეზი, განსაკუთრებით სისტემის გაჩერების დროს. როდესაც ჩერდება ტუმბო და უკუსარქელი იკეტება. მის მუშა ორგანოსთან ზდება უკუნაკადის დაჯახება, რაც იწვევს წნევის გაზრდას. თუ უკუსარქელის მუშა ორგანოს (თეფშს) აქვს ნახვერტები, მაშინ ხდება პიდრონარევის ნაწილობრივ გაშვება ტუმბოსაკენ და აღარ მიხდება უკუნაკადის ხისტი დაჯახება მუშა ორგანოსთან და წინევაც უმნიშვნელოდ (დასაშვებ ფარგლებში) გაიზრდება საჭირხნ მილსადენში.

უფრო მიზანშეწონილია მრავალბუდიანი უკუსარქელის გამოყენება. ამით სარქელის ძირითად მუშა ჩამკეტ ორგანოზე - თეფშზე დამონტაჟებულია რამდენიმე მცირე ზომის უკუსარქელები, რომლებიც იღება და იკეტება ძირითადი უკუსარქელის საზარისპიროდ. უკუნაკადის ძირითადი უკუსარქელის მუშა ორგანოსთან დაჯახებისას იღება მცირე ზომის უკუსარქელები, ხდება უკუნაკადის ნაწილობრივ გაშვება ტუმბოსაკენ, რაც იწვევს წნევის დემპფირებას. როდესაც ამ წნევის მნიშვნელობა გახდება სტატიკური წნევის (გეოდეზიური სიმაღლით განპირობებული და წნევის) ტოლი, მცირე ზომის უკუსარქელები იკეტება და ტუმბო, კაცულია ამ დაწნევის შემოქმედებისაგან;

ვ) მომვლები მილის გამოყენება. მიმდევრობით ჩართული ტუმბოებით მომუშავე პიდროსატრანსპორტო სისტემებში ამუშავების, გაჩერების და პიდრავლიკური დარტყმების დროს წნევების მკვეთრად გაზრდის თავიდან აცილების ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს მომვლები მილები, რომლებიც ტუმბოების საჭირხნ მილსადენებს შემწოვ მილებთან აერთებს. არსებობს ამ მეთოდის განხორციელების მრავალი კონსტრუქციული და სქემატური გადაწყვეტა, რომელთა შერჩევა ხდება კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით.

მომვლები მილის გამოყენების შემთხვევაში ხდება ჰიდრონარევის გადაღინება საჭირხნი მილსადენიდან შემწოვ მილში (სისტემის გაჩერების დროს) ან პირიქით (სისტემის ამუშავების დროს). რის შედეგად არ ხდება წნევების დასაშვებზე მეტად მყისიერი გაზრდა. გარდა ამისა, მნიშვნელოვნად იზრდება ტალღის (შეშოთების) გავრცელების ფრონტი და პროცესი სწრაფმილევადი ხდება.

მეორე ჯგუფის საშუალებებს ანუ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ჰიდრავლიკური დარტყმებისაგან (თუკი არ მოხერხდა მათი თავიდან აცილება) დამცავ მოწყობილობებს განეკუთვნება კონსტრუქციული გადაწყვეტილებების მთელი სპექტრი. მათგან შეიძლება გამოიყოს, სხვადასხვა პრინციპზე მომუშავე რამდენიმე ჯგუფი, რომელთაც პოვეს პრაქტიკაში გამოყენება. ასეთებია:

ა) საჰაერო ხუფები, რომლებიც შეიძლება იყოს ცალკეული (დამოუკიდებლად მოქმედი) ან პარალელურად შეერთებული შესრულების;

ბ) საჰაერო ხუფები ატმოსფერული და შეკუმშული ჰაერის ავტომატურად შემშვები და გამომშვები მოწყობილობებით;

გ) ჰაერით შევსებული დრეკადი, ელასტიკური, ჰერმეტიკული მუშა ორგანოებით (სფერო, შლანგი, სიფონი და ა.შ.);

დ) დამცავი განმტვირთავი მოწყობილობები (სარქველები), რომლებიც წნევის მყისიერი მომატების შემთხვევაში ახდენენ ჰიდრონარევის მილსადენიდან გამოშვებას (განტვირთვას) და წნევის სტაბილიზებას;

ე) დამცავი განმტვირთავი სარქველები გასაგლეჯი (სხვადასხვა ლითონებისაგან ან არალითონური მასალებისაგან დამზადებული დიფრაგმები, შესუსტებული (დაკალიბრებული) დეროები და ა.შ.). მათი მოქმედების პრინციპი იგვეა, რაც დ პუნქტში განხილული მოწყობილობებისა, ანუ მილსადენების განტვირთვას დასაშვებზე მეტი წნევისაგან;

ვ) დამცავი მოწყობილობები, რომელშიც კომპლექსურად არის გამოყენებული რამდენიმე მეთოდი ან კონსტრუქციული კვანძი, რომლებიც ზემოთ იყო განხილული.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების რეჟიმების სტაბილურობისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის ყველაზე უფრო ეფექტური მეთოდები და საშუალებები, მათი კონსტრუქციები და გაანგარიშების მეთოდები ფრო ვრცლად განხილული იქნება სახელმძღვანელოს მეოთხე წიგნში.

5.1. ზოგადი ცნობები

მყარი ფხვიერი მასალების პიდროტრანსპორტირებისას ხდება პიდრონარევის მიმწოდებელი მანქანა-მექანიზმების, მილსადენების, ჩამკეტ-შარეგულირებელი მოწყობილობების პიდრობრაზიული ცვეთა: იგი განპირობებულია მათ ზედაპირზე მყარი აბრაზიული ნაწილაკების მექანიკური ზემოქმედებით, რაც იწვევს მათი გეომეტრიული ზომების შეცვლას, შესაბამისად მათი სიმტკიცისა და საერთოდ მუშაუნარიანობის შემცირებას.

ტექნიკაში, კერძოდ მექანიკაში, ცნობილია ცვეთის მრავალსახეობა. მაგრამ საბოლოო შედეგი ყველა მათგანისათვის ერთი და იგივეა - სიმტკიცისა და შესაბამისად მუშაუნარიანობის შემცირება. განსხვავდებიან მხოლოდ ცვეთის პროცესის მიმდინარეობით. ყველა სახეობის ცვეთა სხვადასხვა ფიზიკური, მექანიკური და ქიმიური პროცესების მიმდინარეობის შედეგია. მათი შერწყმასინთეზი დამოკიდებულია კონკრეტულ პირობებზე. პიდრონარევის ტრანსპორტირებისათვის გამოყენებული მანქანა-მექანიზმებისა და მილსადენების ინტენსიური ცვეთისა და მწყობრიდან გამოსვლის ძირითადი მიზეზია აბრაზიული ცვეთის პროცესი, რომლის მიმდინარეობის ინტენსიურობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. კერძოდ: აბრაზივისა (მყარი აბრაზიული ნაწილაკების) და იმ ზედაპირის; რომელთანაც მას აქვს კონტაქტი, მასალის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე, მზიდის სითხის ფიზიკურ, მექანიკურ და ქიმიურ თვისებებზე, პიდრონარევის ნაკადის პიდრომექანიკურ პარამეტრებზე, მათ დინამიკურ მოქმედებაზე და ა.შ.

აბრაზიული ეწოდება ცვეთის შემთხვევას, როდესაც იმ მასალის ხორკლიანობა, რომელიც გადაადგილდება რაიმე ზედაპირის მიმართ, განაპირობებს ამ ზედაპირზე ნაჯაოს, ნალარს, ნაკაწრს და ა.შ. წარმოქმნას. როდესაც აღნიშნული პროცესი მიმდინარეობს სითხით მოცულ გარემოში, მას პიდრობრაზიული ეწოდება.

სამთო ქანები, წიაღისეული, კონცენტრატები (გამდიდრებული პროდუქცია), გამდიდრების ნარჩენები (კუდები) ყველა წარმოადგენს საკმაოდ მაღალი აბრაზიულობის მქონე ფხვიერ მყარ მასალას. ამდენად, მათი პიდრონარევის სახით ტრანსპორტირებისას ადგილი აქვს დამჭირხნი (მიმწოდებელი) მანქანა-მექანიზმების, მილსადენებისა და ჩამკეტ-შარეგულირებელი

მოწყობილობის ინტენსიურ პიდროაბრაზიულ ცვეთას, რაც უარყოფითად მოქმედებს პიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე, რადგან პიდროაბრაზიული ცვეთა ხშირად არის მიზეზი აღნიშნული ელემენტების მწყობრიდან გამოსვლის, დანადგარის დიდი ხნით მოცდენისა და აღდგენითი სამუშაოების ჩატარების აუცილებლობის გამო.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, დიდი მნიშვნელობა აქვს პიდრო-აბრაზიული ცვეთის შესწავლას, რათა მიღებული შედეგების მიხედვით მოხდეს ეფექტური ღონისძიებების შემუშავება პიდროაბრაზიული ცვეთის დიაგნოსტიკის, მის მაქსიმალურად შემცირების, შესაბამისად მანქანა-მექანიზმების, მილსადენებისა და ჩამკეტ-მარეგულირებელი მოწყობილობების ცვეთამედევობისა და ხანგამძლეობის გაზრდისათვის.

5.2. პიდროაბრაზიული ცვეთის ფიზიკური არსი

როგორც სახელმძღვანელოს პირველ წიგნში იყო აღნიშნული, პიდრო-ნარევი წარმოადგენს მზიდი სითხისა (ძირითადი წყლის) და ფხვიერი მყარი მასალის ნარევს. იგი დამჭირხნი საშუალებებით (ძირითადად ცენტრიდანული და დგუშმიანი ტუმბოები) მიეწოდება მილსადენებში. ტუმბოებში, მილსადენებში და ჩამკეტ-მარეგულირებელ მოწყობილობებში გარკვეული სიჩქარით პიდრო-ნარევის მოძრაობისას, მასში არსებული აბრაზიული მყარი ნაწილაკები იწვევს იმ ზედაპირების პიდროაბრაზიულ ცვეთას, რომელთანაც შეხებაშია (კონტაქტშია). მყარი მასალის ზედაპირებთან კონტაქტისას, იმისდა მიხედვით თუ როგორია მყარი მასალის ნაწილაკებისა და ზედაპირის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, აგრეთვე მათი და პიდრონარევის ნაკადის პიდროდინამიკური პარამეტრები, იწვევს მათზე ნაჯაოს, ნალარის, ნაკაწრის წარმოქმნას.

თავის მიმდინარეობის არსით პიდროაბრაზიული ცვეთა დისკრეტული, კუმულაციური პროცესია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მყარი ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირთან ყოველი შეხებისას, როდესაც წარმოებს ნაჯაოს, ნალარის ან ნაკაწრის წარმოშობა, ხდება ზედაპირიდან ძალზე მცირე დროში მიკრომოცულობების მოცილება. მყარი მასალის ნაწილაკების დროის მცირე მონაკვეთში ზედაპირზე შეჭრისა და მისგან მიკრომოცულობების მექანიზმის კანონზომიერება მრავალეფაქტორიანი და მრავალგანზომილებიანი ამოცანაა და პრინციპულად განსხვავდება მყარი ტანების სტატიკური სიმტკიცის მექანიკის ამოცანებისაგან. ამდენად, პიდროაბრაზიული ცვეთის შესწავლა მხოლოდ თეორიული გზით შეუძლებელია და საჭიროებს თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების სინთეზს.

ჰიდროსატარანსპორტო სისტემების მოწყობილობების დეტალების, მილსადენებისა და ჩამკეტ-მარეგულირებელი ორგანოების ჰიდროაბრაზიული ცვეთის პროცესის მიმდინარეობის ინტენსიურობის მიხედვით განასხვავებენ საერთო და ადგილობრივ ცვეთებს.

საერთო ჰიდროაბრაზიული ცვეთა ხასიათდება პროცესის მიმდინარეობის სიმდოვრით, რაც განაპირობებს ზედაპირების შედარებით თანაბარ ცვეთას. ასეთ ცვეთას ძირითადად ადგილი აქვს გასაცვეთი ზედაპირის სწორხაზოვან უბნებზე.

ადგილობრივი ჰიდროაბრაზიული ცვეთა ხასიათდება პროცესის მიმდინარეობის არათანაბრობით და დიდი ინტენსიურობით, რომელიც შესაძლებელია რამდენჯერმეც კი აღემატებოდეს საერთო ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობას. ადგილობრივი ჰიდროაბრაზიული ცვეთა ძირითადად დამახასიათებელია გასაცვეთი ზედაპირის არასწორხაზოვანი უბნებისათვის, რომლებზეც პროცესის მიმდინარეობის არათანაბრობის გამო ხდება შედარებით დიდი მიკრომოცულობების მოშორება ზედაპირიდან და გარკვეული პერიოდის გავლის შემდეგ ნახვრეტების წარმოქმნა.

ჰიდროსატარანსპორტო სისტემების მოწყობილობებისა და მილსადენების ჰიდროაბრაზიული ცვეთის მექანიზმი ზოგადად შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს როგორც ისეთი პროცესების გამოვლინების ერთობლიობა, როგორცაა: ა) გასაცვეთი ზედაპირის მასალის დაშლა (რღვევა) აჭრით; ბ) გასაცვეთი ზედაპირის მასალის რღვევა განმეორებითი პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად; გ) მასალის დაშლის შედეგად რღვევა; დ) მასალის მყიფე რღვევა (მსხვრევა).

ჰიდროაბრაზიული ცვეთის პროცესის დროს გასაცვეთი ზედაპირების მყიფე რღვევას ფხვიერი მყარი მასალების ტრანსპორტირებისას იშვიათად აქვს ადგილი, რადგან მყარი მასალის ნაწილაკებისა და გასაცვეთი ზედაპირის ურთიერთშეჯეხების ძალა არასაკმარისია იმისათვის, რომ განაპირობოს მასალის რღვევისათვის საკმარისი დეფორმაციები, რომლებიც მასალების ზედაპირის სიმტკიცის ზღვარს აღემატებიან. როგორც კვლევები ადასტურებს; მასალის დაღლის შედეგად რღვევა ვერ ასწრებს განვითარებას, რადგან რღვევის სხვა პროცესები უფრო სწრაფად და ინტენსიურად ვითარდებიან.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ფიზიკური არსი გამოიხატება ზედაპირის რღვევის ძირითადად ორი სახის: - ლითონის მიკრონათალის აჭრისა და პირველადი ან მეორეული პლასტიკური დეფორმაციის დროს ცალკეული შემდგენი მიკროსტრუქტურის ამოგდების სინთეზში. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგად შემთხვევაში, როდესაც მყარი აბრაზიული

ნაწილაკი გასაცვეთ ზედაპირს ეჯახება ირიბად, ეს ორი სახის რღვევა ერთდროულად ხდება.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ჰიდროაბრაზიული ცვეთა რთული ჰიდრომექანიკური პროცესია და მისი კანონზომიერებების დადგენა მრავალ-ფაქტორიანი და მრავალგანზომილებიანი ამოცანაა. ამის ნათელი დადასტურებაა ამ პროცესის პარამეტრული განტოლება, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

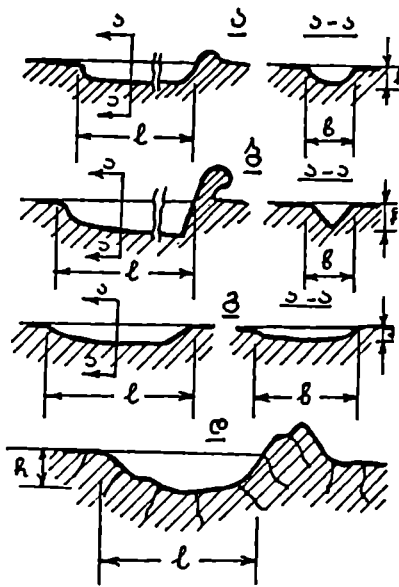
$$\Delta = f(\rho_2, H_2, \varepsilon_2, d_{23}, \rho_{21}, H_{23}, h_2, l_2, \rho_{F2}, u, u_{23}, u'_{23}, S, \Phi, \alpha_2, \alpha, v, g, \rho_1). \quad (5.1)$$

აქ $\rho_2, H_2, \varepsilon_2, h_2, l_2$ შესაბამისი გასაცვეთი მასალიზ სიმკვრივე, სისალე, დრეკადობის მოდული და დამახასიათებელი ხაზოვანი ზომებია; U_{23}, H_{23} - მყარი ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარე და სისალე; U'_{23} - მყარი ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარის ნორმალური შემდგენი; Φ - მყარი ნაწილაკები ფორმისა და დამრგვალებულობის უგანზომილებო მახასიათებელი; α_2 - მყარი ნაწილაკების გასაცვეთი მასალის ზედაპირსადმი დაჯახების კუთხე რადიანებში.

(5.1) ფუნქციური დამოკიდებულების განტოლებაში 15 პარამეტრი განზომილების მქონეა, ხოლო 4 - უგანზომელობო. უნდა აღინიშნოს, რომ განზომილებიანი ზოგიერთი პარამეტრი თვით არის ფუნქციურ დამოკიდებულებაში სხვა პარამეტრებთან, ასე რომ, პარამეტრული განტოლება (5.1) მთელი სისრულით მიინც ვერ განსაზღვრავს ჰიდროაბრაზიული ცვეთის წირულ სიჩქარეს. გამოსავალი ერთია - (5.1) განტოლებაში შემავალი პარამეტრების მნიშვნელობების ანალიზი და ამის შედეგად მათი უკუგდება, აგრეთვე ზოგიერთი მათგანის გავლენის ექსპერიმენტულად დადგენა და ზოგადად ექსპერიმენტულ კოეფიციენტებში გათვალისწინება.

მრავალი მკვლევარის მიერ დადასტურებულია, რომ ასეთი გზით შესაძლებელია ჰიდროაბრაზიული ცვეთის გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება, რომლებიც საშუალებას იძლევიან საინჟინრო პრაქტიკული გათვლებისათვის საჭირო სიზუსტით მოხდეს ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების მოწყობილობებისა და მილსადენების გაანგარიშება ჰიდროაბრაზიულ ცვეთაზე კონკრეტული შემთხვევებისათვის.

5.1 ნახაზზე მოცემულია ჰიდროაბრაზიული ცვეთის კვალის სქემატური გამოსახულებები პლასტიკური და მყიფე მასალების ზედაპირის რღვევის სხვადასხვა სახეობების შემთხვევაში.



ნახ. 5.1. ჰიდროაბარაზიული ცვეთის კვალის სქემატური გამოსახულებები პლასტიკური და მყიფე მასალების ზედაპირის რღვევის სხვადასხვა სახეობის შემთხვევაში: ა და ბ - მიკროჭრა, ჰიდრონარევი და მრგვალებული (ა) და დაუმრგვალებელი (ბ) მყარი აბარაზიული მასალების არსებობისას; გ და დ - შესაბამისად რღვევის პოლიდეფორმაციული და მონოდეფორმაციული სახეობებისათვის

როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, ჰიდროაბარაზიული ცვეთის კვალს ყველა შემთხვევაში რთული ფორმა აქვს, რაც პრაქტიკულად შეუძლებელს ხდის მის წინასწარ განსაზღვრას და წარმოქმნილი ღრმულების გეომეტრიული ზომების გაანგარიშებას.

ჰიდროაბარაზიული ცვეთის პროცესის თეორიული ანალიზის გამარტივებისა და ცვეთის ინტენსიურობის საანგარიშო დამოკიდებულების გამოყვანის მიზნით ამარტივებენ (5.1) პარამეტრულ განტოლებას და იღებენ, რომ ჰიდროაბარაზიული ცვეთის ინტენსიურობა ძირითადად დამოკიდებულია ხუთ განმსაზღვრელ პარამეტრზე: მყარი მასალის ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირთან შეჯახების სიჩქარეზე (U_3), მყარი მასალის ნაწილაკების დიამეტრზე და მათი გასაცვეთ ზედაპირთან ურთიერთშეჯახების კუთხეზე (α_3), ჰიდრონარევის

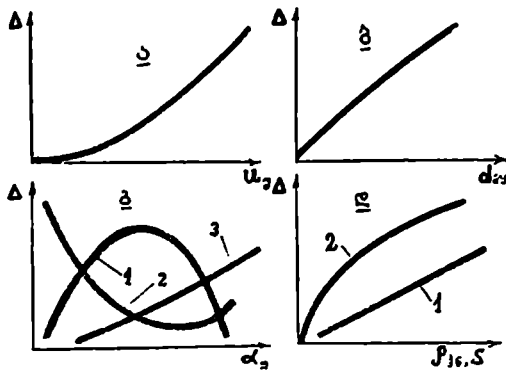
მოცულობით კონცენტრაციაზე და მყარი მასალის სიმკვრივეზე ($\rho_{\text{ჰ}}$). დანარჩენ პარამეტრებს აერთიანებენ კოეფიციენტში ($K_{\text{კ}}$), რომლის მნიშვნელობას კონკრეტული პირობებისათვის ექსპერიმენტულად განსაზღვრავენ. ექსპერიმენტულად ადგენენ აგრეთვე ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობის დამოკიდებულებას აღნიშნული ძირითადი განმსაზღვრელი პარამეტრებისაგან. მიღებული შედეგების სინთეზით მიიღება ემპირიული ფორმულა, რომელშიც ცხადრსაზით არის წარმოდგენილი ეს დამოკიდებულებები, რომლებიც მომდევნო პარაგრაფშია განხილული.

5.3. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობის დამოკიდებულების კანონზომიერებები ჰიდროტრანსპორტირების ძირითადი პარამეტრებისაგან

როგორც წინა პარაგრაფში იყო აღნიშნული, ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობა ძირითადად დამოკიდებულია რამდენიმე განმსაზღვრელ პარამეტრზე, კერძოდ: მყარი მასალის ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირთან შეჯახების სიჩქარეზე ($U_{\text{ჰ}}$) და ($\alpha_{\text{კ}}$) კუთხეზე, მყარი მასალის სიმკვრივეზე ($\rho_{\text{ჰ}}$) და მისი ნაწილაკების დიამეტრზე ($d_{\text{ჰ}}$), ჰიდრონარევის კონცენტრაციაზე (S). დანარჩენ პარამეტრებს, როგორცაა მყარი მასალის, მზიდი სითხის, გასაცვეთი ზედაპირის მასალის ფიზიკური, მექანიკური და ქიმიური თვისებები, აერთიანებენ კოეფიციენტში ($K_{\text{კ}}$), რომლის მნიშვნელობა კონკრეტული პირობებისათვის ექსპერიმენტულად განისაზღვრება.

5.2. ნახაზზე მოცემულია ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობის ზოგადი ფუნქციური დამოკიდებულებების გრაფიკები აღნიშნული პარამეტრებისაგან.

5.2. ნახაზზე მოცემული ზოგადი ფუნქციური დამოკიდებულებები კონკრეტული პირობებისათვის შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს ცხადრსაზით, რისთვისაც აუცილებელია ჩატარდეს ექსპერიმენტები, რათა დადგინდეს რეალური ხარისხობრივი დამოკიდებულება ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობასა და ცალკეულ პარამეტრებს შორის - განისაზღვროს ხარისხის მაჩვენებლის n - ის დაზუსტებული მნიშვნელობები. მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე მიღებულ იქნეს ჰიდროაბრაზიული ცვეთის საანგარიშო ფორმულა.



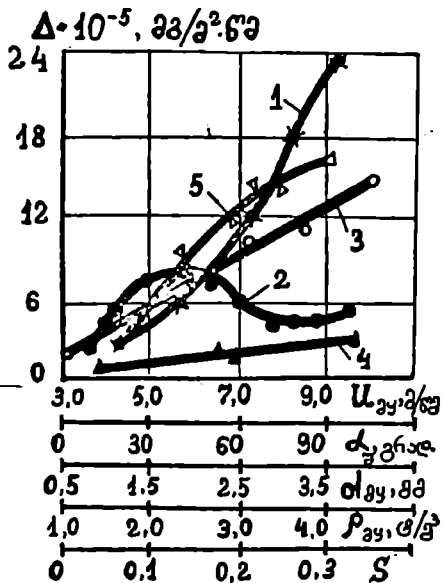
ნახ. 5.2. პიდროაბარზიული ცვეთის ინტენსიურობის ძირითადი პარამეტრებისაგან ზოგადი ფუნქციური დამოკიდებულებების გრაფიკები: ა- $\Delta = f(U_2^0)$; ბ- $\Delta = f(d_2)$; გ- $\Delta = \varphi(\alpha_2)$: 1 - ფოლადისათვის, 2 - რეზინისათვის, 3- სალი შენა-
დნობისათვის; დ- 1- $\Delta = \psi(\rho_1^0)$; 2- $\Delta = f(S)$

რადგან პიდროაბარზიული ცვეთის ინტენსიურობის კანონზომიერების დადგენა ანალიზური (თეორიული) გზით პრაქტიკულად შეუძლებელია პროცესის სირთულის გამო, უპირატესობა ენიჭება ფართო დიაპაზონში ჩატარებულ ექსპერიმენტულ კვლევებს, რომელთა შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია საბოლოოდ დადგინდეს ზემოთ ჩამოთვლილი ძირითადი პარამეტრების გავლენა და (5.1) ფუნქციური დამოკიდებულების ცხადი სახით ჩაწერა. 5.3. ნახაზზე მოცემულია ასეთი კვლევის შედეგები გრაფიკული სახით.

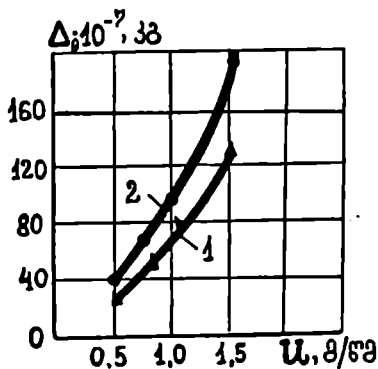
ექსპერიმენტულად უნდა განისაზღვროს აგრეთვე ე.წ. ფარდობითი პიდროაბარზიულობის K_1 კოეფიციენტი, რომელიც, გარდა ზემოაღნიშნული ძირითადი პარამეტრებისა, ითვალისწინებს პიდროაბარზიული ცვეთის პროცესის ყველა დანარჩენ ფაქტორს. კერძოდ აბარზიული მყარი ნაწილაკებისა და გასაცვეთი ზედაპირის (მასალის), აგრეთვე მზიდი სითხის ფიზიკურ, მექანიკურ და ქიმიურ თვისებებს.

განვიხილოთ ზემოაღნიშნული ფაქტორებისა და პარამეტრების გავლენა ცვეთის ინტენსიურ ბაზე უფრო დაწვრილებით.

პიდრონარევის ნაკადის სიჩქარის (U) გავლენა პიდროაბარზიულ ცვეთაზე (მასურ ცვეთაზე, რომელშიც იგულისხმება გასაცვეთი ზედაპირის დანაკარგი გამოსახული მასის ერთეულში) მოცემულია 5.4 ნახაზზე.



ნახ.5.3. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობის კანონზომიერებების დამოკიდებულება მყარი ნაწილაკების სიჩქარის (მრული 1), მისი ღიაშეღების (3) და სიმკვრივის (4), მყარი ნაწილაკების გასაცვეთი ზედაპირისადმი შეჯახების (შეტევის) კუთხის (2) და ჰიდრონარევის კონცენტრაციისაგან (5) დამოკიდებულებით



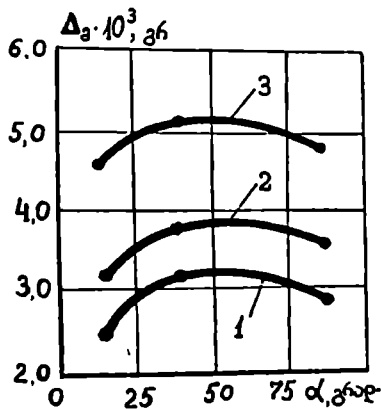
ნახ.5.4. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის დამოკიდებულება ჰიდრონარევის ნაკადის სიჩქარისაგან: 1 - კვარცის ქვიშისათვის; 2 - დამსხვრეული კირქვისათვის

5.4 ნახაზზე მოცემული მრუდები გამოხატავს ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ჰიდრონარევის ნაკადის სიჩქარისაგან დამოკიდებულების კანონზმდირებას მხოლოდ კვარცის ქვიშისა და დამსხვრეული კირქვებისათვის. სხვადასხვა ფხვიერი მყარი მასალების შემცველი ჰიდრონარევების მოძრაობის სიჩქარეების ფართო დიაპაზონში ცვალებადობისას ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ ფუნქციური დამოკიდებულებებისათვის $\Delta = f(U'')$ ხარისხის მაჩვენებელი ცვალებადობს $n = 2.5 - 3$ შუალედში.

მყარი ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირისადმი მიმართვის (შეჯახების) კუთხე ძირითადად განსაზღვრავს მიკროზედაპირის დარღვევისა (გაცვეთისა) და საერთოდ ჰიდროაბრაზიული ცვეთის პროცესის მექანიზმს, რადგან მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს საბოლოო შედეგზე. ამ კუთხის მნიშვნელობაზეა დამოკიდებული, თუ როგორ მიმდინარეობს ჰიდროაბრაზიული ცვეთა - როგორი სახით ხდება ზედაპირის მთლიანობის დარღვევა. ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ თუ მყარი ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირისადმი მიმართვის კუთხე $\alpha = 10^\circ$, ფოლადის ზედაპირების დაზიანება ძირითადად ხდება აჭრით, ნაჯაოს, ნადარისა და ნაკაწრის წარმოქმნით, მაგრამ არ არის გამორიცხული ზედაპირის მიკრომოცულობების ცვეთა პლასტიკური დეფორმირების შედეგად. თუ $\alpha = 25^\circ$, ძირითადად ადგილი აქვს მყარი ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირთან დარტყმა-სრიალით კონტაქტს. რომლის დროსაც წარმოიშობა კრატერი, რომელიც წარმოადგენს მოძრაობის მიმართულებით წაგრძელებულ ნაჯაოს, რომლის სიგრძე რამდენჯერმე აღემატება მის სიღრმესა და სიგანეს. კუთხის 45° -მდე გაზრდისას უმეტესწილად გამოხატულია დარტყმითი კონტაქტი სრიალით კონტაქტთან ერთად, ხოლო 65° -მდე გაზრდისას ძირითადად ხდება ზედაპირის დეფორმაციული დაშლა (ცვეთა). იმ შემთხვევაში, როცა $\alpha = 90^\circ$, ანუ როდესაც ჰიდრონარევის ნაკადი ვერტიკალურადაა მიმართული გასაცვეთი ზედაპირისადმი, ხდება მყარი ნაწილაკების ზედაპირისადმი პირდაპირი დარტყმა, მისი შესაბამისი პლასტიკური დეფორმაცია და ზედაპირის რღვევა.

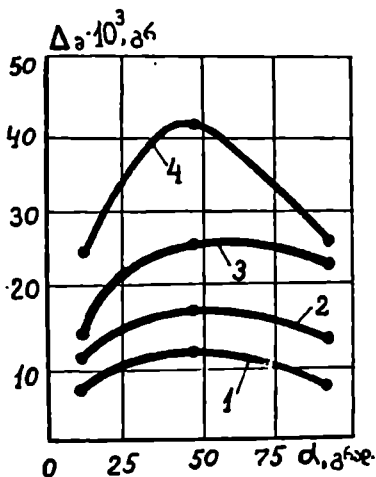
5.5 - 5.8 ნახაზებზე მოცემულია ჰიდროაბრაზიული ცვეთის (მასალის მასური დანაკარგები) მყარი ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირისადმი მიმართვის (შეჯახების) კუთხესთან დამოკიდებულების ექსპერიმენტული მრუდები.

5.5 - 5-8 ნახაზებზე მოცემული ექსპერიმენტული მრუდების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს ზოგადი დასკვნა, რომ ნახშირბადმცირე ფოლადების ჰიდროაბრაზიული ცვეთა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მყარი



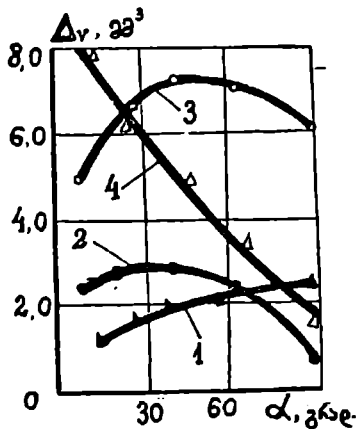
ნახ.5.5. ნახშირბადმცირე ფოლადის ნიმუშის ზედაპირის სხვადასხვა სიჩქარის დროს პიდროაბრაზიული ცვეთის დამოკიდებულება მყარი ნაწილაკების ზედაპირისადმი მიმართვის კუთხისაგან, როდესაც $S = 0,11$; $d_2 = 0,7$ მმ; 1,2,3 - შესაბამისად, როდესაც

საც $U = 2,1; 2,7$ და $3,7$ მ/წმ

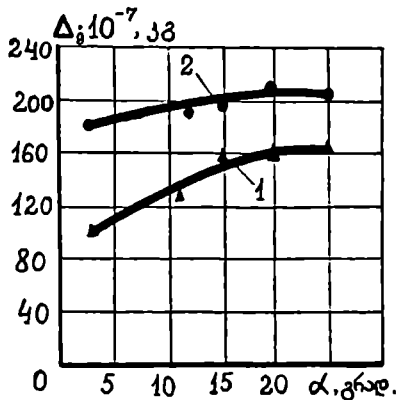


ნახ.5.6. ნახშირბადმცირე ფოლადის ნიმუშის ზედაპირის პიდროაბრაზიული ცვეთის დამოკიდებულება სხვადასხვა ზომის მყარი ნაწილაკების ზედაპირისადმი მიმართვის კუთხისაგან, როდესაც $S = 0,11$; $U = 2,7$ მ/წმ; 1,2,3,4 - შესაბამისად, როდესაც

$d_2 = 0,25; 0,7; 0,99$ და $2,6$ მმ



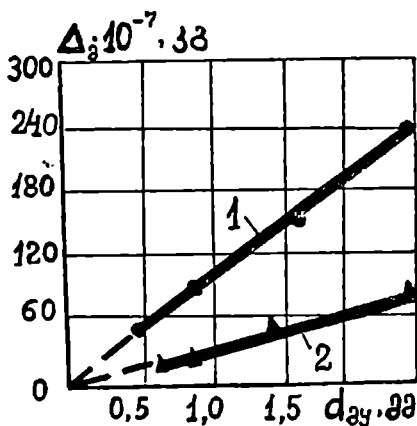
ნახ. 5.7. ნახშირბადმცირე ფოლადის ნიმუშის ზედაპირის პიდროაბრაზიული ცვეთის დამოკიდებულება სხვადასხვა მყარი ნაწილაკების ზედაპირისადმი მიმართავის კუთხისაგან დამოკიდებულებით, როდესაც $S = 0,11$; $U = 2,7$ მ/წმ; $d = 0,7$ მმ: 1 - ნახშირბადმცირე ფოლადი; 2 - სალი შენადნობი; 3 - ალუმინის შენადნობი; 4 - რეზინი



ნახ.5.8. ნახშირბადმცირე ფოლადის ნიმუშის ზედაპირის პიდროაბრაზიული ცვეთის მყარი ნაწილაკების ზედაპირისადმი მიმართვის კუთხისაგან დამოკიდებულება, როდესაც $U = 1,5$ მ/წმ, $S = 0,3$: 1 - კვარცის ქვიშა, $d_{\text{კვ}} = 0,7$ მმ; 2 - დამსხვრეული კირქვა, $d_{\text{კვ}} = 2,7$ მმ

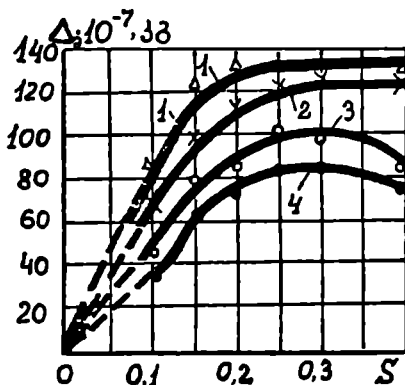
მასალის ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპრისადმი მიმართვის (შეჯ. ახების) კუთხეზე: კუთხის გაზრდით 10° -დან $40-50^{\circ}$ მდე იგი იზრდება; კუთხის შემდგომი გაზრდით 60° -ზე მეტად იგი მცირდება. დაახლოებით ასეთივე დასკვნის გაკეთება შეიძლება 5.8 ნახაზზე მოცემული ექსპერიმენტული მრუდების ანალიზის საფუძველზე, საიდანაც ჩანს, რომ ნახშირბადის ცირე ფოლალების პიდროაბრაზიული ცვეთა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია გასაცვეთი ზედაპრის მყარ ნაწილაკებთან შეჯახების კუთხეზე (უნდა აღინიშნოს, რომ ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს ძირითადად სრიალით კონტაქტს მყარ ნაწილაკებსა და გასაცვეთ ზედაპრს შორის). ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ ნიშნულში მყარ ნაწილაკებთან $\alpha = 3^{\circ}$ კუთხით კონტაქტის შემთხვევაში (დამსხვრეული კირქვის შემთხვევაში) პიდროაბრაზიული ცვეთა 1,8-ჯერ მეტია, ვიდრე კვარცის ქვიშისა, ხოლო $\alpha = 25^{\circ}$ კუთხის შემთხვევაში - 1,44-ჯერ.

ფხვიერი მყარი მასალის ნაწილაკების ზომის (დიამეტრის) გავლენა პიდროაბრაზიულ ცვეთაზე ასევე მნიშვნელოვანია. პიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობა პრაქტიკულად პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია მყარი ნაწილაკების დიამეტრთან (სისხოსთან). ეს ნათლად ჩანს 5.9 ნახაზზე მოცემული ექსპერიმენტული მრუდებიდან. ასეთივე შედეგებია მიღებული სხვადასხვა მკვლევარის სხვადასხვა ზომის სხვადასხვა ფხვიერი მყარი მასალების პიდროტრანსპორტირების შემთხვევაში.



ნახ.5.9. პიდროაბრაზიული ცვეთის მყარი მასალის ნაწილაკების ზომისაგან (დიამეტრისაგან) დამოკიდებულება: 1 - კვარცის ქვიშისათვის; 2 - დამსხვრეული კირქვისათვის (პიდრონარევის ნაკადის სიჩქარე ორივე შემთხვევაში ერთნაირია)

ჰიდრონარევის მოცულობით კონცენტრაციის ჰიდროაბრაზიულ ცვეთაზე გავლენა მოცემულია 5.10 ნახაზზე, საიდანაც ჩანს, რომ კონცენტრაციის გაზრდა ($S = 0.15 - 0.2$) იწვევს გასაცვეთი ზედაპირის მასის დანაკარგის გაზრდას, ხოლო მისი შემდგომი გაზრდით ($S = 0.2 - 0.3$) ჰიდროაბრაზიული ცვეთა პრაქტიკულად მუდმივი რჩება. ზოგჯერ (ნახ. 5.10, მრუდები 3 და 4) $S > 0.3$ კონცენტრაციის შემთხვევაში ჰიდროაბრაზიული ცვეთის შემცირებაც კი შეინიშნება. ეს შეიძლება იმით აიხსნას, რომ მყარი ნაწილაკებით დიდად გაჯერებული საკადების შემთხვევაში დაბალი სიჩქარეების დროს წარმოიშობა დაღექილი შრე, რომელიც შეიცავს უძრაობაში მყოფ მყარ ნაწილაკებს, რომლებიც გარკვეულწილად იცავენ ზედაპირს და ამცირებენ ცვეთის ინტენსიურობას.



ნახ. 5.10. ჰიდრონარევის მოცულობითი კონცენტრაციისაგან ჰიდროაბრაზიული ცვეთის დამოკიდებულება: 1 და 2 - დამსხვრეული კირქვისათვის, შესაბამისად $U = 1,25$ მ/წმ და $U = 1$ მ/წმ; 3 და 4 - კვარცხის ქვიშისათვის, შესაბამისად იგივე სიჩქარეების დროს.

მყარი ნაწილაკების სიმკვრივის ჰიდროაბრაზიულ ცვეთზე დამოკიდებულების კანონზომიერებას გამოხატავს 5.3 ნახაზზე მოცემული მრუდი 4, საიდანაც ჩანს, რომ ჰიდრონარევაში მყარი ნაწილაკების სიმკვრივის გაზრდით პრაქტიკულად პირდაპირპროპორციულად იზრდება ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობა. ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე

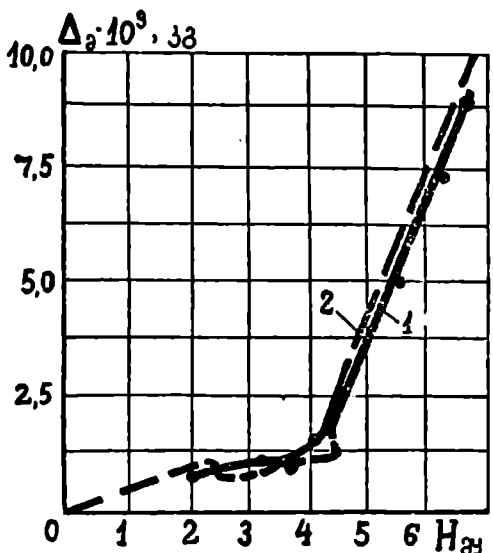
დადგენილია. რომ ფუნქციური დამოკიდებულებისათვის $\Delta = \varphi(\rho_2^*)$ ხარისხის მარეწებელი $n = 1$

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობაზე. გარდა განხილული პარამეტრებისა, გავლენას ახდენს მყარი ნაწილაკებისა და მზიდი სითხის ფიზიკური, მექანიკური და ქიმიური თვისებები.

ექსპერიმენტული კვლევებით დამტკიცებულია. რომ ჰიდროაბრაზიულ ცვეთაზე აბრაზივის (მყარი ნაწილაკების) სისალის გავლენა, ანუ მისი ლითონის ზედაპირზე ზემოქმედების (რღვევის) უნარი შესაძლებელია განისაზღვროს გასაცვეთი მასალისა (H) და აბრაზივის ($H_ა$) მიკროსისალებების შეფარდებით

$K_{ა\lambda} = H / H_ა$. თუ $K_{ა\lambda} \leq 0,6 - 1,0$, ეს უნარი გარკვეულ ზღვრამდე წრფივად

იზრდება $K_{ა\lambda}$ -ის შემცირებით. თუ $K_{ა\lambda} > 0,9 - 1,0$, მყარი ნაწილაკების გასაცვეთ ზედაპირზე ზემოქმედების უნარი (აბრაზიულობა) მკვეთრად მცირდება მათი სისალის შემცირებით. ეს გარემოება მ. ტენენბაუმის დასკვნით წარმოადგენს ზედაპირის პირდაპირი რღვევიდან მრავალციკლური რღვევის სახეობაზე გადასვლის მიზეზს. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის მყარი ნაწილაკების სისალისაგან დამოკიდებულება მოცემულია 5.11 ნახაზზე.



ნახ. 5.11. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის მყარი ნაწილაკების სისალისაგან დამოკიდებულება: 1 - ექსპერიმენტულად დადგენილი; 2 - თეორიულად განსაზღვრული

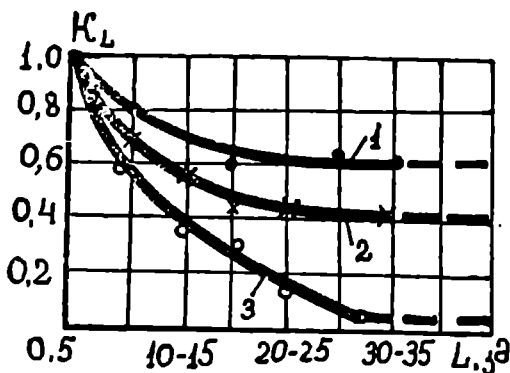
ფხვიერი მყარი მასალები სისხლის მიხედვით პირობითად შემდეგ ჯგუფებად იყოფა:

ა) მცირეაბრაზიული მასალები, რომელთათვის $K_{3,1} > 1,6$. ასეთი მასალების ტიპური (ეტალონური) წარმომადგენელია ქვანახშირი;

ბ) საშუალო აბრაზიულობის მასალები, რომელთათვის $K_{3,1} = 0,9 - 1,6$. ასეთი მასალების ეტალონად შესაძლებელია მიჩნეულ იქნეს დამხვეული კირქვა;

გ) დიდი აბრაზიულობის მასალები, რომელთა სისხლე მოოსის სკალის მიხედვით 5-7 -ის ტოლია, ხოლო $K_{3,1} < 0,9$. ასეთი მასალების ეტალონს წარმოადგენს კვარცის ქვიშა, რომელიც სტაბილური აბრაზიულობით ხასიათდება.

პიღრონარევის ტრანსპორტირებისას, განსაკუთრებით შორი მანძილებზე, ხდება მყარი ნაწილაკების ფორმისა და დამრგვალებულობის შეცვლა, რაც ამცირებს მათ აბრაზიულ თვისებებს. ეს ნათლად ჩანს §.12 ნახაზზე მოცემული ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების მიხედვით აგებული მრუდებიდან.



ნახ. 5.12. მყარი მასალების ნაწილაკების ფარდობითი პიღროაბრაზიულობის პიღრონარევის ტრანსპორტირების მანძილისაგან დამოკიდებულება: 1 - $H < 2-2,5$

მოოსის სკალის მიხედვით; 2- $2,5 < H_3 \leq 4,5$; 3- $H_3 > 5-7$

ეს მრუდები გამოხატავენ პიღრონარევის (მყარი მასლის) ტრანსპორტირების მანძილისაგან დამოკიდებულებით მყარი ნაწილაკების ფორმისა და სისხოს ცვალებადობის გავლენას ფარდობით პიღროაბრაზიულობაზე, რომელიც გამოხატულია K_L კოეფიციენტით.

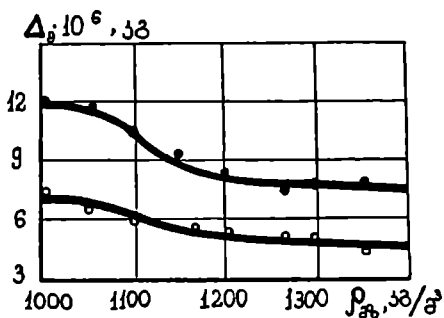
დამრგვალებულობის ხარისხის მიხედვით განასხვავებენ ფხვიერი მყარი მასალების ნაწილაკების სამ ძირითად სახეობას:

ა) მახვილწახნაგა ნაწილაკები, რომელთაც ერთეული შეჯახების დროს შეუძლიათ გასაცვეთ ზედაპირზე შეიჭრან მახვილი წახნაგებით;

ბ) სფეროს ფორმის, დამრგვალებული ნაწილაკები, რომლებსაც გასაცვეთ მასალასთან შეჯახებისას შეუძლიათ წარმოქმნან საკონტაქტო დაძაბულობა, რომელიც საკმარისია ზედაპირის მხოლოდ პოლიდეფორმაციული რღვევისათვის;

გ) საშუალოდ დამრგვალებული ნაწილაკები, რომელთაც წინა ორ სახეობათა შორის გააჩნიათ შუალედური მდგომარეობა და გასაცვეთი ზედაპირის სიმტკიცის თვისებების მიხედვით შესაძლებელია მიეკუთვნონ ერთ-ერთ მათგანს.

მასალების ზედაპირის (მილსადენის შიგა ზედაპირის) ჰიდროაბრაზიულ ცვეთაზე გავლენას ახდენს მზიდი სითხის სიმკვრივე. ჰიდრონარევი უწყვილესი (ძალზე წმინდა) ნაწილაკების კონცენტრაციის გაზრდა გარკვეულ ზღვრამდე განაპირობებს დამძიმებული მზიდი სითხის (მზიდის გარემოს) ფორმირებას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს უფრო დიდი ზომის ნაწილაკების მიერ გამოწვეულ ჰიდროაბრაზიულ ცვეთას. ეს დამტკიცებულია ექსპერიმენტული კვლევებით, რომელთა შედეგები მრუდების სახით მოცემულია 5.13 ნახაზზე.

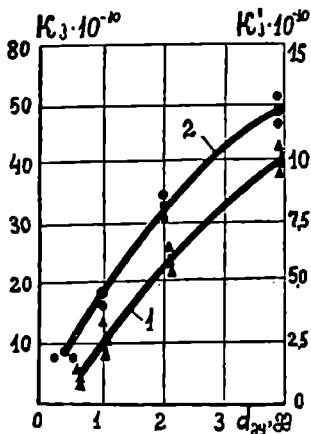


ნახ.5.13. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის მზიდი სითხის კონცენტრაციისაგან დამოკიდებულება: 1- ფოლადი ფლ 3; 2 - ფოლადი ფლ 20

ამ ნახაზზე მოცემული მრუდებიდან ჩანს, რომ მზიდი სითხის სიმკვრივის გაზრდით $\rho_a = 1300$ კგ/მ³-მდე ჰიდროაბრაზიული ცვეთა მცირდება. მისი შემდგომი გაზრდით ($\rho_a = 1300$ კგ/მ³), თუ მზიდი სითხე ინარჩუნებს ნიუტონური სითხის თვისებებს, ჰიდროაბრაზიული ცვეთა პრაქტიკულად არ იცვლება და მუდმივია.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ყველა იმ ფაქტორის და პარამეტრის გავლენის შესწავლა პიდროაბრაზიულ ცვეთაზე ექსპერიმენტული გზითაც კი შეუძლებელია. ამდენად, ვერ ხერხდება იმის დადგენა, თუ როგორ გავლენას ახდენს ცალკეული მათგანი პიდროაბრაზიული ცვეთის პროცესზე და მის საბოლოო შედეგზე. ამ ფაქტორებიდან მთავარია აბრაზივისა (მყარი მასალის აბრაზიული ნაწილაკებისა) და გასაცვეთი მასალის ფიზიკური, ქიმიური და მექანიკური თვისებები, კერძოდ, გასაცვეთი მასალის სიმტკიცე, სისაღე და მყარი ნაწილაკების აბრაზიული თვისებები. მათი გათვალისწინება კოეფიციენტით, რომლის მნიშვნელობა გასაცვეთი მასალისა და მყარი მასალის ნაწილაკების ნებისმიერი ორი წყვილისათვის (ყველა სხვა ფაქტორისა და პარამეტრის იდენტურობისას) შესაძლებელია განისაზღვროს მხოლოდ ექსპერიმენტული გზით.

5.14 ნახაზზე მოცემულია ამ კოეფიციენტის (K , იმ შემთხვევისათვის როდესაც $\alpha = 10^\circ$, $K_1 - \alpha = 90^\circ$) მნიშვნელობის დამოკიდებულება მყარი მასალის დიამეტრისაგან, როდესაც ფოლადის ფლ 3 პიდროაბრაზიული ცვეთა ხდებოდა კვარცის ქვიშისა და დამსხვრეული კირქვების ნაწილაკების მიერ.



ნახ.5.14. ექსპერიმენტული კოეფიციენტის K , დამოკიდებულება მყარი მასალის ნაწილაკის სისხოსაგან: 1 - გასაცვეთი მასალაა ფოლადი ფლ 3, აბრაზივი - კვარცის ქვიშა, შემთხვევისათვის: $\alpha = 10^\circ$, $U = 6.5$ მ/წმ, $S = 0.6$; 2- გასაცვეთი მასალაა ფოლადი 40X, აბრაზივი კვარცის ქვიშა, შემთხვევისათვის: $\alpha = 90^\circ$, $U = 6.5$ მ/წმ,

$$S = 0,06$$

K_1 და K'_1 კოეფიციენტების ფარდობითი მნიშვნელობები, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ერთნაირი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე კონტაქტში მყოფი წყვილისა და ერთი და იმავე მზიდი სითხის შემთხვევაში მუდმივია და არ არის დამოკიდებული პიდროაბრაზიული ცვეთის სხვა პარამეტრებისაგან.

პროცესის ანალიზის საფუძველზე და ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით გამოყვანილ იქნა პიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენისურობის გამოსაანგარიშებელი ზოგადი ფორმულა, რომელსაც აქვს სახე

$$\Delta = K_1 \frac{\rho_{\text{მკ}}}{\rho_{\text{კატ}} g} U_{\text{კატ}}^3 S(1-S) d_{\text{კატ}} \sin 2\alpha. \quad (5.2)$$

ეს ფორმულა არ არის უნივერსალური და წარმოდგენილი სახით არ გამოიყენება პიდროაბრაზიული ცვეთის ნებისმიერი შემთხვევისათვის. იგი რომ მართებული იყოს ისეთი შემთხვევისათვის, როგორცაა მილსადენის სწორხაზოვანი და მრუდხაზოვანი უბნები, ცენტრიდანული ტუმბოს სტატორი და როტორი, იგი საჭიროებს შესაბამისი ცვლილებების შეტანას კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით. ყველა ამ შემთხვევის განხილვა მოითხოვს საკმაოდ რთულ ანალიზს და საჭიროებს დიდ მოცულობას, რის საშუალებას სახელმძღვანელოს შეზღუდული მოცულობა არ იძლევა. პიდროაბრაზიულ ცვეთასთან დაკავშირებული თეორიული და პრაქტიკული საკითხები განხილულია სპეციალურ ლიტერატურაში, რომლის ნუსხის გარკვეული ნაწილი თან ერთვის სახელმძღვანელოს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ძირითადი საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია სამთო მრეწველობაში გამოყენებულ პიდრო-სატრანსპორტო სისტემების პიდროაბრაზიულ ცვეთასთან, განხილულია დამხმარე სახელმძღვანელოში „სამთო სამუშაოების პიდრომექანიზაცია“.

5.4. პიდროაბრაზიული ცვეთის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდები და საშუალებები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, პიდროაბრაზიული ცვეთა მავნე მოვლენაა, რომელიც უარყოფით გავლენას ახდენს პიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ და ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე. ამდენად, ცხადია, მის წინააღმდეგ საჭიროა ბრძოლა, რათა მინიმუმამდე იქნეს შემცირებული მისი ინტენსიურობა ან, თუ ეს შესაძლებელია, საერთოდ დაცულ იქნეს ზედაპირი ცვეთისაგან.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები შედგება ოთხი ძირითადი კვანძისაგან: ჰიდრონარევის მოშაადების კვანძი, ჰიდრონარევის მიმწოდებელი (დამჭირხნი) მანქანა-აპარატები, მილსადენი და ჩამკეტ-მარეგულირებელი მოწყობილობები, ჰიდრონარევის მიწოდების (დასაწყობების) ადგილი. მათგან ყველაზე ინტენსიურ ცვეთას განიცდიან ჰიდრონარევის მიმწოდებელი მანქანა-აპარატები, მილსადენი და ჩამკეტ-მარეგულირებელი მოწყობილობები. ამ კვანძების ჰიდროაბრაზიული ცვეთის პროცესი რამდენადმე განსხვავდება ერთმანეთისაგან, ამდენად, მათ წინააღმდეგ მიმართული მეთოდებიც და საშუალებებიც ასევე გარკვეულწილად განსხვავებულია.

ჰიდრონარევის მიმწოდებელი (დამჭირხნი) მანქანების (ძირითადად ტუმბოების) ჰიდროაბრაზიული ცვეთის საწინააღმდეგოდ ძირითადად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, შემდეგი მეთოდები და საშუალებები: ა) ტუმბოების იმ ნაწილების, რომლებშიც გაედინება ჰიდრონარევი, კონსტრუქციული სრულყოფა; ბ) მაქსიმალურად დიდი სისალის მქონე მასალების შერჩევა მათი დეტალების დასამზადებლად; გ) ტუმბოების იმ ნაწილების (დეტალების) ამოგება, რომელთათვის ეს შესაძლებელია; დ) მათი ისეთი კონსტრუქციების შექმნა, რომლებიც საშუალებას მოგვცემენ თავისუფლად იქნეს შეცვლილი ის ნაწილები, რომლებიც ყველაზე მეტად განიცდიან ჰიდროაბრაზიულ ცვეთას; ე) მათი ექსპლუატაციის რაციონალური რეჟიმების შერჩევა; ზ) მაღალი ცვეთამდევობის მქონე, პრინციპულად ახალი კონსტრუქციების შექმნა.

მილსადენებისა და ჩამკეტ-მარეგულირებელი მოწყობილობისათვის უფრო მიზანშეწონილია: ა) ჰიდრონარევის ტრანსპორტირების ტექნოლოგიური და ჰიდრაულიკური პარამეტრების ისეთ დიაპაზონში რეგულირება, რომელიც უზრუნველყოფს მინიმალურ ჰიდროაბრაზიულ ცვეთას; ბ) მზიდი სითხის ქიმიური აქტიურობის შემცირება; გ) მილების ფორმის, მათი შეერთების ელემენტების, მილსადენის ფასონური ნაწილების, ჩამკეტ-მარეგულირებელი მოწყობილობების კონსტრუქციული სრულყოფა; დ) ჰიდროაბრაზიულ ცვეთაზე ჩატარებული კონტროლის შედეგებზე დაყრდნობით სარემონტო-პროფილაქტიკური სამუშაოების დროულად შესრულება; ე) მილსადენების პროფილაქტიკური შემობრუნება 120° ით.

ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი მეთოდები და საშუალებები საჭიროებს ღრმა ანალიზს და მოითხოვს ძალზე შრომატევად, რთულ გაანაგირებებს.

ამდენად, სახელმძღვანელოში შეუძლებელია მათი დეტალურად განხილვა. ისინი საჭირო სისრულით მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში.

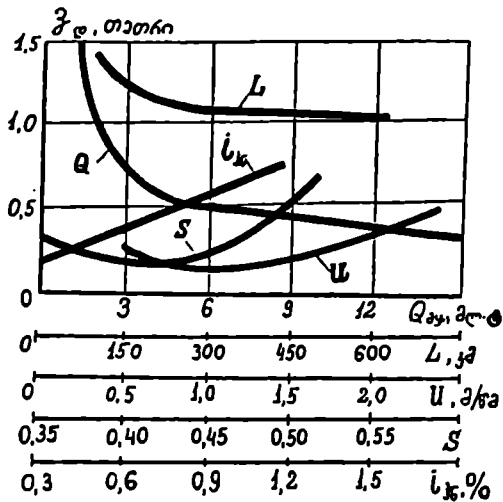
თავი 6. ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ- ეკონომიკური მაჩვენებლები, მათი ამაღლების საშუალებები, ეკოლოგიური ასპექტები

ფხვიერი მყარი მასალების ჰიდროტრანსპორტმა ჩვენი საუკუნის მეორე ნახევარში ფართო გამოყენება პოვა მრეწველობის მრავალ დარგში. ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები წარმატებით ფუნქციონირებს მსოფლიოს განვითარებულ ყველა ქვეყანაში, რაც განპირობებულია ტრანსპორტის ამ სახეობის მთელი რიგი უპირატესობით ტრანსპორტის სხვა სახეობებთან შედარებით. ჰიდროსატრანსპორტო ტრანსპორტის ყველაზე ახალი სახეობაა და, ამდენად, იგი ჯერ კიდევ განვითარებისა და სრულყოფის სტადიაში იმყოფება. დღესდღეობით მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში მეცნიერებისა და სპეციალისტების დიდი ჯგუფი ფართომასშტაბიან თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებს აწარმოებს ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებისა და ეკოლოგიური ასპექტების ასამაღლებლად. ამ მიზნით სამუშაოები სრულდება მრავალი მიმართულებით, რომლებიც ითვალისწინებენ ტრანსპორტირების საშუალებების (ტუმბოები, მკვებავები, ჭავლური აპარატები და ა.შ.) სრულყოფას და ახალი ეფექტური მანქანა-აპარატების შექმნას, მილსადენის ფორმის (განიკვეთის) სრულყოფას, მათი დამზადებისათვის და ფუნქციონირებისათვის ახალი მასალების შექმნას, ექსპლუატაციის რეჟიმების სრულყოფას, ჰიდრაულიკური დარტყმებისა და ჰიდროაბრაზიული ცვეთის საწინააღმდეგო ღონისძიებების დამუშავებას, ექსპლუატაციის უსაფრთხოებისა და საიმედოობის გაზრდის მიზნით, საზომი და მაკონტროლებელი აპარატურის სრულყოფას რეჟიმების ავტომატური და დისტანციური მართვისათვის და ა.შ.

მნიშვნელოვანი კვლევები იქნა ჩატარებული სანკტ-პეტერბურგის სამთო ინტიტუტში სადაწნეო ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების გამოყენების ეფექტური არის დასადგენად. ამ კვლევების ძირითადი შედეგები თეორიული მრუდების სახით მოცემულია ნ. I ნახაზზე.

სანკტ-პეტერბურგის მეცნიერთა სკოლის მიერ შესრულებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მიერ 5 მილიონ ტონაზე მეტი ჰიდრონარევის მიწოდების შემთხვევაში ტრანსპორტირებისათვის საჭირო დაყვანილი დანახარჯები მკვეთრად მცირდება (იხ. ნახ. ნ. I). მიწოდების მოცულობის შემდგომი გაზრდისას ეს მაჩვენებელი გარკვეულწილად სტაბილური ხდება, მაგრამ შემცირების ტენდენციას ინარჩუნებს.

ჰიდრონარევის ტრანსპორტირების სიჩქარის გადიდებით დაყვანილი დანახარჯები იზრდება. ამ დამოკიდებულების მრუდს (მრუდი U, ნახ. ნ. I) გააჩნია მინიმუმის წერტილი, რომელიც მის კრიზისულ მნიშვნელობას აღემატება.



ნახ 6.1. პიდროტრანსპორტირებისათვის საჭირო დაყვანილი დანახარჯების დამოკიდებულება პიდროსატრანსპორტო სისტემის მიწოდების (Q), ტრანსპორტირების მანძილის (L), პიდრონარევის მოძრაობის სიჩქარის (U), პიდრონარევის მოცულობითი კონცენტრაციისა (S) და კუთრი პიდრაულიკური დანაკარგებისაგან (i_x)

პიდრონარევის კონცენტრაციის გავლენა დაყვანილ დანახარჯებზე გამოიხატება მრუდით (S), რომელსაც უფრო მკვეთრად გამოხატული მინიმუმის წერტილი გააჩნია, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მყარი მასალების ფიზიკურ--მექანიკურ თვისებებზე.

წნევის დანაკარგების გაზრდა, ცხადია, იწვევს დაყვანილი დანახარჯების გაზრდას და მით უფრო მეტად, რაც მეტია პიდრონარევის კონცენტრაცია (მრუდი i_x , ნახ. 6.1).

ტრანსპორტირების მანძილის გაზრდა დადებითად მოქმედებს დაყვანილ დანახარჯებზე. როგორც 6.1 ნახაზზე მოყვანილი მრუდიდან (L) ჩანს, პიდროტრანსპორტირება ეფექტურია, თუ ტრანსპორტირების მანძილი 180 კმ აღემატება. სიგრძის შემდგომი გაზრდით ეფექტურობა პრაქტიკულად მუდმივია (ყოველ შემთხვევაში არ მცირდება). პიდროტრანსპორტირების მანძილის 180

კმ-ზე ქვემოთ შემცირებით დაყვანილი ხარჯები საკმაოდ მკვეთრად იზრდება, ე.ი. ეფექტურობა მცირდება. 6.) ნახაზზე მოცემული მრუდების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს საერთო დასკვნა: ჰიდროტრანსპორტირების ეფექტურობა იზრდება სისტემის მიწოდებისა და ტრანსპორტირების მანძილის გაზრდით.

მაგისტრალური ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები (განსაკუთრებით მიმდევრობით შეერთებული ცენტრიდანული ტუმბოებით მომუშავე) წარმოადგენს რთულ ჰიდრავლიკურ დანადგარებს, რომლებიც საჭიროებენ მუდმივ კონტროლს. ექსპლუატაციის დროს ხშირად ხდება ჰიდროდინამიკური პარამეტრების ცვალებადობა. ამ მხრივ აღნიშვნის ღირსია გარდამავალი პროცესები, რომლებიც ხშირად ხასიათდებათ წნევის მნიშვნელოვანი ცვალებადობით (იხ.თავი 5). განსაკუთრებით საშიშია ჰიდრავლიკური დარტყმები. ექსპლუატაციის პერიოდში ინტენსიურ ჰიდროაბრაზიულ ცვეთას განიცდიან დამჭირხნი მანქანა-აპარატები და მილსადენები, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს მათ საიმედოობას. ყველა ეს პროცესი საჭიროებს მუდმივ კონტროლს, რათა არ მოხდეს წნევის ცვალებადობის ამპლიტუდისა და სიხშირის დასაშვებზე მეტად გაზრდა, აგრეთვე მილსადენებისა და მოწყობილობების მაქსიმალურად გაცვეთა, რათა ისინი არ გახდნენ ექსპლუატაციისათვის უვარგისნი. ამისათვის აუცილებელია სპეციალური ღონისძიებების შემუშავება. ასეთ ღონისძიებებს მიეკუთვნებიან: ჰიდრავლიკური დარტყმებისაგან დამცავი საშუალებები; რეკომენდაციები სისტემის ამუშავებისა და გაჩერებისათვის, აგრეთვე ჰიდროაბრაზიული ცვეთის შემცირებისათვის; საზომი ხელსაწყოები; ავტომატიზაციის საშუალებები და ა.შ.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები, რომლებიც ფუნქციონირებენ სამთო მრეწველობის ობიექტებზე, შეიძლება ხასიათდებოდეს სქემების მრავალსახეობით. აგრეთვე ჰქონდეს განსხვავებული მიწოდების, განტვირთვის, გაუწყლოების კვანძები, ჩამკეტ-მარეგულირებელი მოწყობილობები და ავტომატური მართვის სქემები, რომელთა გეომეტრიული და მუშა პარამეტრები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ჰიდრონარევის სახეობისა და მიწოდების რაოდენობისაგან დამოკიდებულებით. ცხადია, მათ აქვთ ერთმანეთისაგან განსხვავებული ექსპლუატაციის პირობები, შესბამისად საჭიროებენ ერთმანეთისაგან განსხვავებულ კაპიტალდაბანდებებს, აქვთ განსხვავებული ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

6.1. სამთო მრეწველობის პიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები

მილსადენი პიდროტრანსპორტის ძირითად და მთავრ კვანძებს წარმოადგენენ: პიდრონარევის მომზადებისა(საიდანაც ხდება პიდრონარევის მიწოდება) და გაუწყლოების (სადაც ხდება პიდრონარევის მიწოდება ან დასაწყობება) კვანძები, სატრანსპორტო მილსადენები. სამთო მრეწველობის საწარმოების პიდროსატრანსპორტო სისტემებს აქვს გამარტივებული ტიპის პიდრონარევის მოსამზადებელი და გაუწყლოების კვანძები, რომლებიც არ საჭიროებენ რთულ და ძვირად ღირებულ მოწყობილობებსა და მანქანა-დანადგარებს. შედარებით მცირეა მათი ენერგოდანახარჯები.

სხვადასხვა სამეცნიერო ცენტრებში შესრულებული ეკონომიკური გამოკვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ ყოფილი საბჭოთა კავშირის სამთო მრეწველობა სხვადასხვა სახის მყარი ფხვიერი მასალების პიდროტრანსპორტირების კუთრი დანახარჯები შეადგენდა 0,47-0,56 მან/ტ, ხოლო პიდრონარევის მომზადებასა და გაუწყლოებაზე 0,2-0,3 მან/ტ

დიდ მანძილზე პიდროტრანსპორტირების შემთხვევაში პიდრონარევის მომზადებასა და გაუწყლოებაზე დანახარჯები იზრდება. მიწოდების (ტრანსპორტირების) მანძილის გაზრდით პიდროსატრანსპორტო სისტემის მიერ მოხმარებული საერთო სიმძლავრე იზრდება. ამდენად, დიდ მანძილზე პიდროტრანსპორტირება მთი უფრო ეფექტურია, რაც მეტია სისტემის მიწოდება (ხარჯი). პრაქტიკული დაკვირვებებისა და შესაბამისი გაანგარიშებების საფუძველზე დადგენილია, რომ პიდრონარევის გაუწყლოებაზე შოდის მთელი დანახარჯების 60%-ზე მეტი, ხოლო მის მომზადებაზე მხოლოდ 20-25 %, მილსადენების მშენებლობა საჭიროებს დაახლოებით 15-20 %-ს. აქედან გამომდინარე, მილსადენების ექსპლუატაციის ხანგრძლივობის (რესურსის) გაზრდას ძალზე დიდი მნიშვნელობა აქვს მთლიანად პიდროსატრანსპორტო სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ამაღლებისათვის. კაპიტალური დანახარჯები 1 მ³ ქანის პიდროტრანსპორტირებისათვის შეადგენდა 0,3-0,7 მან., მათგან დანახარჯები ტექნოლოგიურ მოწყობილობაზე - 43 %-ს, ხოლო მოხმარებული მილსადენების რაოდენობა 0,55-1,8 კგ-ს.

ელექტროენერჯის დანახარჯები ცვალებადობს 18-55%-ის ფარგლებში. სხვადასხვა სახის მყარი ფხვიერი მასალების პიდროტრანსპორტირება საჭიროებს წყლის რაოდენობას (ხარჯს) შესაბამისად: ნახშირის 10-15, ქვიშა-ლორღის - 20-25, ქვიშის 12-18, გამლიდრების კულების - 5-15 მ³/მ³. ელექტროენერჯის

ხარჯი. შესაბამისად იგივე მასალებისათვის: 2,5-2,72; 5-6,62; 3,2-3,6; 21,4 კვტ·სთ.

სამთო მრეწველობის ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების (დანადგარების) ტექნიკურ-ეკონომიკური საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრის რამდენიმე მეთოდიკა არსებობს. ჩვენი აზრით, მათგან ყველაზე სრულყოფილია აღნიშნული სისტემების ეფექტურობისა და საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებელი.

6.2. ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ეფექტურობისა და საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებელი

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის ეფექტურობისა და საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებელი წარმოადგენს სისტემის ექსპლუატაციის მთელ პერიოდში შესრულებული სასარგებლო მუშაობის შეფარდებას მისი ფუნქციონირებისათვის საჭირო ჯამურ დანახარჯებთან, რომელიც ითვალისწინებს სისტემის მოცდენებისაგან (სხვადასხვა მიზეზების გამო სისტემის იძულებით გაჩერებისაგან), სხვადასხვა სახის ავარიებისაგან (ჰიდრავლიკური დარტყმებისაგან, ჰიდროაბრაზიული ცვეთისაგან და ა.შ.) გამოწვეულ ზარალს, აგრეთვე ავარიების შედეგად საჭირო აღდგენითი სამუშაოების ღირებულებას და ა.შ.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის ტექნიკური რესურსი (ექსპლუატაციის ვადა) ანუ ექსპლუატაციის მთელ პერიოდში მუშაობის სუფთა დრო ძირითადად განისაზღვრება მილსადენების ტექნიკური რესურსით ($T_{მილ}$), რომელიც იანაგრიშება ფორმულით

$$T = T_{მილ} = T_0 - \sum I_{მილ}, \quad (6.1)$$

სადაც T_0 არის სისტემის ექსპლუატაციის (მუშაობის) ვადა (ხანგრძლივობა), წმ; $\sum I_{მილ} - T_0$, დროის განმავლობაში ჯამური მოცდენა, წმ.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის ეფექტურობისა და საიმედოობის მაჩვენებელი (კვტ.სთ/ლარი) წარმოადგენს შემდეგი სახის შეფარდებას:

$$\theta = \frac{A_0}{\sum C_{\delta} + \sum C_{აღ} + \sum C_{ავ} + \sum C_{არ}}, \quad (6.2)$$

აქ A_k არის სიტემის არსებობის მთელ პერიოდში შესრულდებული სასარგებლო მუშაობა

$$A_k = 9.8 \rho_k Q_k H_\delta T_{\Sigma k}; \quad (6.3)$$

$H_\delta = Li_j + H_s$ - სასარგებლო სამუშაოს შესარულებლად ტუმბოს მიერ განვითარებული დაწნევა, მ წყ. სვ; H_s - ძირდონარევის მიწოდების სიმაღლე გეოდეზიური სიმაღლე, მ; $Q_k = SQ_k$ სისტემის მიწოდება მყარი მასალის მიხედვით, მ³/სთ; $\sum C_\delta$ - ტუმბოების ჯამური ღირებულება, რომელშიც შედის მათი აღდგენისათვის შესრულებული სამუშაოების ღირებულება T , დროის განმავლობაში, ლარი;

$$\sum C_\delta = C_\delta^a \frac{T_{\Sigma k}}{T_\delta} (1 + q_{\delta a} + q_{\delta b} + K_{\delta a}) - C_{\delta a} \frac{T_{\Sigma k}}{T_\delta}, \quad (6.4)$$

აქ C_δ^a სისტემაში გამოყენებული ყველა ახალი ტუმბოს ღირებულებაა, ლარი; T_δ - ერთეული ტუმბოს ტექნიკური რესურსი, წმ; $q_{\delta a}$ - უმოქმედობაში მყოფი ტუმბოს მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა; $K_{\delta a}$ - სარემონტო სამუშაოებზე დახარჯული დანაკარგები; $q_{\delta b}$ - ექსპლუატაციაში მყოფი ტუმბოს მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა;

$$K_{\delta a} = \frac{\sum_k C_k Z_k}{C_\delta^a}. \quad (6.5)$$

სადაც C_k ერთეული ტუმბოს გარემონტების ღირებულებაა, ლარი; Z_k - ტუმბოების რემონტის რიცხვი; $C_\delta^a = \beta_\delta C_\delta^*$ - ტუმბოების ნარჩენი ღირებულება (აიღება როგორც ახალი ტუმბოების ღირებულების β_δ გარკვეული წილი), ლარი; $\sum C_{\Sigma k}$ - ყველა მილსადენის ჯამური ღირებულება, რომელშიც შედის მათი რემონტისათვის (აღდგენისათვის) შესრულებული სამუშაოების ღირებულება T_k დროის განმავლობაში, ლარი;

$$\sum C_{\Sigma k} = C_{\Sigma k}^* (1 + q_{\Sigma k a} + q_{\Sigma k b} + K_{\Sigma k a}) - C_{\Sigma k}^*, \quad (6.6)$$

აქ $C_{აღ}$ ახალი მილსადენის ღირებულებაა, ლარი; $q_{აღ,ა}$ - უმოქმედებაში მყოფი მილსადენების მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა; $q_{აღ,ა}$ - ექსპლუატაციაში მყოფი ტუმბოს მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა; $K_{აღ,ა}$ - მილსადენების რემონტზე დანახარჯები, რომელიც ითვალისწინებს მილსადენების შემობრუნებას პორიზონტალური ღერძის ირგვლივ, მილსადენის პერიმეტრის მიხედვით თანაბარი ცვეთის უზრუნველყოფისათვის, აგრეთვე ზოგიერთი უბნის ახალი მილსადენით შეცვლის ხარჯებს

$$K_{აღ,ა} = \frac{C_{აღ,ა} \cdot l_{აღ,ა} T_{აღ,ა}}{C_{აღ,ა} T_{აღ,ა}}, \quad (6.7)$$

აქ $C_{აღ,ა}$ ერთი გრძივი მეტრი მილსადენის შემობრუნების საშუალო ღირებულებაა, ლარი/მ; $l_{აღ,ა}$ - მილსადენის სიგრძე, რომელმაც განიცადა პორიზონტალური ღერძის ირგვლივ შემობრუნება, მ; $T_{აღ,ა}$ - ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მუშაობის ხანგრძლივობა მორიგ პროფილაქტიკურ შემობრუნებამდე, წმ; $C_{აღ,ა} = \beta_{აღ,ა} C_{აღ,ა}$ - მილსადენების ნარჩენი ღირებულება, ლარი; $\beta_{აღ,ა}$ - ნარჩენი ღირებულების წილი, ლარი; $\sum C_{აღ,ა}$ - ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მომსახურების ჯამური დანახარჯები (როგორც გამართული მუშაობის, ასევე ავარიების დროს), რომელშიც შედის ტექნოლოგიური პროცესებით გათვალისწინებული მოცდენებით გამოწვეული ზარალიც, ლარი;

$$\sum C_{აღ,ა} = (A_{აღ,ა} + C_{აღ,ა} K_{აღ,ა} + A_{აღ,ა} K_{აღ,ა}) T_{აღ,ა}, \quad (6.8)$$

სადაც $A_{აღ,ა}$ სისტემის გამართული მუშაობის დროზე მოსულში მომსახურების ღირებულება, ლარი/წმ; $C_{აღ,ა}$ - უეცარი მტყუნებებით გამოწვეული ზარალი,

ლარი; $K_{აღ,ა} = \frac{Z_{აღ,ა}}{T_{აღ,ა}}$ - ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის ნორმალური რეჟიმის

დარღვევებით განპირობებული უეცარი მტყუნებების კოეფიციენტი; $A_{აღ,ა}$ - მილსადენების მოცდენით განპირობებული დანაკარგების ღირებულება, ლარი/წმ; $K_{აღ,ა} = \sum T_{აღ,ა} / T$ - ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მოცდენის

კოეფიციენტი; $\sum C_{\Sigma}$ - დახარჯული ელექტროენერჯის ღირებულება, ლარი

$$\sum C_{\Sigma} = \frac{9,8 \rho_1 Q_1 H_0 T_{\Sigma}}{\eta_0} A_{\Sigma}, \quad (6.9)$$

სადაც η_0 ტუმბოს მქ კოეფიციენტი; A_{Σ} - ერთი ვატ-წამი ელექტროენერჯის ღირებულება, ლარი/ვატი-წამი.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის მოწყობილობების (მილსადენების, ტუმბოების) საშუალო ტექნიკური რესურსი შესაძლებელია განისაზღვროს სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების საფუძველზე შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$T_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} \sum_{j=1}^{l_i} (T_{ij})}{N_0}, \quad (6.10)$$

აქ N_0 მოწყობილობების საერთო რიცხვია ჰიდროსატრანსპორტო სისტემის ექსპლუატაციის დასაწყისში; l_i - i -ური მოწყობილობის უმტყუნებო მუშაობათა შორის ინტერვალების რიცხვი; $(l_i)ij$ - j -ურ ინტერვალში i -ური მოწყობილობების მუშაობის დრო, წმ.

ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ძირითადი მოწყობილობის (ტუმბო, მისი მუშა თვალი და ა.შ.) მილსადენების საორენტაციო რესურსი სისტემის ექსპლუატაციის პარამეტრების გარკვეული მნიშვნელობებისათვის შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$T_{\Sigma}(\Delta) = \frac{\rho_2 \Delta_{\Sigma}}{\Delta_0}, \quad (6.11)$$

სადაც Δ_{Σ} არის იმ დეტალის ცვეთის დასაშვები სისქე, რომელიც განიცდის ცვეთას, მ; ρ_2 - იმ მასალის სიმკვრივე, რომელიც განიცდის ცვეთას, კგ/მ³; Δ_0 - ზედაპირის ჰიდროაბარზიული გაცვეთის ინტენსიურობა, კგ/მ².წმ.

(6.11) ფორმულით ტუმბოს მუშა თვლის ფრთების რესურსი ფაქტიურად განსაზღვრავს ტუმბოს მუშა თვლის რესურსს. მთლიანად ტუმბოს რესურსი

$$T_0 = m_1 T_{\Sigma}, \quad (6.12)$$

აქ T_{Σ} ტუმბოს კორპუსის რესურსია, წმ; m_1 - კოეფიციენტი, რომელიც

დამოკიდებულია ტუმბოს კონსტრუქციულ პარამეტრებზე და მყარი ნაწილაკების აბრაზიულ თვისებებზე.

სამრეწველო პირობებში ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე დადგენილია, რომ FP ტიპის გრუნტის ტუმბოებისათვის, რომლებიც ახდენენ მარცვლოვანი მყარი მასალისა და გამდიდრების ნარჩენების (კულების) ჰიდროტრანსპორტირებას $m_1 = 2 - 2,5$, ხოლო ცემენტის შლამების მიწოდებისას $m_2 = 4 - 4,5$.

ასევე, სამრეწველო პირობებში ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე დადგენილია, რომ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების მილსადენების ინტესიურ ცვეთას განიცდის მათი ქვედა ნაწილი (ფსკერი). ამდენად, (6.9) ფორმულაში შემავალი წევრები განხილული უნდა იქნეს მილსადენის ფსკერშიმდებარე შრეებისათვის. მილსადენის აღნიშნული ნაწილის ჰიდროაბრაზიული ცვეთის განსაზღვრის შემდეგ ხდება მილსადენის ჰიდროაბრაზიული ცვეთის გადაანგარიშება პერიმეტრის მიხედვით

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_s \cdot K_a}{n_s \cdot \psi_{s,a}}, \quad (6.13)$$

სადაც K_a არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მილსადენის პორიზონტისადმი დახრის კუთხის გავლენას მის ჰიდროაბრაზიულ ცვეთაზე; დამავალი მილსადენის (დამავალი ნაკადის) შემთხვევაში, როცა

$$\alpha \leq 40^\circ, K_a = a_1 + b_1 \sin \alpha_1; \quad (6.14)$$

$$\alpha \geq 40^\circ, K_a = a_2 - (\alpha - \alpha_0) b_2 / \alpha_0; \quad (6.15)$$

აღმავალი მილსადენის (აღმავალი ნაკადის) შემთხვევაში, როცა $\alpha = 0 - 90^\circ$,

$$K_a = \frac{a_3 + b_3 \cos \alpha}{a_3 + b_3}. \quad (6.16)$$

ფორმულებში (6.14)-(6.16) $a_1 = 1,0$; $a_2 = 1,6$; $a_3 = 0,55$; $b_1 = 0,935$; $b_2 = 0,93$; $b_3 = 1,02$ ცდისეული კოეფიციენტებია, რომელთა მნიშვნელობები დადგენილია ექსპერიმენტულად მილსადენებში წვრილ - და საშუალო-მარცვლოვანი მყარი მასალის ნაწილაკების ჰიდროტრანსპორტირებისას; α - მილსადენის პორიზონტთან დახრის კუთხე, რადიანებში; n_s - მილსადენების

პროფილაქტიკური მობრუნების რიცხვი მისი გრძივი ღერძის მიმართ; Ψ_{α} - პროფილაქტიკური მობრუნების შესაბამისი მილსადენის არათანაბარი ცვეთის კოეფიციენტი.

(6.13) ფორმულით განსაზღვრულ Δ_1 -ის მნიშვნელობას თუ შევიტანთ (6.11) ფორმულაში, შესაძლებელია ვიპოვოთ მილსადენის ტექნიკური რესურსის საორიენტაციო მნიშვნელობა.

მილსადენების მუშაობის ვადა (წმ) პროფილაქტიკურ მობრუნებამდე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$T_{\text{მა}} = \frac{\rho_{\alpha} \delta_{\alpha} \Psi_{\alpha}}{\Delta_1} \quad (6.17)$$

ზემოთ განხილული ანალიზიდან ჩანს, რომ ჰიდროსატრანსპორტოსისტემის ეფექტურობისა და საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებლის მნიშვნელობის გაზრდა შესაძლებელია ფხვიერი მყარი მასალის მილსადენებით ტრანსპორტირების რაციონალური პარამეტრების შერჩევით, რომლებიც უზრუნველყოფენ მოწყობილობებისა და მილსადენების მაქსიმალურ რესურსს, სისტემის ოპტიმალური რეჟიმის უზრუნველყოფით, არასასურველი შემთხვევითი პროცესების წარმოშობის თავიდან აცილებით, რომლებიც იწვევენ სერიოზულ ავარიებს, მილსადენებისა და მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლას და ხანგრძლივ მოცდენებს.

6.3. ჰიდროტრანსპორტის ეკოლოგიური ასპექტები

ჰიდროტრანსპორტი მიეკუთვნება ეკოლოგიურად ყველაზე სუფთა ტრანსპორტის სახეობას, რადგან პრაქტიკულად გამოირიცხულია მისგან გარემოს დაბინძურება, პირიქით, იგი ხელს უწყობს გარემოს დაცვას. მისი მნიშვნელობა და ექსპლუატაცია არ მოითხოვს დიდ ფართობს. შედარებით მცირე მოცულობებია საჭირო სატუმბი სადგურებისათვისაც, სადაც წარმოებს ჰიდრონარევის მომზადება და მილსადენებში დაჭირხვნა. აქ არ ხდება მანვან აირების გამოყოფა, რომლებიც დააბინძურებდნენ ატმოსფეროს. ჰიდროსატრანსპორტოსისტემის მილსადენები, როგორც წესი, მიწაზეა განლაგებული, ხშირად დაბალ საყრდენებზეც ათავსებენ მათ, იშვიათ შემთხვევაში კი - თხრილებში (ტრანშეებში) და ფარავენ გრუნტით. ძალზე იშვიათად, თუ გარდუვალია სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების გადაკვეთა, მილსადენებს ათავსებენ მაღალ

საყრდენებზე, ისე, რომ მათ ქვემოთ არსებული მიწები გამოყენებულ იქნეს სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულებისათვის. ყველა შემთხვევაში გარემო დაცულია დაბინძურებისაგან. რაც არ ხდება რკინიგზის, საავტომობილო ან კონვეიერული ტრანსპორტის შემთხვევაში, რომლებიც ატმოსფეროს გაჭუჭყიანებას იწვევენ.

მილსადენით ჰიდროტრანსპორტის განხორციელების შემთხვევაში გარემოს დაბინძურების საშიშროება მოსალოდნელია წარმოიშვას ავარიულ შემთხვევაში, თუ დაზიანდა მილსადენი, ჩამკეტ-მარეგულირებელი მოწყობილობა ან ტუმბო, როდესაც შესაძლებელია სისტემიდან ჰიდრონარევის გადმოღვრა. ასეთ შემთხვევაშიც კი გამორიცხულია ატმოსფეროს გაჭუჭყიანება, მცირე ტერიტორიების ჰიდრონარევისგან გაწმენდა კი არ წარმოადგენს რაიმე განსაკუთრებულ სიძნელეს. უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ექსპლუატაციისას პრაქტიკულად იშვიათია ასეთი შემთხვევებიც, რადგან განხორციელებულია მთელი რიგი ღონისძიებებისა, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ასეთი საშიშროება. ყველაზე საშიში ჰიდრავლიკური დარტყმებია, მაგრამ შექმნილია კონტროლის მაღალი საიმედოობის მეთოდები და საშუალებები. ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი სამუშაოებია შესრულებული ქართველი მეცნიერების მიერ. კერძოდ, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გ. წულუკიძის სახ. სამთო მექანიკის ინსტიტუტის მეცნიერ თანამშრომლების მიერ. მათ მიერ დამუშავებულ მეთოდებსა და მოწყობილობებს წარმატებით იყენებენ არა მარტო ჩვენს, არამედ მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. მათი რეალიზაცია პრაქტიკულად გამორიცხავს რაიმე სერიოზული ავარიული სიტუაციების შექმნის შესაძლებლობას.

ზოგჯერ წარმოშობა მდინარეების ან წყალსაცავების გადაკვეთის აუცილებლობა. ასეთ შემთხვევებში ჰიდრონარევის ტრანსპორტირებისათვის იყენებენ სპეციალური დანიშნულების სქელკედლიან მილსადენებს (დოუკერებს), რომელთა სიმტკიცე ისეა შერჩეული, რომ წნევის მატებამ ჰიდრავლიკური დარტყმების დროს ისინი ვერ დააზიანოს. მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა მილსადენების კოროზიულ დაცვასაც.

მილსადენი ჰიდროტრანსპორტის ექსპლუატაციის პირობები ითვალისწინებს მომსახურების ჯგუფს, რომელიც ვალდებულია სისტემატურად ადევნოს თვალყური სისტემაში მიმდინარე პროცესებს, საზომი და ჩამწერი ხელსაწყოების მდგომარეობას, ჰიდროდინამიკური პარამეტრების ცვალებადობას, აგრეთვე აწარმოოს ვიზუალური დაკვირვება სატუმბი სადგურისა, და მილსადენების მდგომარეობაზე.

თუ ჰიდრონარევის მიწოდების მანძილი დიდია და განხორციელებულია

ტუმბოების მიმდევრობით მუშაობა, ითვალისწინებენ სისტემის ავტომატურ და დისტანციურ მართვას, რომელსაც ეშსახურება ავარიული საშსახურის სპეციალური ჯგუფი, რომელიც ვალდებულია შეაგროვოს ინფორმაცია და მიაწოდოს ცენტრულ სადისპეტჩეროს. ხშირად ავიაციასაც კი იყენებენ სისტემის მდგომარეობის ვიზუალური და კვირვებისათვის.

ჰიდრონარეების ღია არხებითა და ღარებით ტრანსპორტირებაც არ იწვევს გარემოს დაბინძირებას, რადგან ტრანსპორტირების დროს არ ხდება რაიმე მანე ნივთიერებების გამოყოფა ატმოსფეროში. იშვიათ შემთხვევაში, თუ მოხდა მათგან ჰიდრონარეის გადმოდერა, იგი არავითარ საშიშროებას არ წარმოადგენს გარემოსათვის, რადგან სწრაფად ხდება მისგან დალექილი ადგილების გაწმენდა.

1. Юфин А.П. Гидромеханизация. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1974. - 223 с.
2. Силин Н.А., Витошкин Ю.К., Карасик В.М., Очеретько В.Ф. Гидротранспорт (вопросы гидравлики). Киев: Наукова думка, 1971. - 157 с.
3. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. Киев: Наукова думка, 1990.- 160 с.
4. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. Учебник для вузов. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1985. - 417 с.
5. Глевицкий В.И. Гидромеханизация в транспортном строительстве. Справочное пособие. М.: Транспорт, 1988. - 271 с.
6. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт (основы расчета). Издание 3-е перераб. и доп. М.: Недра, 1980. - 293 с.
7. Лобанов Д.П., Смолдырев А.Е. Гидромеханизация геологоразведочных и горных работ. М.: Недра, 1982.- 342 с.
8. Евстифеев В.Н. Трубопроводный транспорт пластичных и сыпучих материалов в строительстве. М.: Стройиздат, 1989. - 248 с.
9. Меламут Д.Л. Гидромеханизация в мелноративном и волохозяйствнном строительстве. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1981. - 303 с.
10. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов (59-72). Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1972.- 32 с.
11. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. Справочное пособие. М.: Недра, 1991. - 304 с.
12. Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш., Сулаберидзе Д.Г., Алехин Л.А. Надежность и долговечность напорных гидротранспортных систем. М.: Недра, 1984. - 119 с.
13. Руководство по защите напорных гидротранспортных систем от гидравлических ударов. ВСН-01-81. Тбилиси: Мецниереба, 1981. - 151 с.
14. Руководство по расчету долговечности трубопроводов гидротранспортных систем и методам ее повышения. ВСН-01-84. Тбилиси: Мецниереба, 1984. - 59 с.
15. Махарадзе Л.И., Кирмелашвили Г.И. Настационарные процессы в напорных гидротранспортных системах и защита от гидравлических ударов. Тбилиси: Мецниереба, 1986. - 153 с.

16. Махарадзе Л.И., Кирмелашвили Г.И. Гидравлический удар в трубопроводах при транспортировании многофазных гидросмесей. Тбилиси: Мецниереба, 1997. - 232 с.
17. Кондратьев А.С., Овсяников В.М., Олофинский Е.П., Степин Б.С., Чиненков И.А. Транспортирование водоугольных суспензий (гидродинамика и температурный режим). М.: Недра, 1988. - 213 с.
18. Грачева Л.И., Чижев А.Е., Сабитов В.В., Харламов Е.Т. Трубопроводный транспорт в сельском хозяйстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1974. - 140 с.
19. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. М.: Недра, 1985. - 192 с.
20. Гочиташвили Т.Ш. Гидроабразивный износ оборудования гидротранспортных систем. Тбилиси: Мецниереба, 1992. - 102 с.
21. Борохович А.И., Махарадзе Л.И., Куция М.Т., Гочиташвили Т.Ш. Надежность напорных гидростротранспортных систем. Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1992. - 224 с.
22. Силян Н.А., Коберник С.Г. Режимы крупных землесосных снарядов и трубопроводов. Киев: Изд-во АН Украины, 1962. - 232 с.
23. Коберник С.Г., Войтенко В.И. Нанорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. Киев: Наукова думка, 1967. - 139 с.
24. Спиваковский А.О. и др. Гидравлический и пневматический транспорт на горных предприятиях. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1962. - 251 с.
25. Трайнис В.В. Параметры и режимы гидравлического транспортирования угля по трубопроводам. М.: Наука, 1970. - 190 с.
26. Промышленный транспорт (справочник проектировщика). М.: Стройиздат, 1984. - 415 с.
27. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов (издание и-е, исправленное и дополненное). М.: Недра, 1975.-303с.
28. მახარაძე ლ., გოჩიტაშვილი თ., ჯანგიძე მ., მეტრეველი ვ. სამთო სამუშაოების ჰიდრომექანიზაცია (დამხმარე სახელმძღვანელო). თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1999 წ. - 154 გვ.
29. მახარაძე ლ. მეთოდური მითითებები სამთო სამუშაოებში ჰიდრომექანიზაციის გამოყენებისა და ჰიდროტრანსპორტის პარამეტრების გაანგარიშებისათვის. თბილისი: სპი-ს გამოც., 1986 წ. - 56 გვ.
30. მახარაძე ლ., ჯანგიძე მ., გოჩიტაშვილი თ. მეთოდური მითითებები

ამოვსების მასალების ჰიდროტრანსპორტირების პარამეტრების გაანგარიშებისათვის. თბილისი: სპი-ს გამოც., 1989 წ. - 71 გვ.

31. გოჩიტაშვილი თ. მეთოდური მითითებები სამთო საწარმოთა ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების და წყალამოსაღვერელი დანადგარების საიმედოობის გათვლისა და მოწყობილობათა ხანგამძლეობის გაზრდის მეთოდების შერჩევისათვის. თბილისი: სპი-ს გამოც., 1989 წ. - 66 გვ.

შესავალი	3
ძირითადი პირობითი აღნიშვნები	5
თავი 1. ჰიდროტრანსპორტი ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში	9
1.1. პორიზონტალურ მილსადენში დალექვის სხეულის წარმოქმნა	11
1.2. ნაწილობრივ დალექილ მილსადენში დალექილი შრის სიმაღლის ჰიდრონარევის სიჩქარისაგან დამოკიდებულება	12
1.3. ჰიდრონარევის მყარი ფაზის მოძრაობის ტალღური რეჟიმი	16
1.4. ჰიდროტრანსპორტორების ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრა ნაწილობრივ დალექილ მილსადენებში	18
თავი 2. ჰიდროტრანსპორტი ღარებსა და არხებში	31
2.1. ფხვიერი მყარი მასალის ჰიდროტრანსპორტირების პროცესი ღარებსა და არხებში	31
2.2. ფხვიერი მყარი მასალის უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდიკა	33
თავი 3. დამყარებული რეჟიმები ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში, ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები	38
3.1. ფხვიერი მყარი მასალების სადაწნეო მილსადენებით ჰიდროტრანსპორტირების გაანგარიშების პრაქტიკული მეთოდების საფუძვლები	39
3.1.1. ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებაზე დაფუძნებული ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი	40
3.1.2. ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი ნომოგრამების მიხედვით	41
3.1.3. ჰიდროტრანსპორტის ემპირიული ფორმულებით გაანგარიშების მეთოდი	42
3.1.4. ტურბულენტური ნაკადის მიერ შეტივტივებული მყარი ნაწილაკების გადატანაზე დაფუძნებული ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი	43
3.1.5. ჰიდრონარევის ნაკადის ლოკალურ და ინტეგრალურ მასსიათებლებს შორის დამყარებაზე დაფუძნებული ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი	44

3.2. სდაწნეო მილსადენი ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები	46
3.2.1. ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდის საერთო საფუძველი	46
3.2.2. სუფთა მზიდი სითხის გარემოს მოძრაობა	47
3.2.3. სუსპენზიების მოძრაობა	48
3.2.4. წმინდა დისპერსიული ჰიდრონარეკების მოძრაობა	51
3.2.5. წერილდისპერსიული ჰიდრონარეკების მოძრაობა	52
3.2.6. მსხვილდისპერსიული ჰიდრონარეკების მოძრაობა	53
3.2.7. პოლიდისპერსიული ჰიდრონარეკების მოძრაობა	53
3.2.8. სხვადასხვა მყარი მასალების მილსადენი ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები	56
თავი 4. დაუმყარებელი რეჟიმები ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში	61
4.1. დაუმყარებელი რეჟიმების წარმოშობის პირობები და მიზეზები	61
4.2. გარდამავალი რეჟიმები ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში	63
4.3. ჰიდრავლიკური დარტყმები ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში	67
4.4. ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების რეჟიმების სტაბილურობისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის მეთოდები და საშუალებები	79
თავი 5. ჰიდროაბრაზიული ცვეთა	83
5.1. ზოგადი ცნობები	83
5.2. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ფიზიკური არსი	84
5.3. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსიურობის დამოკიდებულებების კანონზომიერებები ჰიდროტრანსპორტირების ძირითადი პარამეტრებისაგან	88
5.4. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდები და საშუალებები	100
თავი 6. ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, მათი ამალლების საშუალებები, ეკოლოგიური ასპექტები	102
6.1. სამთო მრეწველობის ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები	105

6.2. პიდროსატრანსპორტოსისტემის ეფექტურობისა და საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებლები	106
6.3. პიდროტრანსპორტის ეკოლოგიური ასპექტები	111
ლიტერატურა	114