

ანზორ აბშილავა, ზაურ არაბიძე

წილისმულის გამდიდრების ბრავიტაციული
ტექნოლოგიის კვლევა

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანზორ აბშილავა, ზაურ არაბიძე

წილისეულის გამდიდრების ბრავიტაციული
ტექნოლოგიის კვლევა



დამტკიცებულია სალექციო კურსად
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს
მიერ. 28.02.2018, ოქმი №1

თბილისი
2018

სალექციო კურსში განხილულია მყარი წიაღისეულის გრავიტაციული გამდიდრების ტექნოლოგიის კვლევის კლასიკური და თანამედროვე მეთოდები. მოცემულია გრავიტაციული მანქანა-დანადგარების ტექნოლოგიური პარამეტრები და მათი რეგულირების საშუალებები, გრავიტაციული გამდიდრების ტექნოლოგიური მანქანების თეორიული მნიშვნელობების განსაზღვრის მეთოდები და ტექნოლოგიური სქემები.

გამოცემა განკუთვნილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „სამთო და გეოინჟინერიის“ სამაგისტრო საგანმანათლებლო პროგრამის სტუდენტებისათვის, აგრეთვე, გარკვეულ დახმარებას გაუწევს სამთო დარგში მომუშავე ახალგაზრდა სპეციალისტებს.

რეცენზენტები: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი დარეჯან თევზაძე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი გელა მაჩაიძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2018

ISBN 978-9941-28-166-2 (PDF)

<http://www.gtu.ge>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილის (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

წიგნში მოყვანილი ფაქტების სიზუსტეზე პასუხისმგებელია ავტორი/ავტორები.

ავტორის/ავტორთა პოზიციას შეიძლება არ ემთხვეოდეს საგამომცემლო სახლის პოზიციას.



შესავალი

ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წიაღისეული რესურსების ეფექტურ და კომპლექსურ გამოყენებას მრეწველობის სხვადასხვა დარგში.

მრეწველობის ყველა დარგის (მეტალურგია, ქიმიური, მანქანათმშენებლობა, სამშენებლო, ელექტროტექნიკური თუ სხვა დარგები) განვითარება განპირობებულია სხვადასხვა მინერალური ნედლეულის გამოყენებითა და მარაგით.

წიაღისეულის მარაგების გადიდების მნიშვნელოვანი წყაროა ღარიბი და რთული შედგენილობის მადნების მოპოვება და მათი კომპლექსური გამოყენება. ამ რთული ამოცანის გადაწყვეტის საქმეში პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა ენიჭება მინერალური ნედლეულის გამდიდრების ტექნიკისა და ტექნოლოგიების შემდგომ სრულყოფასა და განვითარებას მეცნიერების თანამედროვე მიღწევების საფუძველზე, ურომლისოდაც ამ რთული და მნიშვნელოვანი პრობლემების გადაწყვეტა შეუძლებელია. გრავიტაცია წიაღისეულთა გამდიდრების ერთ-ერთი უძველესი და ფართოდ გავრცელებული მეთოდია.

გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრებას ექვემდებარება წიაღისეულთა თითქმის ყველა სახეობა, როგორცაა: შავი, ფერადი, იშვიათი და კეთილშობილ ლითონთა მადნები, ნახშირები, სამშენებლო და სხვა არამადნეული წიაღისეული, რომელთა გამდიდრებისათვის გრავიტაცია, პრაქტიკულად, ეკონომიურად გამართლებული მეთოდია და მას სხვა ალტერნატივა არ გააჩნია.

წინამდებარე წიგნში განხილულია გამდიდრების გრავიტაციული ტექნოლოგიის წარმოშობისა და განვითარების ისტორია, პრაქტიკაში არსებული გრავიტაციული პროცესები და მათი კვლევა წიაღისეულის გამდიდრებადობის დასადგენად.

1. წიაღისეულთა გრავიტაციული გამდიდრების თანამედროვე მდგომარეობა და პერსპექტივები

1.1. გამდიდრების გრავიტაციული პროცესების განვითარების მოკლე ისტორია

გრავიტაცია, როგორც მინერალთა გაყოფის მეთოდი, უძველესი დროიდანაა ცნობილი. ადამიანმა ოქროს გამოყენება ჩვ. წ. აღ-მდე 6 ათასი წლის წინ დაიწყო, რაც არქეოლოგიური გათხრებითაა დადასტურებული. ამ პერიოდისათვის გამდიდრების პირველი ხერხი ხელით გარჩევა იყო, რომელიც შეცვალა მორეცხვამ.

ძვ. წ. VIII ს-ში შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთი (საქართველოს ტერიტორია) ცნობილი იყო ლითონისა და მადნეულის სიმდიდრით, ხოლო აქ მცხოვრები ქართული ტომები ძველთაგანვე განთქმული იყვნენ ლითონების მოპოვებისა და გადამუშავების ოსტატობით.

არქეოლოგიური გათხრებით დადგენილია, რომ ძვ. წ. III-II ათასწლეულებში საქართველოში, ეგვიპტეში, სამხრეთ ალტაისა და ურალის ტერიტორიაზე აწარმოებდნენ ოქროს ქვიშრობების გამდიდრებას მორეცხვით.

ჯერ კიდევ პეროდოტეს დროს (ძვ. წ. V ს.) ოქროსშემცველი ქვიშრობების გასამდიდრებლად მცირე ზომის ღარებსა და რაბებს იყენებდნენ.

თუ დასაწყისში მომრეცხი აპარატურა პრიმიტიულიყო, XIV–XV საუკუნეებში უკვე არსებულ მანქანებს ბევრი საერთო ჰქონდა თანამედროვე მანქანებთან.

გამდიდრების გრავიტაციული მეთოდის, როგორც მეცნიერულად დასაბუთებული საწარმოო პროცესის განვითარება, მე-19 ს-ის II ნახევრიდან იწყება.

გამდიდრების გრავიტაციული მეთოდის თეორიას საფუძვლად უდევს არქიმედეს (ძვ. წ. 287-219 წწ.) „წყლის ამომგდები ძალისა“ და ნიუტონის (1673-1727 წწ.) „სითხეში მოძრავი ბურთულის წინააღმდეგობის ძალის“ კანონები.

გრავიტაციული გამდიდრების თეორიის ფუძემდებლებად ითვლებიან გამოჩენილი მეცნიერები: გ. სტოქსი (ინგლისი, 1850), პ. რიტინგერი (გერმანია, 1867), ა. მონრო (საფრანგეთი, 1888), რ. რიჩარდი (აშშ, 1908), გ. ჩეჩოტი (რუსეთი, 1924), რომლებმაც შექმნეს გრავიტაციული პროცესების თეორიის საფუძვლები.

გამდიდრების გრავიტაციული მეთოდის თეორიისა და პრაქტიკის განვითარებაში დიდი ღვაწლი მიუძღვით მეცნიერებს: პ. ლიაშენკოს, ი. ვერხოვსკის, ი. პლაქსინს, ი. ფომინს, ვ. კლასენს, ს. მიტროფანოვს, პ. ხანკოკს, ა. ტაგარტს და სხვებს.

1. 2. გამდიდრების გრავიტაციული პროცესების კლასიფიკაცია

ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე ჩამოყალიბებულია გამდიდრების რამდენიმე მეთოდი (ფლოტაციური, მაგნიტური, ელექტრული, სპეციალური და სხვა), რომლებსაც საფუძვლად უდევს წიაღისეულის შემადგენელი მინერალების ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების სხვადასხვაობა.

ამ თვისებებს მიეკუთვნება: სიმკვრივე; მაგნიტური ამთვისებლობა; მინერალების ზედაპირული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები; ელექტროგამტარებლობა; ფერი და ელვარება; ფორმა; ხახუნისა და გაფართოების კოეფიციენტი; სიმაგრე; დრეკადობა და სხვა. აღნიშნული თვისებებიდან გამდიდრების გრავიტაციული მეთოდი ემყარება წიაღისეულის შემადგენელი მინერალების ფორმის, ზომისა და სიმკვრივეების სხვადასხვაობას.

ნებისმიერ გარემოში სხეულის ვარდნა წარმოებს გრავიტაციული (სიმძიმის) ძალის მოქმედებით, რომელიც სიდიდით ტოლია სხეულის წონისა. სხეულის სიმძიმის ძალის განსაზღვრის დროს აუცილებელია გავითვალისწინოთ არქიმედეს კანონი – სითხეში მოთავსებულ სხეულზე მოქმედებს ამომგდები ძალა, რომელიც სიდიდით ტოლია სითხეში ჩაძირული სხეულის მოცულობის სითხის წონისა. ე. ი, სითხეში მოთავსებული სხეული კარგავს მის მიერ გამოდევნილი სითხის წონის ტოლ წონას.

სითხეში მოთავსებული სხეულის წონა:

$$G_0 = G - P_a$$

სადაც $G = V\delta g$ — სხეულის სიმძიმის ძალაა;

$$P_a = V\Delta g \text{ — არქიმედეს ძალა;}$$

V — მინერალის მოცულობა, მ³;

δ და Δ — მინერალისა და სითხის სიმკვრივე, კგ/მ³.

გამოსახულებაში ჩავსვათ მათი მნიშვნელობა. მივიღებთ:

$$G_0 = V(\delta - \Delta) g,$$

სითხეში მოთავსებულ სხეულზე სიმძიმისა და ამომგდები ძალების მოქმედების დროს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს სამ შემთხვევას:

1. როდესაც სიმძიმის ძალა აღემატება ამომგდებ ძალას, სხეული იძირება;
2. როდესაც სიმძიმის ძალა ტოლია ამომგდები ძალის, სხეული წონასწორობაშია და რჩება შეწონილ მდგომარეობაში;

3. როდესაც სიმძიმის ძალა ნაკლებია ამომგდებ ძალაზე, სხეული ტივტივებს სითხის ზედაპირზე.

როდესაც ვადარებთ არქიმედეს ძალას სხეულზე მოქმედ სიმძიმის ძალას, ფაქტობრივად, ადგილი აქვს სითხისა და სხეულის სიმკვრივეთა სიდიდეების შედარებას, ამიტომ ზემოთ განხილულ სამივე შემთხვევას ადგილი ექნება მაშინ, თუ სათანადოდ დაცული იქნება პირობები:

1. $\delta > \Delta$
2. $\delta = \Delta$
3. $\delta < \Delta$

აღნიშნულიდან გამომდინარე, გამყოფ გარემოში სხეულის ვარდნის სიჩქარეზე გავლენას ახდენს მისი სიმკვრივე, სიმსხო, ფორმა, გარემოს წინააღმდეგობისა და სხვა მექანიკური ძალები.

მაშასადამე, გამდიდრების გრავიტაციული მეთოდი ეწოდება მინერალურ მარცვალთა ზომის, ფორმისა და სიმკვრივეების მიხედვით დაყოფის პროცესს, რომელიც განხორციელებულია დენად გარემოში სიმძიმისა და ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობის ძალების მოქმედებით.

გრავიტაციული გამდიდრების სახეობებია: დალექვა, გამდიდრება მძიმე სუსპენზიებში, საკონცენტრაციო მაგიდებზე, რაბებში და ღარებში, გამდიდრება ჰიდროციკლონებში და სხვა.

გრავიტაციული გამდიდრების თანამედროვე კლასიფიკაცია მოცემულია 1.1 ცხრილში.

ცხრილი 1.1

გრავიტაციული მეთოდების თანამედროვე კლასიფიკაცია

კლასიფიკაციის ნიშანი	გრავიტაციული მეთოდის სახე
გამყოფი გარემო	ჰიდრაულიკური; პნევმატიკური; სუსპენზიური.
პულსირებული ნაკადი	დალექვა (ჰიდრაულიკური და პნევმატიკური); გამდიდრება: ვიბროღარებში, პულსატორებში, პნევმატიკური სეპარაცია.
დახრილ სიბრტყეზე ჩამდინარე წყლის ჭავლი	გამდიდრება: ჭავლურ კონცენტრატორებში, ღარებში, რაბებში, ხრახნულ სეპარატორებზე, საკონცენტრაციო მაგიდებზე.
ძალოვანი ველი	გამდიდრება: გრავიტაციულ ველში; ცენტრიდანულ ველში (ჰიდროციკლონებში და ცენტრიფუგებში).
აღმავალი ნაკადი	კლასიფიკაცია (ჰიდრაულიკური და პნევმატიკური); მორეცხვა.

2. გამყოფი გარემოსა და მინერალური მარცვლების დახასიათება

2.1. მინერალური მარცვლების დახასიათება

მინერალები რამდენიმე ქიმიური ელემენტის ბუნებრივი ნაერთია. ბუნებაში ისინი გვხვდებიან ერთმანეთთან შეკავშირებული და დედამიწის ქერქში წარმოქმნიან წიაღისეულს ან მთის ქანს. დღეისათვის ცნობილია დაახლოებით 3000 მინერალი, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდებიან ქიმიური შემადგენლობით, ფიზიკურ-ქიმიური, ფიზიკური და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით. აღნიშნული თვისებებიდან გამდიდრების გრავიტაციულ პროცესებში გამოყენებულია მინერალების სიმკვრივეების, სიმსხოსა და ფორმის სხვადასხვაობა. მინერალების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები მოცემულია დანართში (ცხრ. 1).

სიმკვრივე – ნივთიერების ერთეულოვანი მოცულობის მასას სიმკვრივე ეწოდება. ე.ი. მინერალის სიმკვრივე არის სიდიდე, რომელიც იზომება მასისა და მოცულობის ფარდობით:

$$\delta = \frac{m}{v}$$

სადაც:

დარის მინერალის სიმკვრივე, კგ/მ³;

m – მინერალის მასა, კგ;

v – მინერალის მოცულობა ფორების გარეშე, მ³.

მინერალის სიმკვრივე დამოკიდებულია მის შედგენილობაზე.

ზოგიერთი მინერალის სიმკვრივის მნიშვნელობა მოცემულია დანართში (ცხრ.1).

რაც უფრო დიდია გასაყოფი მინერალების სიმკვრივეთა შორის სხვაობა, მით უფრო მაღალია გრავიტაციული გამდიდრების ეფექტურობა.

სისხო – მინერალის სისხო განისაზღვრება მისი ხაზოვანი ზომებით. როდესაც ხაზოვანი ზომები ერთმანეთს უახლოვდება, მაშინ მარცვლის ზომას საზღვრავენ სფეროს „ეკვივალენტური დიამეტრით“. d_s - თი, რომლის მოცულობა $v = \frac{\pi d^3}{6}$,

$$\text{საიდანაც } d_s = \sqrt[3]{\frac{6v}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\delta}} = 1,24\sqrt[3]{\frac{m}{\delta}}.$$

გრავიტაციული მეთოდით შესაძლებელია გამდიდრდეს მსხვილმარცვლოვანი ჩაწინწკლულობის წიაღისეული, მაქსიმალური (0.3 – 0.4) მ და მინიმალური - 0.0001 მ ზომით.

ფორმა – მარცვლის ფორმა დამოკიდებულია მინერალის ბუნებაზე. ქვიშრობული საბადოს მადნის მინერალურ მარცვალს აქვს დამრგვალებული ფორმა. დანალექი საბადოს მადნის მინერალურ მარცვლებს აქვს უსწორმასწორო ფორმა, ზოგჯერ კრისტალის ფორმის მსგავსი. ნახშირს აქვს კუთხოვანი ფორმა, ფიქალს – ფირფიტოვანი, აზბესტს – ნემსისებური, მაგნეტიტს – კუბური. მარცვლის ფორმა ხასიათდება ფორმის კოეფიციენტით:

$$\varphi = \frac{S_b}{S} = \frac{4,87v^{2/3}}{S},$$

სადაც

φ – ფორმის კოეფიციენტია;

S_b – სფეროს ზედაპირი;

S – უსწორმასწორო ფორმის მარცვლის ზედაპირი.

მარცვლის ფორმის კოეფიციენტის მნიშვნელობები მოცემულია ქვემოთ:

სფერული ფორმის მარცვლისათვის $\varphi = 1$;

დამრგვალებული ფორმის მარცვლისათვის $\varphi = 0,8-0,9$;

კუთხოვანი ფორმის – $\varphi=0,7-0,8$

ფირფიტოვანი ფორმის – $\varphi=0,6-0,7$

ფირფიტოვანი ფორმის მარცვლის ვარდნის სიჩქარე შედარებით ნაკლებია, ვიდრე დამრგვალებულის, რაც გრავიტაციული გამდიდრების ერთ-ერთი განმასხვავებელი ნიშანია.

2. 2. გამყოფი გარემოს დახასიათება

გამყოფ გარემოდ, რომელშიც წარმოებს მინერალურ მარცვალთა დაყოფა, შეიძლება გამოყენებული იქნეს წყალი, მძიმე სითხე, მინერალური სუსპენზია და ჰაერი.

მარგი წიაღისეულის გრავიტაციული გამდიდრების ეფექტურობა დამოკიდებულია გამყოფი გარემოს რეოლოგიურ პარამეტრებზე: სიმკვრივეზე; სიბლანტესა და მდგრადობაზე.

გამყოფიგარემოს სიმკვრივე (Δ) არის მისი მასის (m) ფარდობა მის მოცულობასთან: $\Delta = \frac{m}{v}$.

სიმკვრივესა და „კუთრი წონის“ ცნებებს შორის მჭიდრო კავშირია, რომელთა ერთმანეთთანდამოკიდებულება შეიძლება დავადგინოთ ნიუტონის მეორე კანონით:

$$P = m g$$

სადაც g სიმძიმის ძალის აჩქარებაა $g=9,81 \text{ მ/წმ}^2$

თუ ამ ტოლობას გავეყოფთ V მოცულობაზე, მივიღებთ დამოკიდებულებას კუთრ წონასა და სიმკვრივეს შორის:

$$\rho = \Delta g$$

სადაც ρ გარემოს კუთრი წონაა, კგ/მ³;

წყლის სიმკვრივე $\Delta=1000 \text{ კგ/მ}^3$, ჰაერის სიმკვრივე $\Delta= 1,23 \text{ კგ/მ}^3$.

მარგი წიაღისეულის გამდიდრებადობის შესასწავლად გამოიყენება სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობის მძიმე სითხეები (ცხრილში 2.1).

ცხრილში მოყვანილი მძიმე სითხეებიდან, რომლებიც კარგად იხსნებიან წყალში შესაძლებელია დამზადდეს სხვადასხვა სიმკვრივის ხსნარი (ცხრილი 2.2).

ორგანული მძიმე სითხეები და მარილთა ხსნარები ძვირად ღირებულია, ტოქსიკურია, რეგენერაცია რთულია, ამიტომ მათი გამოყენება წარმოებაში არარენტაბელურია, ისინი ძირითადად გამოიყენება ლაბორატორიული კვლევისათვის ფრაქციული ანალიზის ჩასატარებლად.

ცხრილი 2.1

მძიმე სითხეების დახასიათება

№	მძიმე სითხე	ქიმიური ფორმულა	სიმკვრივე, კგ/მ ³	წყალში ხსნადობა	ხსნარის ფერი
1	ქლოროვანი თუთია	ZnCl ₂	2500	ხსნადი	უფერო
2	ქლოროვანი კალციუმი	CaCl ₂	2500	„ --- „	„ --- „
3	ბრომოფორმი	CHBr ₂	2890	„ --- „	„ --- „
4	ტულებს სითხე	HgI ₂ +KI	3170	„ --- „	„ --- „
5	რორბახის სითხე	BaI ₂ +HgJ ₂	3500	„ --- „	ყვითელი
6	იოდოვანი მეთილინი	CH ₂ I ₂	3320	უხსნადი	უფერო
7	კლერიჩის სითხე	CH ₂ (COOTi) ₂ HCOON ₂	4250	ხსნადი	ყვითელი

სხვადასხვა სიმკვრივის ZnCl₂-ს და ტულებს წყალხსნარები

წყალხსნარის სიმკვრივე, კგ/მ ³	წონითი შემცველობა, %		წყალხსნარის სიმკვრივე, კგ/მ ³	მოცულობითი შემცველობა, %	
	ქლოროვანი თუთია	წყალი		ტულებს სითხე	წყალი
1300	31	69	1500	25	75
1400	39	61	2100	50	50
1500	46	54	2700	75	25
1600	52	48	3170	100	-
1700	58	42			
1800	60	40			
2000	72	28			
2500	100	-			

წიაღისეულის გამდიდრების პრაქტიკაში მძიმე გარემოდ გამოიყენება მინერალური სუსპენზია. სუსპენზია ორფაზოვანი სისტემაა. იგი წარმოადგენს წყლისა და წვრილად დაფქვილი მინერალური მარცვლების მექანიკურ ნარევს.

წყალში შეტივტივებულ მყარ მარცვლებს დამამძიმებელი ანუ სუსპენზიოიდი ეწოდება.

დამამძიმებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას: ფეროსილიციუმი, გალენიტი, მაგნეტიტი, ბარიტი, კვარცი და სხვა.

სუსპენზიის სიმკვრივე ერთეულოვანი მოცულობის სუსპენზიის წონას სიმკვრივე ეწოდება. სუსპენზიის სიმკვრივე დამოკიდებულია დამამძიმებლის სიმკვრივეზე და მის მოცულობით კონცენტრაციაზე. თუ სუსპენზიაში დამამძიმებლის სიმკვრივეს აღვნიშნავთ - δ -თი მის მოცულობით კონცენტრაციას C -თი, მაშინ სუსპენზიის სიმკვრივე:

$$\Delta_s = c\delta + \Delta(1-c) = c(\delta - \Delta) + \Delta$$

$$C = \frac{\Delta_s - \Delta}{\delta - \Delta} \cdot 100\%$$

Δ - სუფთაწყლის სიმკვრივე $\Delta = 1000$ კგ/მ³.

სუსპენზიის სიბლანტე, სითხის თვისებას, გაუწიოს წინააღმდეგობა მოსაზღვრე შრეების ურთიერთგადაადგილებას, სიბლანტე ეწოდება. ანასხვავენ დინამიკურ

სიბლანტეს μ (პა.წმ) და კინემატიკურ სიბლანტეს, რომელიც ტოლია დინამიკური სიბლანტის ფარდობისა წყლის სიმკვრივესთან:

$$\nu = \frac{\mu}{\Delta}.$$

სუსპენზიის სიბლანტეზე გავლენას ახდენს არამარტო სითხის ფენების ურთიერთგადაადგილების დროს წარმოშობილი ხახუნის ძალები, რომლებიც განპირობებულია მოლეკულათა ურთიერთმიზიდულობის ძალებით, არამედ ასევე სუსპენზიაში შეტივტივებული დამამძიმებლის მარცვლების ურთიერთქმედების ძალებით.

რაც უფრო დიდია დამამძიმებლის მოცულობითი კონცენტრაცია სუსპენზიაში, მით მცირეა მყარ მარცვლებს შორის მანძილი და, შესაბამისად დიდია ურთიერთქმედი ძალები. დამამძიმებლის დიდი მოცულობითი კონცენტრაციის დროს მარცვლები ისე უახლოვდება ერთიმეორეს, რომ წარმოქმნიან ერთ მთლიან აგრეგატს და სუსპენზია კარგავს დენადობის თვისებას. სუსპენზიის სიბლანტე ძირითადად დამოკიდებულია დამამძიმებლის მოცულობით კონცენტრაციაზე და მის გრანულომეტრულ შედგენილობაზე.

პრაქტიკაში მინერალური სუსპენზიის სიბლანტის საანგარიშოდ გამოიყენება აინშტაინისა და ვანდას ემპირიული ფორმულები:

$$\mu = \mu_0 (1+2,5C)$$

$$\mu = \mu_0 (1+2,5 C +7,349 C^2 + 16 \cdot 2 C^3 + \dots),$$

სადაც μ_0 სუფთა წყლის სიბლანტეა, $\mu_0 = 0,001$ პა.წმ;

2,5 – აინშტაინის მუდმივა;

C – დამამძიმებლის მოცულობითი კონცენტრაცია სუსპენზიაში.

აინშტაინის ფორმულა გამოიყენება, როდესაც $C \leq 3 \div 5\%$, ხოლო ვანდას - როდესაც $C \leq 40(50) \%$.

აინშტაინისა და ვანდას ფორმულებით შესაძლებელია განისაზღვროს სუსპენზიის სიბლანტის მიახლოებითი მნიშვნელობა.

სუსპენზიის სიბლანტის აბსოლუტური სიდიდე, როგორც წესი, არ აღემატება 0.01–0.15 პა.წმ-ს, რაც შეესაბამება 40-მდე დამამძიმებლის მოცულობით კონცენტრაციას.

სუსპენზიის მდგრადობა. სუსპენზიის თვისებას, შეინარჩუნოს ნებისმიერ შრეში მუდმივი სიმკვრივე, მდგრადობა ეწოდება.

სუსპენზიები მდგრადობის მიხედვით იყოფა სამ ჯგუფად:

არამდგრადი (უხემდისპერსიული სუსპენზია);

მდგრადი (კოლოიდური სუსპენზია);

სტაბილური (სუსპენზიის მდგრადობა შენარჩუნებულია სტაბილიზაციით).

გამდიდრების პრაქტიკაში ცნობილია სუსპენზიის სტაბილურობის შენარჩუნების შემდეგი ხერხები:

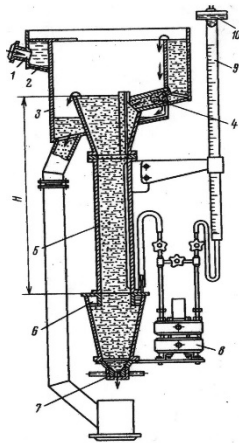
1. სუსპენზიის განუწყვეტელი არევა;
2. აღმავალი ნაკადის წარმოქმნა;
3. მასტაბილიზებელი კოლოიდური ნივთიერებების დამატება;
4. მექანიკურად მდგრადი სუსპენზიის გამოყენება.

3. გარემოს რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები

გამყოფი გარემოს რეოლოგიურ პარამეტრებს მიეკუთვნება სიმკვრივე, სიბლანტე და მდგრადობა; მათი განსაზღვრის ამა თუ იმ მეთოდის შერჩევა დამოკიდებულია მათ ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე.

3.1. სუსპენზიის ხვედრითი წონისა და სიბლანტის განსაზღვრა

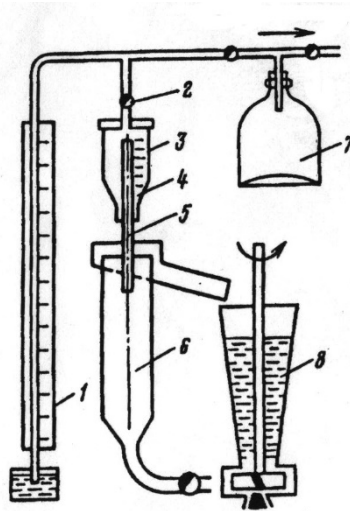
მძიმე სითხეების სიმკვრივეს საზღვრავენ არეომეტრით. პულპისა და სუსპენზიის სიმკვრივის გასაზომად გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის ავტომატური სიმკვრივეზომები: წონითი, აერომეტრული, პიეზომეტრული, ჰიდროსტატიკური, მანომეტრული, ელექტრომაგნიტური და რადიომეტრული. ნახშირგამამდიდრებელ ფაბრიკებში ფართოდ გამოიყენება PPCM ტიპის მანომეტრული სიმკვრივეზომი (სურ. 3.1).



სურ. 3.1. PPCM ტიპის მანომეტრული სიმკვრივეზომი

1,4 – მილყელი; 2 – ჰაერგამანაწილებელი; 3 – შემკრები; 5 – დიაფრაგმენტი; 9 – კომპენსატორის მილი; 10 – ჰიდრაულიკური კომპენსატორი.

სუსპენზიის განსაზღვრა ჩვეულებრივი ვისკოზიმეტრის საშუალებით შეუძლებელია დამამძიმებლის მარცვლების დალექვის გამო. გამდიდრების პრაქტიკაში გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის ვისკოზიმეტრი: კაპილარული, როტაციული, ელექტრომექანიკური. აღნიშნული ვისკოზიმეტრებიდან ყველაზე ფართოდ გამოიყენება მეხანობრის კაპილარული ვისკოზიმეტრი (სურ. 3.2).



სურ. 3. 2. მეხანობრის კაპილარული ვისკოზიმეტრი:

- 1 – მანომეტრი; 2 – სამსვლიანი ონკანი;
- 3 – ვისკოზიმეტრის რეზერვუარი;
- 4 – სუსპენზიის დონის მზომი;
- 5 – კაპილარული მილი;
- 6,7 – რეზერვუარი; 8 – ზუმფი.

სუსპენზიის სიბლანტის განსაზღვრა შესაძლებელია აგრეთვე მარტივი, ამრეკ-მექანიზმიანი კაპილარული ვისკოზიმეტრით (სურ. 3. 3), რომელიც წარმოადგენს 100 სმ³ ტევადობის ცილინდრულ ჭურჭელს, კაპილარული მილით. ცილინდრულ მილში ისხმება გამოსაკვლევი სუსპენზია; იმისათვის, რომ თავიდან ავიცილოთ დამაბზიბებლის მარცვლების დაღეკვა, წარმოებს სუსპენზიის განუწყვეტელი არევა.

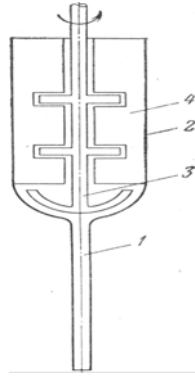
ცდის ჩატარების მეთოდის მდგომარეობს შემდეგში: ცილინდრულ მილში ათავსებენ სუფთა წყალს, და ინიშნავენ კაპილარული მილიდან წყლის გამოდინების დროს. ცდას ანალოგიურადიმეორებენ სუსპენზიისათვის. სუსპენზიის სიბლანტე გამოითვლება ფორმულით:

$$\mu_s = \mu_0 \frac{\Delta_s t_s}{\Delta_{\text{წყ}} t_{\text{წყ}}}$$

სადაც μ_0 წყლის სიბლანტეა, $\mu_0 = 0,001$ პა.წმ;

Δ_s , $\Delta_{\text{წყ}}$ – სუსპენზიისა და წყლის სიმკვრივე, კგ/მ³;

t_s , $t_{\text{წყ}}$ – სუსპენზიისა და წყლის გამოდინების დრო, წმ.



სურ. 3.3 კაპილარული ვისკოზიმეტრი:

1-კაპილარი; 2-რეზერვუარი;

3-ამრევი; 4-ამრიდი.

3. 2. სუსპენზიის მომზადება

როგორც აღვნიშნეთ, სუსპენზია ორფაზოვანი სისტემაა, რომლის ძირითად ფაზას წარმოადგენს დამამძიმებელი. დამამძიმებლის მომზადების ტექნოლოგიური სქემის სირთულე დამოკიდებულია შერჩეული მასალის სახეობსა და მის საწყის ზომაზე. დამამძიმებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მთელი რიგი ბუნებრივი მძიმე მინერალები და აგრეთვე სხვადასხვა წარმოების ნარჩენები. დამამძიმებელი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს:

1.დამამძიმებლის ხვედრითი წონა, მინიმუმ, 2-ჯერ უნდა აღემატებოდეს სუსპენზიის სიმკვრივეს.

დამამძიმებლის მაქსიმალური მოცულობითი კონცენტრაცია სუსპენზიაში არ უნდა აღემატებოდეს 40-42 %-ს. თუ დამამძიმებლის კონცენტრაცია 40%-ზე მეტია, მაშინ სუსპენზია კარგავს დენადობის თვისებას და გამდიდრების ტექნოლოგიური პროცესებისათვის გამოუსადეგარია.

2.დამამძიმებელი პრაქტიკულად არ უნდა იხსნებოდეს წყალში, ქიმიურად ინერტული უნდა იყოს და ახასიათებდეს მექანიკური მდგრადობა.

3.დამამძიმებელი უნდა იყოს შედარებით იაფი. ადვილი უნდა იყოს დამამძიმებლის რეგენერაცია ანუ აღდგენა. თუ დამამძიმებლად გამოიყენება ფეროსილიციუმი, რომლის ნატეხის ზომა 200-300 მმ-ს აღწევს, მაშინ მომზადების ტექნოლოგიურ სქემაში გათვალისწინებული უნდა იყოს ორსტადიური დამსხვრევა 15 მმ-მდე და წმინდა დაფქვა საკონტროლო კლასიფიკაციით. თუ დამამძიმებლად

გამოყენებულია მაგნეტიტი, რომელიც რკინის მამდიდრებელი ფაბრიკის კონცენტრატია, ასეთი მასალა წარმოადგენს მზა სუსპენზიოდს.

მოცემული სიმკვრივის სუსპენზიის მოსამზადებლად აუცილებელია გაანგარიშებულ იქნეს სუსპენზიოდისა და წყლის რაოდენობა. 1 მ³ სუსპენზიის დასამზადებლად საჭირო სუსპენზიოდისა და წყლის რაოდენობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

სუსპენზიოდის რაოდენობა

$$T = \frac{\delta(\Delta - 1)}{\delta - 1},$$

წყლის რაოდენობა

$$W = 1000 - \frac{T}{\delta},$$

სადაც: T-არის სუსპენზიოდის რაოდენობა, კგ;

δ- სუსპენზიოდის კუთრი წონა, კგ/მ³;

Δ- სუსპენზიის სიმკვრივე, კგ/მ³.

სუსპენზიოდის მოცულობითი კონცენტრაცია განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$C = \frac{\Delta - 1000}{\delta - 1000} \cdot 100\%.$$

სუსპენზიაში სუსპენზიოდისა და წყლის წონითი რაოდენობა გამოითვლება აგრეთვე შემდეგი ემპირიული ფორმულებით:

სუსპენზიოდის რაოდენობა

$$T = W_n \delta C$$

წყლის რაოდენობა

$$W = W_n(1 - C)$$

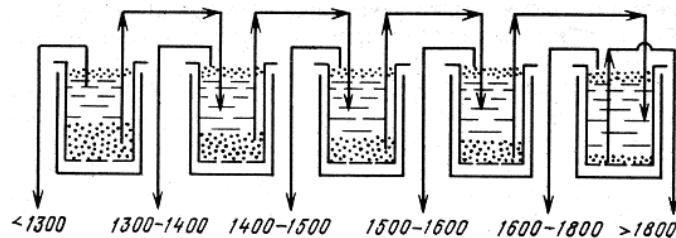
სადაც W_n-არის სუსპენზიის რაოდენობა, მ³.

4. წიაღისეულთა გრავიტაციული გამდიდრების თეორიული მაჩვენებლების განსაზღვრის მეთოდები

4.1. წიაღისეულთა ფრაქციული შედგენილობა

წიაღისეულთა გრავიტაციული გამდიდრების ტექნოლოგიური მაჩვენებლების თეორიული მნიშვნელობები განისაზღვრება ფრაქციული ანალიზის შედეგების საფუძველზე. ფრაქციული ანალიზი ეწოდება წიაღისეულთა სხვადასხვა სიმკვრივის ფრაქციებად დაყოფის პროცესს: ფრაქციული ანალიზისათვის აიღება სინჯი, რომლის წონა დამოკიდებულია მასალის სახეობასა და სინჯში მაქსიმალური ნატეხის ზომაზე. საანალიზო სინჯს მორეცხავენ შლამების მოცილების მიზნით, გამოაშრობენ და ანშრევენ სხვადასხვა კუთრი წონის მქონე მძიმე სითხეში. ნახშირების ფრაქციული ანალიზისათვის გამოიყენება $ZnCl_2$ -ის მარილის წყალხსნარი, ხოლო მადნების ფრაქციული ანალიზისათვის – რორბახისა და ტულეს მარილთა ხსნარები.

ფრაქციული ანალიზის ჩასატარებლად საანალიზო სინჯს ათავსებენ პერფორირებულ ფსკერიან ჭურჭელში, რომელსაც ათავსებენ თანმიმდევრულად სხვადასხვა კუთრი წონის მქონე მძიმე სითხეში. ნახშირების ფრაქციული ანალიზის ჩასატარებლად ამზადებენ 1300; 1400; 1500; 1600; 1800 კგ/მ³ კუთრი წონის $ZnCl_2$ – ისმარილთა წყალხსნარს. პირველ რიგში საანალიზო სინჯს ათავსებენ 1300 კგ/მ³ სიმკვრივის სითხეში. მინერალები, რომელთა კუთრი წონა მცირეა სითხის სიმკვრივეზე, ატივტივდება, ხოლო მინერალები, რომელთა კუთრი წონაც აღემატება 1300-ს, ჩაიძირება. ატივტივებულ ფრაქციას ამოიღებენ, მორეცხავენ ჯერ ცხელი, მერე ცივი წყლით, გააშრობენ, შეკვებავენ და სინჯის ნაწილს გადასცემენ ქიმიურ ლაბორატორიას. ზემოთ აღნიშნული ფრაქციული ანალიზის ჩატარების პროცესი სქემატურად გამოისახება შემდეგი სახით (სურ. 4.1).



სურ. 4.1. მძიმე სითხეში ნახშირის განშრეების სქემა

ფრაქციული ანალიზის შედეგები შეიტანება სპეციალური ფორმის 4.1 ცხრილში.

ფრაქციული ანალიზის შედეგები

ფრაქციის სიმკვრივე, კგ/მ ³	γ, %	A ^c , %	γ A ^c	მსუბუქი ფრაქცია			მძიმე ფრაქცია		
				Σγ, %	Σγ A ^c	A ^c _{საშ} , %	Σγ, %	Σγ A ^c	A ^c _{საშ} , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-1300	55,9	4,8	268,3	55,9	268,3	4,8	100,0	2306,0	23,0
1300-1400	9,4	10,1	94,9	65,3	365,6	5,6	44,1	2033	46,1
1400-1500	7,6	18,6	141,3	72,9	503	6,9	34,7	1940	55,9
1500-1600	3,3	30,0	99	76,2	601,9	7,9	27,1	1797	66,3
1600-1800	3,1	45,9	142,2	79,3	745,4	9,4	23,8	1699	71,4
-1800	20,7	75,2	1556,6	100	2300	23	20,7	1557	75,2
	100	23							

მე-5 გრაფა ივსება მსუბუქი ფრაქციის გამოსავალთა (გრაფა 2) თანმიმდევრული შეჯამებით.

$$\Sigma\gamma_{1300-1400} = 55,9 + 9,4 = 65,3;$$

$$\Sigma\gamma_{1400-1500} = 65,3 + 7,6 = 72,9.$$

მე-6 გრაფა ივსება მსუბუქი ფრაქციის გამოსავლისა და ნაცრიანობის ნამრავლთა თანმიმდევრული შეჯამებით.

მე-7 გრაფა ივსება შეჯამებული მსუბუქი ფრაქციის საშუალო ნაცრიანობის გათვლით:

$$A_{\text{საშ}}^c = \frac{\Sigma\gamma A^c}{\Sigma\gamma} \%$$

ანალოგიურად გაითვლება მძიმე ფრაქციის პარამეტრები. ფრაქციული ანალიზის შედეგების საშუალებით განისაზღვრება გრავიტაციული გამდიდრების ტექნოლოგიური მაჩვენებლების თეორიული მნიშვნელობები (ცხრ. 4.2). დაეუშვათ, კონცენტრატული ფრაქციის გამყოფი სიმკვრივეა 1500 კგ/მ³, მაშინ კონცენტრატული ფრაქცია იქნება ნაკლები 1500 კგ/მ³-ზე, შუალედური პროდუქტიული ფრაქციის სიმკვრივე იქნება 1500-1800 კგ/მ³, ხოლო კკუდების ფრაქცია მეტი იქნება 1800 კგ/მ³

გამდიდრების პროდუქტთა თეორიული ბალანსი

გამდიდრების პროდუქტები	გამოსავალი γ %	ნაცრიანობა A ^c %
კონცენტრატი	72,9	6,9
შუალედური პროდუქტი	6,4	37,6
კუდები	20,7	75,2
საწყ. ნახშირი	100,0	23

4.2. წიაღისეულთა გამდიდრების შეფასება

გამდიდრების პროდუქტების ტექნოლოგიური მაჩვენებლების თეორიული მნიშვნელობების საფუძველზე ანუ ფრაქციული ანალიზის შედეგების საშუალებით განისაზღვრება ნახშირების გამდიდრების კატეგორია. ნახშირები გამდიდრებადობის მიხედვით იყოფა ოთხ კატეგორიად:

I. – თუ ფრაქციული ანალიზიდან შუალედური პროდუქტის გამოსავალი მცირეა 4 %-ზე, ასეთი ნახშირები მიეკუთვნება ადვილად გასამდიდრებელ ნახშირებს;

II. — თუ შუალედური პროდუქტის გამოსავალი ცვალებადობს 4-10-% მდე, მაშინ ასეთი ნახშირები მიეკუთვნება საშუალო გამდიდრებადობის ნახშირებს;

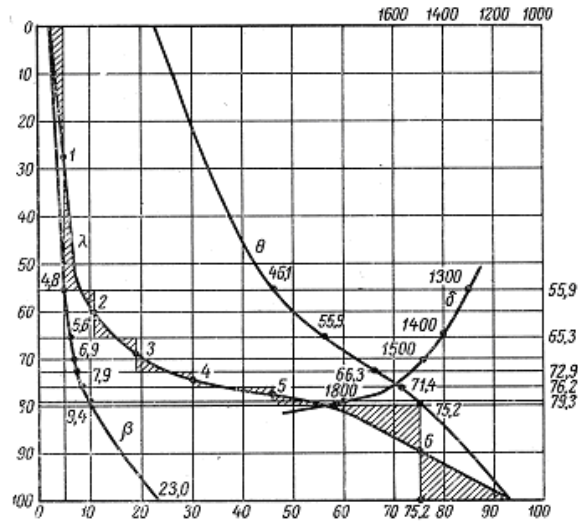
III. — თუ შუალედური პროდუქტის გამოსავალი ცვალებადობს 10-17-% მდე, მაშინ ასეთი ნახშირები მიეკუთვნება ძნელად გასამდიდრებელ ნახშირებს;

IV. — თუ შუალედური პროდუქტის გამოსავალი აღემატება 17%-ს, მაშინ ასეთი ნახშირები მიეკუთვნება ძალიან ძნელად გასამდიდრებელ ნახშირებს.

ჩვენ მიერ განხილულ მაგალითში შუალედური პროდუქტის გამოსავალი 6,4 %-ია; ე. ი., აღნიშნული ნახშირი მიეკუთვნება საშუალო გამდიდრებადობის კატეგორიას.

ფრაქციული ანალიზის შედეგების გრაფიკულ გამოსახულებას გამდიდრებადობის მრუდები ეწოდება. გამდიდრებადობის მრუდებს აგებენ მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში მასშტაბით 200X200 მმ, ორდინატზე გადაიზომება გამოსავალი ზემოდან ქვემოთ, ხოლო აბსცისაზე – ფრაქციის ნაცრიანობა მასშტაბით: 1 მმ შეესაბამება 0,50 ნაცრიანობას.

გამდიდრებადობის მრუდები (სურ. 4.2) აიგება ფრაქციული ანალიზის შედეგების საფუძველზე (ცხრ. 4.1).



სურ. 4.2 გამდიდრებადობის მრუდები.

λ – გასამდიდრებელი მასალის მრუდი; β – მსუბუქი ფრაქციის მრუდი; Θ – მძიმე ფრაქციის მრუდი; δ – სიმკვრივის მრუდი.

საწყისი მასალის მრუდი აიგება ჯამურ გამოსავალსა და ელემენტარული ფრაქციის ნაცრიანობას შორის, რომელიც აღინიშნება λ ასოთი; მსუბუქი ფრაქციის მრუდი აიგება ჯამურ გამოსავალსა და მსუბუქი ფრაქციის საშუალო ნაცრიანობას შორის, აღინიშნება β - თი; მძიმე ფრაქციის მრუდი აიგება მძიმე ფრაქციის ჯამურ გამოსავალსა და საშუალო ნაცრიანობას შორის, აღინიშნება Θ - თი.

სიმკვრივის მრუდი აიგება ჯამურ გამოსავალსა და ფრაქციის სიმკვრივეებს შორის, აღინიშნება δ -თი.

გამდიდრების მრუდების საშუალებით განისაზღვრება გრავიტაციული გამდიდრების ტექნოლოგიური მაჩვენებლების თეორიული მნიშვნელობები.

4.3. გრავიტაციული პროცესების ეფექტურობა

გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრების ყველა აპარატურისათვის ტექნოლოგიური ეფექტურობის კრიტერიუმს წარმოადგენს წიაღისეულის სიმკვრივეების მიხედვით დაყოფის სიზუსტე. პრაქტიკულად წიაღისეულის სიმკვრივეების მიხედვით დაყოფის სიზუსტე განისაზღვრება გამდიდრების პროდუქტების ფრაქციული ანალიზის შედეგების საფუძველზე.

გამდიდრების პროდუქტების ურთიერთდანაგვიანება თვალსაჩინო წარმოდგენას იძლევა გამამდიდრებელი აპარატურის დაყოფის ხარისხზე, მაგრამ შეფასების ასეთი

ხერხი აძნელებს სხვადასხვა მეთოდით ან სხვადასხვა რეჟიმით მომუშავე გამამდიდრებელი აპარატურის ტექნოლოგიური ეფექტურობის შედარებას.

გრაფიტაციული გამდიდრების პროცესში წიაღისეულთა სიმკვრივეების მიხედვით დაყოფის ეფექტურობა განისაზღვრება ჰენკოკ-ლუიკენის ფორმულით:

$$E = \frac{\gamma_{\beta}(\beta_{\beta} - \alpha)}{\alpha(100 - \alpha)} \cdot 100\%,$$

სადაც

E არის გამდიდრების პროცესის ეფექტურობა, %;

γ — კონცენტრატის გამოსავალი, %;

α — საწიის მასალაში სასარგებლო კომპონენტის შემცველობა, %;

β — კონცენტრატში სასარგებლო კომპონენტის შემცველობა, %.

გარდა აღნიშნული ფორმულებისა, დაყოფის ეფექტურობა განისაზღვრება გრაფიკულად, გამდიდრების პროდუქტებში სხვადასხვა სიმკვრივის ფრაქციების განაწილების ტრომპ-გერას მრუდის საშუალებით (სურ. 4.3), რომელიც აიგება გამდიდრების პროდუქტების (კონცენტრატის $\gamma_1=54.4\%$ და კუდების $\gamma_2=45.6\%$) ფრაქციული ანალიზის შედეგების საფუძველზე (ცხრ. 4.3).

ცხრილი 4.3

გამდიდრების პროდუქტების ფრაქციული ანალიზის შედეგები

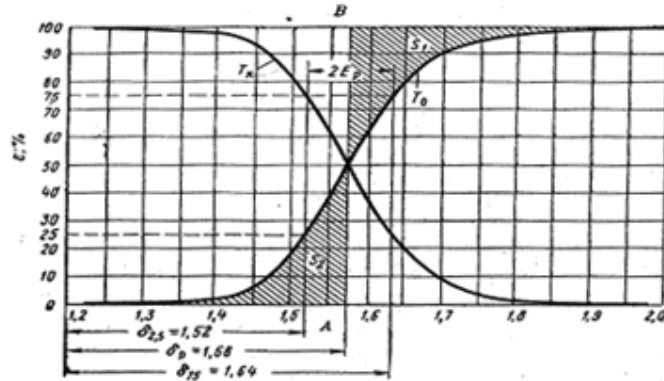
ფრაქციის სიმკვრივე, კგ/მ ³	ფრაქციის საშუალო სიმკვრივე, მს/მ ³	ამოსავალი, %	კონცენტრატი $\gamma = 54.4\%$		კუდები $\gamma_2=45.6\%$	
			კონცენტრატული ფრაქციის გამოსავალი, γ_{β} %	ამოკრეფა, მ.ნ %	კუდების ფრაქციის გამოსავალი, γ_{α} %	ამოკრეფა, მ.ნ %
1	2	3	4	5	6	7
1200-1300	1250	34.99	64.22	99.86	0.10	0.14
1300-1400	1350	17.30	31.63	99.48	0.20	0.52
1400-1500	1450	1.96	3.43	95.41	0.20	4.59
1500-1600	1550	0.46	0.52	60.87	0.40	39.13
1600-1800	1700	0.98	0.20	11.20	1.93	89.80
1800-2200	2000	44.31	-	-	97.17	100.00
		100.0			100.0	-

კონცენტრატსა და კუდებში ცალკეული ფრაქციის ამოკრევა (გრაფა 5 და 7) განისაზღვრება შესაბამისი ფორმულებით

$$\varepsilon_{\text{კნ}} = (\gamma_{\text{კნ}} \cdot \gamma_1) / \gamma \% ; \quad \varepsilon_{\text{კდ}} = (\gamma_{\text{კდ}} \cdot \gamma_2) / \gamma \% .$$

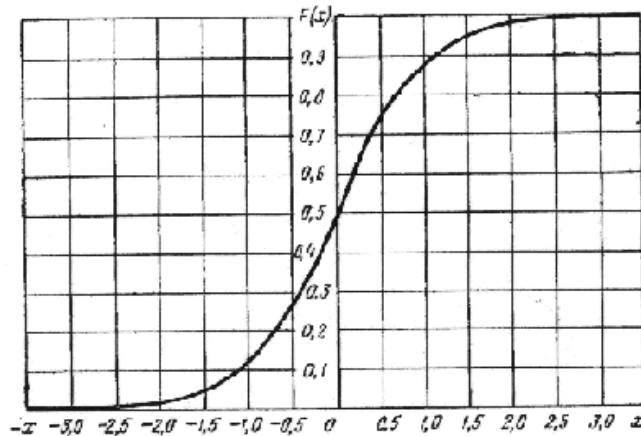
$$\text{მაგალითად: } \varepsilon_{\text{კნ}} \text{ 1200-1300} = \frac{64.22 \cdot 54.4}{34.99} = 99.86\% ;$$

$$\varepsilon_{\text{კდ}} \text{ 1200-1300} = \frac{0.1 \cdot 45.6}{34.99} = 0.14\% .$$



სურ. 4.3. გამდიდრების პროდუქტებში ფრაქციების განაწილების მრუდი

ტრომპის განაწილების მრუდის შესწავლის საფუძველზე ფრანგმა მკვლევარმა გერამ დაადგინა აღნიშნული მრუდის მსგავსება გაუსის ალბათობის ინტეგრალურ მრუდთან (სურ. 4.4) და შემოიღო ცნება – „საშუალო სააღბათო გადახრა“ – E, ხოლო მკვლევარმა ბელუგუმ (საფრანგეთი) - დაყოფის ცდომილება J, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია წიაღისეულთა გამდიდრებისა და მისი დაყოფის ეფექტურობის დახასიათება.



სურ. 4.4 გაუსის ინტეგრალური მრუდი

საშუალო სააღბათო გადახრა და დაყოფის ცდომილება (პროცესის არასრულყოფილების კოეფიციენტი) განისაზღვრება დაყოფის მრუდის საშუალებით (სურ. 4.3).

საშუალო სააღბათო გადახრა

$$E_{\rho} = (\delta_{75} - \delta_{25})/2,$$

დაყოფის ცდომილება

$$J = E_{\rho} / (\delta_{\rho} - \Delta),$$

სადაც δ_{75} და δ_{25} — სიმკვრივის ის მნიშვნელობებია, რომელთაც შეესაბამება ფრაქციის 75 და 25 %-იანი ამოკრევის სიდიდეს;

δ_{ρ} — დაყოფის (ზღვრული) სიმკვრივე, რომელსაც შეესაბამება ფრაქციის 50%-იან ამოკრეფას;

Δ — თხევადი ფაზის სიმკვრივე, წყლისათვის $\Delta = 1000$ კგ/მ³.

გამდიდრების ეფექტურობა მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მცირეა E_{ρ} -სა და J -ს მნიშვნელობები. იდეალური დაყოფის დროს ტრომპის განაწილების მრუდი მიიღებს ვერტიკალურ სწორხაზოვან ფორმას; ამ დროს $E_{\rho} = 0$, ე.ი., ფრაქცია, რომლის სიმკვრივე ნაკლებია დაყოფის ზღვრულ δ_{ρ} სიმკვრივეზე, გადავა მსუბუქ პროდუქტში, ხოლო δ_{ρ} სიმკვრივეზე მეტი - მძიმეში.

5. გარემოში მინერალურ მარცვალთა მოძრაობის

ძირითადი კანონები

გამდიდრების გრავიტაციული პროცესების თეორიული საფუძვლები ემყარება გარემოში განსაზღვრული ზომისა და სიმკვრივის მინერალურ მარცვალთა მოძრაობის კანონზომიერებებს, რომლებსაც საფუძვლად უდევს სტატისტიკური-ალბათობის, კლასიკური მექანიკის, ჰიდრავლიკისა და ფიზიკის ჰიდროდინამიკური თეორიის კანონები.

5.1. გარემოში მინერალურ მარცვალთა ვარდნის სიჩქარის

განსაზღვრა

უსაზღვრო გარემოში ცალკეულ მარცვალთა ვარდნას თავისუფალი ეწოდება. როდესაც გარემოში ვარდნილ მარცვლეულთა შორის დაშორება 10-20-ჯერ აღემატება მარცვლის დიამეტრს, პრაქტიკულად ეს პირობა დაკმაყოფილებულია, როდესაც სითხისა და მყარის მასალის წონითი ფარდობა აღემატება 8-ს, ე.ი., $s/mq \geq 8:1$

ნებისმიერ გარემოში მინერალურ მარცვალთა ვარდნის სიჩქარე განისაზღვრება მასზე მოქმედი სიმძიმის, ამომგდები (არქიმედეს) და სითხის ჰიდროდინამიკური ძალების თანაფარდობით.

სიმძიმის ძალა – $G=V\delta g$

სადაც V მარცვლის მოცულობაა, მ³;

δ – მარცვლის სიმკვრივე, კგ/მ³;

g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, $g=9.81$ მ/წმ².

სფერული ფორმის მარცვლისათვის სიმძიმის ძალა

$$G = \frac{\pi d^3}{6} \delta g,$$

არქიმედეს ძალა – R

$$R = \frac{\pi d^3}{6} \Delta g$$

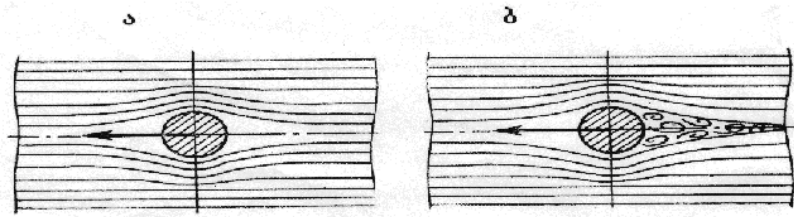
სადაც d – სფერული ფორმის მარცვლის დიამეტრია, მ;

Δ – სითხის სიმკვრივე, კგ/მ³.

გრავიტაციული ძალა – G_0

$$G_0 = G - R = \frac{\pi d^3}{6} (\delta - \Delta) g.$$

ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობის ძალა დამოკიდებულია ვარდნილი მინერალების ზედაპირზე სითხის გარშემოდინების რეჟიმზე. განასხვავებენ სითხის მოძრაობის ლამინარულ და ტურბულენტურ რეჟიმებს. (სურ. 5.1, ა, ბ).



სურ. 5.1. სითხის მოძრაობის რეჟიმი:

ა – ლამინარული; ბ – ტურბულენტური.

ლამინარულ რეჟიმში მოძრავი მარცვლის ზედაპირზე სითხის შრის ფენები მდორედ იშლება და ერთდება მარცვლის წინა და უკანა ნაწილში (სურ. 5.1, ა) ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს სითხის სიბლანტური წინააღმდეგობის ძალებს, რაც განპირობებულია ხახუნის ძალებით და წარმოიქმნება სითხის ფენების სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობის შედეგად.

ლამინარულ რეჟიმში მოძრავ სხეულებზე მოქმედი სიბლანტური წინააღმდეგობა შესწავლილი იქნა ინგლისელი ფიზიკოსის გ. სტოქსის მიერ.

სტოქსის კანონიდან გამომდინარე, სითხის სიბლანტური წინააღმდეგობის ძალა

$$F_s = 3\pi\mu v d ,$$

სადაც

μ არის სითხის დინამიკური სიბლანტე, პა. წმ;

v – მარცვლის მოძრაობის სიჩქარე, მ/წმ;

d – მარცვლის დიამეტრი, მ.

ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ სიბლანტურ წინააღმდეგობას ადგილი აქვს ბლანტ არეში 0.1 მმ-ზე მცირე ზომის მარცვალთა მოძრაობის დროს.

ტურბულენტურ რეჟიმში მოძრავი მინერალური მარცვლის უკანა მხარეს წარმოიქმნება გრიგალები, რომლებიც წარიტაცება სითხის მიერ და წარმოიქმნება შემცირებული წნევების სივრცე (სურ. 5.1, ბ).

წნევათა სხვადასხვაობა მარცვლის წინა და უკანა ნაწილში განაპირობებს დინამიკური წინააღმდეგობის ძალის წარმოქმნას. დინამიკური წინააღმდეგობა შესწავლილ იქნა ნიუტონის მიერ.

ნიუტონის კანონიდან გამომდინარე, დინამიკური წინააღმდეგობის ძალა

$$F_{\text{წ}} = KS \frac{1}{2} v^2 \Delta ,$$

სადაც K პროპორციულობის კოეფიციენტი. რიტინგერის მიხედვით, $K = 1/2$;

S – მარცვლის გეგმილის ფართობი. სფერული ფორმის მარცვლისათვის

$$S = \frac{\pi d^2}{4};$$

მაშინ

$$F_{\text{დ}} = \frac{\pi}{16} v^2 d^2 \Delta.$$

ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ როდესაც სითხეში მოძრაობს 2-მმ-ზე დიდი ზომის მარცვლები, წარმოიქმნება დინამიკური წინააღმდეგობა.

სითხის დინების სიჩქარული რეჟიმები შეისწავლა ინგლისელმა მეცნიერმა რეინოლდსმა, რომლის პატივსაცემად შემოღებული იქნა რეინოლდსის რიცხვი – Re :

$$Re = \frac{vd\Delta}{\mu}.$$

რეინოლდსის რიცხვის სიდიდის მნიშვნელობა განსაზღვრავს სითხის დინების სიჩქარული რეჟიმის ხასიათს.

როდესაც $Re < 1$, სითხის ნაკადის დინება ლამინარულია;

$Re > 1000$ ტურბოლენტური;

$1 < Re < 1000$ – ნაკადი მოძრაობს გარდამავალ რეჟიმში.

გარდამავალ რეჟიმში მინერალურ მარცვალთა (0.1 - 2 მმ) მოძრაობის დროს ადგილი აქვს სიბლანტური და დინამიკური წინააღმდეგობის ძალების მოქმედებას, რომლის სიდიდე, ალენის მიხედვით, გამოითვლება ფორმულით:

$$F_{\text{ა}} = \frac{10}{\sqrt{Re}} \cdot F_{\text{დ}} = \psi_{\text{ა}} v^2 d^2 \Delta, \quad \psi_{\text{ა}} = \frac{10}{\sqrt{Re}} \cdot \frac{\pi}{16} = \frac{5\pi}{8\sqrt{Re}}.$$

ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობა ზოგადი სახით გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$F = \psi v^2 d^2 \Delta$$

სადაც

ψ ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი.

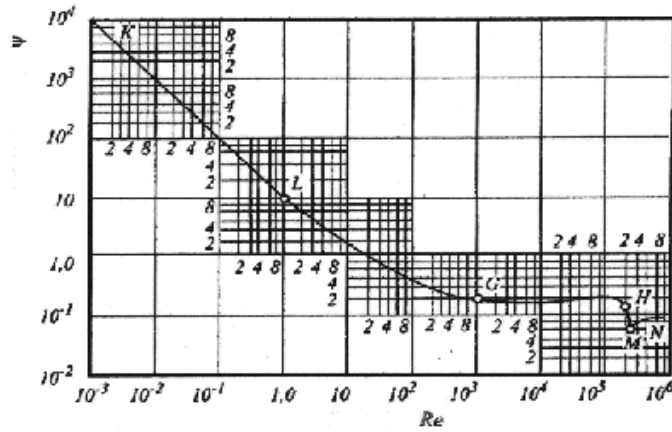
როდესაც $F_{\text{დ}} > F_{\text{ა}}$; $\psi = \psi_{\text{დ}} = \pi/16$ – დინამიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;

როდესაც $F_{\text{დ}} < F_{\text{ა}}$; $\psi = \psi_{\text{ა}} = 3\pi/Re$ – სიბლანტური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;

როდესაც $F_{\text{დ}} \approx F_{\text{ა}}$; $\psi = \psi_{\text{ა}} = \frac{5\pi}{8\sqrt{Re}}$ – წინააღმდეგობის კოეფიციენტი

სიბლანტისა და დინამიკური წინააღმდეგობის გათვალისწინებით.

ინგლისელმა მეცნიერებმა, რეინოლდსმა და რელეიმ, შექმნეს დაემყარებინათ კავშირი ორ წინააღმდეგობას შორის (სურ. 5.2).



სურ. 5.2 წინააღმდეგობის ψ კოეფიციენტსა და Re -ს შორის დამოკიდებულება

მინერალურ მარცვალთა ლამინარულ რეჟიმში ($Re < 1$) მოძრაობის დროს წინააღმდეგობის კოეფიციენტი $\psi = 3\pi/Re$, გარდამავალ რეჟიმში ($1 < Re < 10^3$) მოძრაობის დროს $\psi = 5\pi/8\sqrt{Re}$, ხოლო ტურბულენტურ რეჟიმში ($Re > 10^3$) მოძრაობის დროს $\psi = \pi/16$.

სითხეში ვარდნილი მინერალური მარცვალი მოძრაობს გრავიტაციული ძალის მოქმედებით. თავდაპირველად მოძრაობს აჩქარებულად, როდესაც სიმძიმის ძალა გაუწონასწორდება სითხის პიდროდინამიკურ წინააღმდეგობას, აჩქარება გაუტოლდება ნულს და მარცვალი იწყებს მუდმივი სიჩქარით ვარდნას, რომელსაც ვარდნის საბოლოო სიჩქარეს უწოდებენ. მაშასადამე, 0.1 მმ-ზე მცირე ზომის სფერული მარცვლისათვის სამართლიანია ტოლობა:

$$\frac{\pi d^3}{6}(\delta - \Delta)g = 3\pi\mu vd$$

ლამინარული რეჟიმისათვის ($Re < 1$, $d < 0.1$ მმ) წყალში მარცვლის თავისუფალი ვარდნის საბოლოო სიჩქარე განისაზღვრება სტოქსის ფორმულით:

$$v = \frac{g}{18}d^2 \frac{(\delta - \Delta)}{\mu}$$

წყლისათვის $\Delta = 1000$ კგ/მ³, $\mu = 0.001$ პა.წმ.

$$v = 545d^2(\delta - 1000)$$

ჰაერისათვის $\Delta = 1.23$ კგ/მ³, $\mu = 0.000018$ პა.წმ.

$$v = 30278d^2(\delta - 1.23)$$

გარდამავალი რეჟიმისათვის ($1 < Re < 10^3$, $d = 0.1 - 0.2$ მმ) მარცვლის თავისუფალი ვარდნის საბოლოო სიჩქარე განისაზღვრება ანალოგიურად, რადგან $G = FS$, მაშინ

$$\frac{\pi d^3}{6}(\delta - \Delta)g = \frac{5\pi}{8\sqrt{Re}}v^2d^2\Delta$$

$$\text{აქედან, } v = 0.89d\sqrt[3]{\frac{(\delta - \Delta)^2}{\mu\Delta}} \quad (\text{ალენის ფორმულა}),$$

ტურბულენტური რეჟიმისათვის ($R > 10^3$, $d > 2$ მმ) $G = F$ დ, მაშინ

$$\frac{\pi d^3}{6}(\delta - \Delta)g = \frac{\pi}{16}v^2 d^2 \Delta,$$

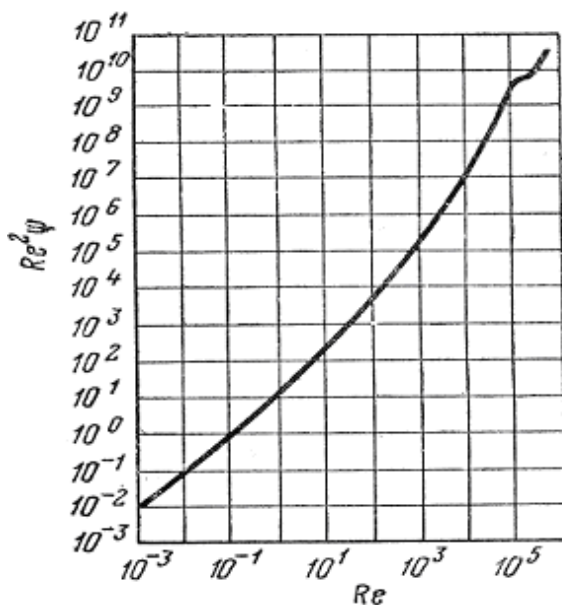
$$\text{აქედან, } v = 1.63\sqrt{d(\delta - \Delta)g/\Delta} \quad (\text{რიტინგერის ფორმულა}).$$

სტოქსის, რიტინგერისა და ალენის ფორმულები გამოიყენება განსაზღვრული ზომის მინერალურ მარცვალთა ვარდნის საბოლოო სიჩქარის გამოსათვლელად.

ნებისმიერი ზომისა და სიმკვრივის მინერალურ მარცვალთა საბოლოო სიჩქარის გამოსაანგარიშებლად ლიაშენკომ, რეინოლდსის რიცხვიდან გამომდინარე, შემოგვთავაზა, უნივერსალური მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ორივე სახის წინააღმდეგობას.

$$v = Re \mu / d\Delta.$$

Re-ს მნიშვნელობა განისაზღვრება $Re^2\psi$ -სა და Re-ს დამოკიდებულების დიაგრამიდან (სურ. 5.3).



სურ. 5.3 რეინოლდსის რიცხვისა და $Re^2\psi$ პარამეტრს შორის დამოკიდებულების დიაგრამა

მაშასადამე, ვარდნის სიჩქარე დამოკიდებულია რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობაზე, გამყოფი გარემოს სიბლანტესა და სიმკვრივეზე და ვარდნილი მარცვლის დიამეტრზე.

თავისუფალი ვარდნის სიჩქარეზე გავლენას ახდენს მარცვალთა ზომა, სიმკვრივე, ფორმა, სითხის ტემპერატურა და სხვა.

როგორც ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა, ერთი და იმავე ზომისა და სიმკვრივის მარცვალები ხასიათდება სხვადასხვა ვარდნის სიჩქარით.

თუ სფერული ფორმის მარცვლის სიჩქარეს აღვნიშნავთ $V_{სფ.}$ -ით, მაშინ ოთხკუთხა ფორმის მქონე მარცვლების ვარდნის სიჩქარე:

$$V_{ოთხ.} = 0,87 V_{სფ.};$$

წაგრძელებული ფორმის მარცვლებისათვის

$$V_{წაგ.} = 0,77 V_{სფ.}$$

სითხის ტემპერატურა თავისუფალი ვარდნის სიჩქარეზე გავლენას ახდენს იმ შემთხვევაში, როდესაც მარცვალი მოძრაობს ლამინარულ რეჟიმში; თუ რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობა მეტია 200-ზე, ამ შემთხვევაში სითხის ტემპერატურა არავითარ გავლენას არ ახდენს.

მინერალურ მარცვალთა ერთობლივ მოძრაობას, რომელთა შორის დაშორება 10-20-ჯერ მცირეა მათ დიამეტრზე, შეზღუდული ეწოდება.

პრაქტიკულად შეზღუდული ვარდნა განხორციელებულია გრავიტაციული გამდიდრების ნებისმიერ პროცესში, როდესაც სითხისა და მყარის მასალის წონითი ფარდობა (ს:მყ < 8:1) 8-ზე ნაკლებია.

მინერალურ მარცვალთა შეზღუდული ვარდნა შესწავლილი იქნა გერმანელი მეცნიერის რ. რიჩარდის მიერ. ექსპერიმენტების შედეგების საფუძველზე იგი ასკვნის, რომ მარცვალთა შეზღუდული ვარდნა ანალოგიურია თავისუფალი ვარდნისა იმ გარემოში, რომლის სიმკვრივესაც უკავია შუალედური მდგომარეობა მყარ სხეულსა და სითხის სიმკვრივეებს შორის.

რიჩარდის მიხედვით

$$v_{შ} = k \sqrt{d(\delta - \Delta_s)},$$

სადაც k რიტინგერის ფორმულის რიცხვითი კოეფიციენტია;

d – მარცვლების დიამეტრი, მ;

δ – მარცვლის სიმკვრივე, კგ/მ³;

Δ_s – სითხის საშუალო სიმკვრივე, კგ/მ³;

$$\Delta_s = (\delta + \Delta)/2,$$

სადაც Δ – წყლის სიმკვრივეა, კგ/მ³.

პროფესორმა ლიაშენკომ მინერალურ მარცვალთა შეზღუდული მოძრაობის კანონზომიერების თეორიული და ექსპერიმენტული შესწავლის საფუძველზე შეადგინა შეზღუდული ვარდნის საანგარიშო ემპირიული ფორმულა:

$$v_{შ} = v_0 \sqrt{\theta^n},$$

სადაც v_0 არის თავისუფალი ვარდნის სიჩქარე, მ/წმ;

θ – მასალის გაფხვიერების კოეფიციენტი;

n – ხარისხის მაჩვენებელი, $n = 5 \div 7.5$.

$$\theta = (v - v_1)/v$$

სადაც v არის მყარი და თხევადი ფაზის მიერ დაკავებული მოცულობა, მ³;

v_1 – მყარი ფაზის მოცულობა, მ³;

პროფესორ ვ. ოლეესკის მიხედვით, შეზღუდული ვარდნის სიჩქარე

$$v_{\text{შ}} = v_0 \left(1 - \frac{T}{T_{\text{g}}} \right),$$

სადაც T_{g} არის პულპაში მყარის წონითი შემცველობებია.

6. მინერალურ მარცვალთა ჰიდრაულიკური კლასიფიკაცია

6. 1. წიაღისეულთა გამდიდრების ტექნოლოგიაში კლასიფიკაციის პროცესის დანიშნულება

გამყოფ გარემოში მინერალურ მარცვალთა სიმსხოს მიხედვით დაყოფის პროცესს კლასიფიკაცია ეწოდება. წიაღისეულთა გამდიდრების პრაქტიკაში გამყოფ გარემოდ გამოიყენება წყალი ან ჰაერი; შესაბამისად, კლასიფიკაცია შეიძლება იყოს ჰიდრაულიკური ან პნევმატიკური.

სითხეში მინერალურ მარცვალთა სიმსხოს მიხედვით დაყოფის პროცესს ჰიდრაულიკური კლასიფიკაცია ეწოდება, ხოლო ჰაერის გარემოში – პნევმატიკური.

ჰიდრაულიკური კლასიფიკაციის პროცესში მასალის სიმსხოს მიხედვით დაყოფა განხორციელებულია სითხეში მარცვალთა ვარდნის სიჩქარეების სხვადასხვაობის საფუძველზე, ხოლო პნევმატიკური კლასიფიკაციის პროცესში – ჰაერის გარემოში.

კლასიფიკაცია, როგორც მინერალური ნედლეულის გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი, შეიძლება იყოს დამოუკიდებელი, მოსამზადებელი და დამხმარე.

კლასიფიკაცია დამოუკიდებელია, როდესაც დაყოფის პროდუქტები წარმოადგენს საბოლოო სასაქონლო პროდუქტებს.

კლასიფიკაციის პროცესი მოსამზადებელია, როდესაც მასალის სიმსხოს მიხედვით მომზადება წარმოებს გრავიტაციული, ფლოტაციური, ელექტრო-მაგნიტური და სხვა სახის გამდიდრების მეთოდის წინ.

კლასიფიკაცია დამხმარეა, როდესაც წარმოებს გამდიდრების პროდუქტების გაუწყლოება, ე. ი., წყლისა და მყარის მასალის განცალკევება.

საკლასიფიკაციო მასალის ზომა არ უნდა აღემატებოდეს: მანების შემთხვევაში – 4-6 მმ-ს, ხოლო ნახშირებისათვის – 6-13 მმ-ს.

კლასიფიკაციის პროცესში გამოყენებულ აპარატებს კლასიფიკატორები ეწოდება.

კლასიფიკაციის პროცესში ორი პროდუქტი გამოიყოფა: შედარებით მსხვილი ფრაქცია – სილები და წვრილი – გადანადენი.

მამდიდრებელ ფაბრიკებში გამოყენებული კლასიფიკატორები ამა თუ იმ ნიშნის მიხედვით შეგვიძლია დავყოთ შემდეგ ძირითად ჯგუფებად:

1. გამყოფი გარემოს სახეობის მიხედვით:
 - ა. ჰიდრაულიკური;
 - ბ. პნევმატიკური.
2. გამყოფი ველის სახეობის მიხედვით:
 - ა. გრავიტაციული;
 - ბ. ცენტრიდანული.

3. გამყოფი პროდუქტების განტვირთვის სახეობის მიხედვით:

ა. თვითდინებადი;

ბ. მექანიკური.

კლასიფიკატორების მუშაობა ხასიათდება: გაყოფის ეფექტურობით, %; გადანადენში მზა კლასის (0.074 მმ) შემცველობით, %; გადანადენში მყარის მასალის შემცველობით, გრ/ლ; კუთრი წარმადობით, მ³/სთ.მ² და სხვა მაჩვენებლებით.

6. 2. ჰიდრაულიკური ანალიზი

სედიმენტაცია (ლათ. დაღეკვა) – წმინდა დისპერსიული მასალის სისხოს განსაზღვრის ანალიზის მეთოდია. სედიმენტაციური ანალიზისათვის გამოიყენება საბანინის ხელსაწყო (სურ. 6.1).

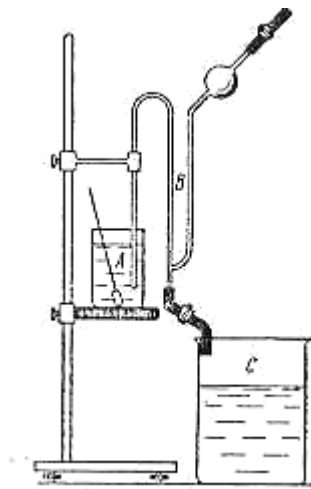
დაგრადუირებულ ჭურჭელში მოათავსებენ გამოსაკვლევ მასალას წყალთან ერთად, 1:10 ან 1:15 განზავებით, რომელშიც ჩაშვებულია სიფონი განსაზღვრულ სიმაღლეზე.

სტოქსის ფორმულით განისაზღვრება სხვადასხვა ზომის მარცვლების თავისუფალი ვარდნის სიჩქარეები:

$$V_0 = 545d^2(\delta - 1).$$

შემდეგ თითოეული $d_1, d_2 \dots d_n$ ზომის მარცვლისათვის გამოითვლება დაღეკვის ხანგრძლივობა:

$$t_1 = h/V_1, t_2 = h/V_2, t_3 = h/V_3.$$

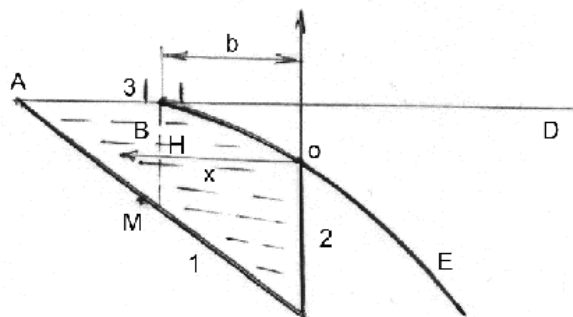


სურ. 6.1. საბანინის ხელსაწყო

t_1, t_2, t_3 და ა. შ. განსაზღვრული დროის შემდეგ h სიღრმიდან გადმოსხმება პულპა, რომელიც ცალ-ცალკე გამოშრება, აიწონება და განისაზღვრება ცალკეული კლასის პროცენტული რაოდენობა.

6.3. კლასიფიკატორის გადანადენში მასალის სიმსხოს განსაზღვრა

კლასიფიკატორში მასალის სიმსხოს მიხედვით დაყოფის პროცესი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით (სურ. 6.2). მასალა B წერტილიდან O-საკენ მოძრაობს, ჰორიზონტალური და ასევე ვერტიკალური ცვალებადი სიდიდის სიჩქარით, რაც განპირობებულია სითხის დაწნევით. ამ ორი სიჩქარის ტოლქმედი მიმართულია ჰორიზონტისადმი განსაზღვრული კუთხით. მარცვლები, რომელთა ზომა რამდენიმე მიკრონს არ აღემატება, არ იძირება პულპაში და მოძრაობს პულპის სარკისებრი ზედაპირის AD სიახლოვეს BOE ტრაექტორიით. დიდი ზომის მარცვლები სწრაფად იძირება პულპაში MBM ტრაექტორიით. შუალედი ზომის მარცვლების მოძრაობის ტრაექტორია გამოისახება BO მრუდით, რომელიც პულპას ეოფს ორ ნაწილად, მარცვლები, რომელთა მოძრაობის ტრაექტორია მოთავსებულია BO მრუდის ზემოთ, გადადიან გადანადენში, ხოლო მარცვლები, რომელთა მოძრაობის ტრაექტორია მოთავსებულია BO-ს ქვემოთ, ილექება კლასიფიკატორში და წარმოადგენს სილის ფრაქციას.



სურ. 6.2 კლასიფიკატორიდან პულპის გადანადენის სქემა.

1 – კლასიფიკატორის ვარცლი; 2 – გადანადენის ზღურბლი; 3 – პულპის მიმწოდებელი მილი.

გადანადენში მარცვლის სიმსხოს განსაზღვრისათვის საჭიროა შემოვიღოთ შემდეგი დაშვებები:

1) მასალის მოძრაობის ჰორიზონტალური სიჩქარე გაუტოლოთ პულპის მოძრაობის ჰორიზონტალურ სიჩქარეს.

2) მარცვლის მოძრაობის ვერტიკალური სიჩქარე მივიღოთ ამავე მარცვლების შეზღუდული ვარდნის სიჩქარის ტოლად, რომელიც დამოკიდებულია მარცვლების ზომასა და მყარის მასალის პროცენტულ შემცველობაზე. გაანგარიშება წარმოებს შემდეგი თანმიმდევრობით:

1) განისაზღვრება პულპის ხვედრითი დებიტი:

$$q = \frac{V}{B}$$

V – პულპის დებიტი, მ³/წმ;

B – კლასიფიკატორის სიგანეა, მ.

2) გამოითვლება პულპის ნაკადის პორიზონტალური სიჩქარე:

$$V = \frac{q}{0,85H}$$

3) იანგარიშება კლასიფიკატორში სითხის დაწნევა:

$$H = 0,6 \sqrt[3]{q^2}$$

4) განისაზღვრება დრო, რომელიც საჭიროა მასალის B-დან O-მდე გადასაადგილებლად:

$$t = \frac{b}{V}$$

5) განსაზღვრული t დრო გაუტოლდება იმ დროს, რომელიც საჭიროა, რომ მასალის B-დან O-მდე ჩაიძიროს და, შესაბამისად, განისაზღვრება შეზღუდული ვარდნის სიჩქარე:

$$\omega_{\text{შვს}} = \frac{H}{t}$$

6) შეზღუდული ვარდნის სიჩქარის მიხედვით განისაზღვრება თავისუფალი ვარდნის სიჩქარე:

$$\omega_{\text{შვს}} = \omega_{\text{შვს}} - \left(1 - \frac{T}{T_{\text{კუბ}}}\right)$$

$$\omega_{\text{თავ}} = \frac{\omega_{\text{შვს}}}{1 - \frac{T}{T_{\text{კუბ}}}}$$

T – მყარის მასალის პროცენტული შემცველობა პულპაში.

T_{კუბ} – მყარის მასალი ზღვრული პროცენტული შემცველობა პულპის კუბური ფორმის ნაწილში.

$$T_{\text{კუბ}} = \frac{100 \delta}{(\delta - 1) + \frac{6}{\pi}}$$

სადაც δ მყარი მასალის სიმკვრივეა, ტ/მ³.

კლასიფიკატორის გადანადენში გადასული მყარი მასალის სიმსხო განისაზღვრება ფორმულით:

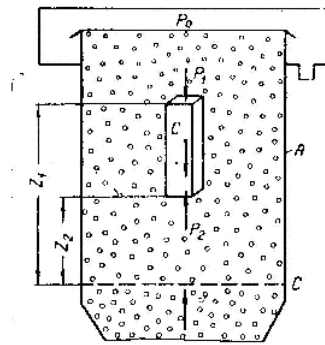
$$d = \sqrt{\frac{\omega_{\text{მგ}}}{5450 (\delta - 1)}}.$$

7. მძიმე გარემოში მინერალურ მარცვალთა განშრეგების ფიზიკური საფუძვლები

7.1. სითხეში მყარი სხეულის ჰიდროდინამიკური წონასწორობის განტოლებები

მძიმე გარემოში მინერალურ მარცვალთა სიმკვრივეების მიხედვით ფრაქციებად დაყოფის პროცესს მძიმე გარემოში გამდიდრება ეწოდება. თუ სხვადასხვა სიმკვრივის მარცვალთა ნარევეს მოვათავსებთ გარემოში, რომლის სიმკვრივეს უკავია შუალედური მდგომარეობა მსუბუქ და მძიმე მინერალთა შორის, მაშინ მოცემული ნარევი დაიყოფა შემადგენელ კომპონენტებად; მინერალები, რომელთა კუთრი წონა აღემატება მძიმე გარემოს სიმკვრივეს, ჩაიძირება, ხოლო უფრო მსუბუქი – ატივტივდება. მძიმე გარემოდ გამოყენებულია: ერთგვაროვანი ორგანული სითხეები, მძიმე ლითონის მარილთა წყალხსნარები და მძიმე სუსპენზიები.

დამამძიმებლის მოცულობითი კონცენტრაცია სუსპენზიაში არ უნდა აღემატებოდეს 40-42%-ს. მეტი კონცენტრაციის შემთხვევაში სუსპენზიის სიბლანტე მკვეთრად მატულობს და ტექნოლოგიური პროცესებისათვის გამოუსადეგარი ხდება. სუსპენზიაში შეიძლება გავამდიდროთ მხოლოდ მსხვილმარცვლოვანი მასალა, მადნების – 5-მმ-ზე უფრო მსხვილი კლასი, ნახშირების – 10 მმ-ზე უფრო მსხვილი კლასი. ცენტრიდანული ველის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს, შევამციროთ გასამდიდრებელი მასალის ქვედა ზღვარი. მძიმე სუსპენზიაში მინერალთა დაყოფის არსი განისაზღვრება სითხის ჰიდროდინამიკური წონასწორობის პირობიდან (სურ.7.1).



სურ. 7.1. სითხეში მყარი სხეულის ჰიდროდინამიკური წონასწორობა

დავუშვათ, მიღს ქვემოდან ეწოდება სითხე V სიჩქარით. თუ აღმაგალი ნაკადის V სიჩქარე მეტია სითხეში მოთავსებული მყარი მარცვლების ვარდნის სიჩქარეზე, ამ შემთხვევაში მყარი ნაწილაკები იქნება. შეტივტივებულ მდგომარეობაში. მყარი მასალის დიდი მოცულობითი კონცენტრაციის დროს შეგვიძლია მივიღოთ, რომ სითხე

ერთგვაროვანია და მარცვლებიც მოძრაობს იგივე V სიჩქარით. ერთგვაროვანი სითხეებისათვის სამართლიანია ბერნულის განტოლება:

$$\frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} = const,$$

სადაც $\frac{P}{\gamma}$ – ნაკადის პიეზომეტრული სიმაღლე, გამოსახავს გარკვეული სიმაღლის ნაკადის დაწნევის ძალას;

$Z - z$. სიმაღლეზე მყოფი სხეულის პოტენციური ენერგიაა;

$\frac{V^2}{2g} - V$ სიჩქარით მოძრავი ნაკადის კინეტიკური ენერგია;

თუ მივიღებთ, რომ ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე მუდმივია $V = const$, მაშინ გამოსახულება $\frac{V^2}{2g} = const$ და, შესაბამისად, $\frac{P}{\gamma} + Z = const$.

ამრიგად, მუდმივი სიჩქარის მქონე დამყარებული ნაკადის დინამიკური წონასწორობა ტოლფასოვანია მშვიდი არის დინამიკური წონასწორობისა.

სუსპენზიის მოცულობაში პირობითად გამოვყოთ ერთეულოვანი ფართის მქონე პრიზმა, რომლის განივი კვეთი $F=1$; გამოყოფილ პრიზმაზე ყოველი მხრიდან მოქმედებს სითხის წნევა. ძალები, რომლებიც მოქმედებენ პრიზმის ღერძის პერპენდიკულარულად, ერთმანეთს აბათილებს. პრიზმის მოძრაობა განპირობებულია P_1 და P_2 ძალების ტოლქმედით, რომელიც მათი სხვაობის ტოლია. რადგანაც სითხე წარმოადგენს დამყარებულ ნაკადს, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = const,$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = const.$$

$$\text{ამრიგად, } \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2.$$

$$\text{აქედან } P_2 - P_1 = \gamma (Z_1 - Z_2) = \gamma \cdot h,$$

h – პრიზმის სიმაღლეა.

$$\text{როგორც ვიცით, პრიზმის წონა } G = \gamma \cdot F \cdot h = \gamma h$$

ამრიგად, პრიზმაზე მოქმედი ტოლქმედი ძალის მნიშვნელობა პრიზმის წონის ტოლია. ეს უკანასკნელი სამართლიანია დამყარებული ნაკადისათვის. თუ პრიზმაში მოვათავსებთ მყარ სხეულს, რომლის სიმკვრივე ტოლია სუსპენზიის სიმკვრივისა, სხეული იქნება შეტივტივებულ მდგომარეობაში; თუ სხეულის სიმკვრივე $\gamma_1 > \gamma_{სუსპ.}$, ამ შემთხვევაში სხეულის წონა $h (\gamma_1 - \gamma)$ სიდიდით მეტია ტოლქმედი ძალის

სიდიდეზე და სხეული იწყებს ჩაძირვას სითხეში; ხოლო, თუ სხეულის სიმკვრივე ნაკლებია სუსპენზიის სიმკვრივეზე, ატივტივდება.

მინერალურ სუსპენზიაში წიაღისეულთა გამდიდრება ხასიათდება მაღალი ეფექტურობით, რაც განპირობებულია იმით, რომ მძიმე გარემოში, არქიმედეს კანონის თანახმად, ჩაძირული სხეულის წონის დანაკარგი მეტია, ვიდრე წყლის გარემოში, ხოლო ვარდნილი სხეულის სიმძიმის ძალის აჩქარება მცირეა.

7. 2. მძიმე გარემოში გამდიდრების პროცესში გამოყენებული აპარატურები

წიაღისეულთა მძიმე გარემოში გამდიდრების პროცესში გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის სუსპენზიური სეპარატორები.

სუსპენზიური სეპარატორები კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით იყოფა რამდენიმე ჯგუფად.

1. სეპარატორის მდგომარეობის მიხედვით: მოძრავი, უძრავი.

2. აბაზანის ფორმის მიხედვით: პირამიდალური, დოლური, კონუსური, ვარცლისებური.

3. მძიმე ფრაქციის განმტვირთი მოწყობილობის სახეობის მიხედვით: ერლიფტური, შნეკური, ელევატორისთვლიანი.

4. აბაზანაში სუსპენზიის მიწოდების მიმართულების მიხედვით: ჰორიზონტალური, ვერტიკალური და კომბინირებული მიწოდების.

5. გამოყოფილი პროდუქტის რაოდენობის მიხედვით: სამპროდუქტიანი და ორპროდუქტიანი.

6. მინერალურ მარცვალთა გამყოფი ველის მიხედვით: ცენტრიდანული და გრავიტაციული.

სუსპენზიური სეპარატორების კლასიფიკაცია და სქემატური ნახაზები მოცემულია 7.2 სურათზე.

გრავიტაციული ველით გამყოფ სუსპენზიურ სეპარატორებში გასამდიდრებელი მასალის მაქსიმალური ზომა ნახშირებისათვის 300 მმ-ია, ხოლო მადნებისათვის – 150 მმ. ქვედა ზღვარი ნახშირებისათვის 6-10 მმ-ია, ხოლო მადნებისათვის – 3-5 მმ. ნახშირებისა და მადნების წვრილი კლასის გასამდიდრებლად გამოიყენება ცენტრიდანული ველით გამყოფი სუსპენზიური სეპარატორები – ჰიდროციკლონები და ცენტრიფუგები.

უძრავი			მოძრავი		
კონუსური	პირამიდალური	ცილინდრულ-კონუსური	დოლური		
აეროლიფტური			ელექტრის თვლიანი		
ფარდისებური					

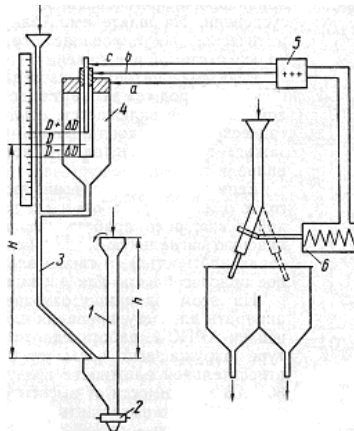
სურ. 7.2. სუსპენზიური სეპარატორების კლასიფიკაცია

8. მძიმე გარემოში განშრეგების პროცესის ეფექტურობაზე მოქმედი ფაქტორები

მძიმე გარემოში მინარაღურ მარცვალთა განშრეგების პროცესზე მოქმედი ფაქტორებია: სუსპენზიის სიმკვრივე, სიბლანტე და მდგრადობა. სასარგებლო წიაღისეულთა მძიმე გარემოში გამდიდრების ეფექტურობა ძირითადად დამოკიდებულია სუსპენზიის სიმკვრივის მუდმივობაზე. სუსპენზიის სიმკვრივის კონტროლი და რეგულირება ხორციელდება სხვადასხვა მეთოდით: 1. სუსპენზიის განუწყვეტელი აწონით; 2. არეომეტრული მეთოდით; 3. ჰიდროსტატიკური მეთოდით; 4. პიეზომეტრული მეთოდით; 5. ელექტრომაგნიტური ხერხით; 6. რადიოიზოტოპური გამოსხივებით.

8.1. სუსპენზიის სიმკვრივის ავტომატური რეგულატორი

ავტომატური რეგულატორი (სურ. 8.1) შედგება დენსიმეტრისაგან (1), რომელსაც ბოლო ნაწილში უკეთდება ნაცმი (2), მანომეტრისაგან (3), დეტექტორული მილაკისაგან (4), ელექტროგადამწოდისა (5) და ელექტრომაგნიტური სისტემისაგან (6).



სურ. 8.1. სიმკვრივის ავტომატური რეგულატორის სქემა

სუსპენზიის სიმკვრივის ავტომატური რეგულირების მოქმედების პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: სუსპენზიური სეპარატორიდან მუშა სუსპენზიის ნაწილი განუწყვეტლივ მიეწოდება ცილინდრულ ჭურჭელს (1); ცილინდრულ ჭურჭელს უკავშირდება მანომეტრის მილი, რომელშიც განუწყვეტლივ მიეწოდება სუფთა წყალი, 1000 კგ/მ³ სიმკვრივით.

დენსიმეტრში სუსპენზიისა და წყლის სვეტი გაწონასწორებულია სურათზე ნაჩვენები H-ის მნიშვნელობის დროს. აღნიშნულ მდგომარეობაში წრედი შეკრულია

გადამწოდის a და b კონტაქტებს შორის. ასეთ შემთხვევაში ანთებულია თეთრი ნათურა, რაც მაჩვენებელია, რომ სუსპენზია კონდიციურია, ხოლო როდესაც მანომეტრის ჩვენება $D+\Delta D$ გადამწოდის abc კონტაქტები ჩაირთვება და აინთება წითელი ნათურა. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ სუსპენზიის სიმკვრივე კონდიციურ მნიშვნელობას აღემატება. ასეთ შემთხვევაში ჩაირთვება ელექტრომაგნიტური სისტემა (6) და წყალი მიეწოდება სუსპენზიის ავზს, ხოლო როდესაც მანომეტრის ჩვენება არის $D-\Delta D$, ასეთ შემთხვევაში გაითიშება abc კონტაქტები და აინთება მწვანე ნათურა, ე.ი., სუსპენზიის სიმკვრივე კონდიციურზე მცირეა. აღნიშნულ შემთხვევაში ემატება კონდიციური სუსპენზია.

8. 2. სუსპენზიის აღდგენა

განშრეების პროცესში სუსპენზია ნაგვიანდება გასამდიდრებელი მასალის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციით, რაც იწვევს სიბლანტის გაზრდას და დაყოფის ეფექტურობის შემცირებას.

გარდა ამისა, განშრეების პროცესში სუსპენზიის გარკვეული რაოდენობა მიჰყვება მძიმე და მსუბუქ ფრაქციებს.

სუსპენზიის თვისებების შენარჩუნებისა და სუსპენზიის ხარჯის შემცირების მიზნით აწარმოებენ სუსპენზიის აღდგენას – რეგენერაციას.

სუსპენზიის რეგენერაცია ითვალისწინებს სუსპენზიის გამოყოფას გასამდიდრების პროდუქტებიდან.

გამდიდრების პროცესში სუსპენზიის რეგენერაცია წარმოადგენს ყველაზე საპასუხისმგებლო და რთულ ოპერაციას.

განზავებული და მუშა სუსპენზიიდან დამამძიმებლის გამოყოფა წარმოებს რამდენიმე მეთოდით, რაც დამოკიდებულია დამამძიმებლის ფიზიკურ და ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე. სუსპენზიის რეგენერაცია შეიძლება განვახორციელოთ მაგნიტური მეთოდით (მაგნიტური თვისებების მქონე დამამძიმებლის გამოყენებისას), ჰიდრაულიკური კლასიფიკაციით და ფლოტაციური მეთოდით.

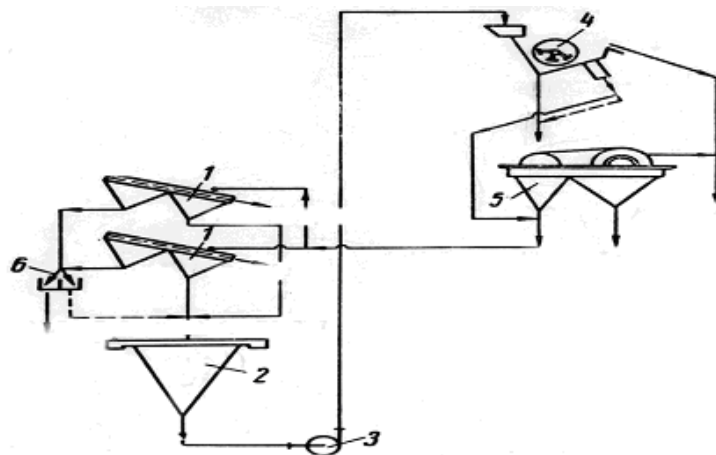
ზემოთ ჩამოთვლილი ერთი რომელიმე მეთოდით გამოყოფილ დამამძიმებელს საჭირო რაოდენობის წყალს ურევენ იმ ანგარიშით, რომ მიიღონ მოცემული სიმკვრივის სუსპენზია. ამის შემდეგ მომზადებულ სუსპენზიას უმატებენ მუშა სუსპენზიას, რომელიც ცირკულირებს პროცესში.

დამამძიმებლის რეგენერაციის პროცესში ადგილი აქვს დანაკარგებს, რაც დამოკიდებულია დამამძიმებლის ხარისხზე, რეგენერაციის ხერხსა და რეგენერაციის პროცესის ავტომატიზაციის სრულყოფაზე. დანაკარგთა შევსება წარმოებს ახლად დამზადებული დამამძიმებლის პროცესში შეყვანით.

დამამძიმებლის ხარისხს და მის გრანულომეტრიულ შედგენილობას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მძიმე სუსპენზიაში გამდიდრების შედეგებზე.

მაგნეტიტური სუსპენზიის რეგენერაცია განხორციელებულია მაგნიტური მეთოდით, რადგან მაგნეტიტის – Fe_3O_4 მინერალები ხასიათდება ძლიერმაგნიტური ამთვისებლობით.

მაგნეტიტური სუსპენზიის რეგენერაციის სქემა მოცემულია 8.2 სურათზე სუსპენზიური სეპარატორიდან მსუბუქი და მძიმე ფრაქციები მიეწოდება გამაუწყლოებელ ცხრილს. ცხრილის პირველ განყოფილებაში წარმოებს სუსპენზიის დრენაჟი, საიდანაც გამოიყოფა კონდიციური სუსპენზია, რომელიც უერთდება მუშა სუსპენზიას სეპარატორში.



სურ. 8.2 მაგნეტიტური სუსპენზიის რეგენერაციის სქემა.

- 1 – ცხრილი; 2 – ზუმფი; 3 – ტუმბო; 4 – დოლური მაგნიტური სეპარატორი;
5 – ლენტური მაგნიტური სეპარატორი; 6 – გამანაწილებელი დარი.

ცხრილის მეორე განყოფილებაში წყლის საშუალებით წარმოებს მძიმე და მსუბუქი ფრაქციების მორეცხვა, საიდანაც გამოიყოფა განზავებული, არაკონდიციური სუსპენზია, რომელიც ტუმბოს საშუალებით მიეწოდება რეგენერაციის პირველ სტადიაზე დოლურ მაგნიტურ სეპარატორს. სეპარატორიდან არამაგნიტური ფრაქცია შლამიანი წყალი – მიეწოდება რეგენერაციის მეორე სტადიაზე მიეწოდება ლენტურ მაგნიტურ სეპარატორს. რეგენერაციით მიღებული მაგნიტური ფრაქცია – სუსპენზიოდი – გამოიყენება კონდიციური სუსპენზიის მოსამზადებლად.

9. დალექვის პროცესში მინერალურ მარცვალთა დაყოფის ფიზიკური საფუძვლები

9. 1. მინერალთა დაყოფა წყლის პულსირებულ ნაკადში

დალექვის პროცესში წყლის პულსირებულ (აღმავალ-დაღმავალი) ნაკადში წარმოებს მინერალურ მარცვალთა განშრევა. წყლის აღმავალი-დაღმავალი ჭავლის მოქმედებით საგები, რომელიც შედგება გასამდიდრებელი მასალისაგან, პერიოდულად გაფხვიერდება და შემჭიდროვდება, რის შედეგადაც მძიმე მინერალები კონცენტრირდება საგების ქვედა შრეში, მსუბუქი მინერალები – საგების ზედა შრეში. ხოლო შუალედური სიმკვრივის მინერალები – საგების შუა შრეში, დაუშვავთ, სალექი მანქანის ცხავის ზედაპირზე მოთავსებულია სხვადასხვა სიმკვრივის მინერალთა თანაბარი ზომის მარცვლები. მსუბუქი მინერალის თავისუფალი ვარდნის სიჩქარე აღვნიშნოთ $V_{აღ}$ -ით მძიმე მინერალის თავისუფალი ვარდნის სიჩქარე – $V_{აღ}$ -ით წყლის აღმავალი ჭავლის სიჩქარე $W_{აღ}$ -ით, ხოლო დაღმავლის – $W_{დაღ}$ -ით. დალექვის სინუსოიდური ციკლის დროს $W_{აღ} = W_{დაღ}$, და, შესაბამისად, მოქმედების დროც ერთმანეთის ტოლია და უდრის $\frac{t}{2}$ -ს. აღმავალ ნაკადში მძიმე მინერალების მოძრაობის ფარდობითი სიჩქარე ტოლი იქნება $W_{აღ} - V_{აღ}$, ხოლო მსუბუქ მინერალების – $W_{აღ} + V_{აღ}$. მძიმე მინერალების მიერ გავლილი მანძილი აღმავალი ჭავლის მოქმედების დროს $h_1 = (w_{აღ} - V_{აღ})\frac{t}{2}$, ხოლო მსუბუქი მინერალების – $h_2 = (w_{აღ} + V_{აღ})\frac{t}{2}$. ამ ტოლობებიდან $h_2 > h_1$, რადგან

$$V_{აღ} > V_{აღ}.$$

ამრიგად, აღმავალი ჭავლის მოქმედებით მძიმე მინერალთა მარცვლები ცხავის ზედაპირიდან ატივტივდება უფრო მცირე სიმაღლეზე, ვიდრე მსუბუქი მინერალის მარცვლები. დაღმავალ ჭავლში მძიმე მინერალის მარცვალთა მოძრაობის ფარდობითი სიჩქარე ტოლი იქნება $W_{დაღ} + V_{აღ}$, ხოლო მსუბუქი მინერალის მარცვალთა $W_{დაღ} + V_{აღ}$. ცხავის ზედაპირზე მძიმე და მსუბუქი მინერალების მარცვალთა დალექვის საჭირო დრო

$$t_1 = \frac{h_1}{W_{დაღ} + V_{აღ}},$$
$$t_2 = \frac{h_2}{W_{დაღ} + V_{აღ}}.$$

აღნიშნული ტოლობების შედარებით მივიღებთ, რომ $t_1 < t_2$.

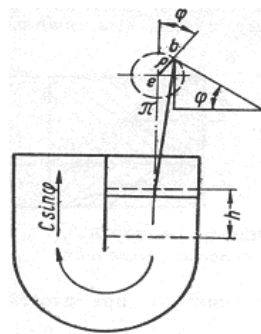
ამრიგად, დალექვის ერთი ციკლის დროს მძიმე მინერალის მარცვლები მოთავსდება ქვედა შრეში ცხავის ზედაპირზე, ხოლო მსუბუქი მინერალის მარცვლები – ზედა შრეში.

გამდიდრების პრაქტიკაში დალექვის პროცესი გამოიყენება მსხვილმარცვლოვანი მასალის გასამდიდრებლად. დალექვით გასამდიდრებელი მასალის სიმსხო მადნებისათვის – 50-0,25 მმ-ია, ხოლო ნახშირებისათვის – 100-0,5 მმ. უფრო მსხვილი ან წვრილი მასალის გამდიდრება დალექვით არაეფექტურია.

დალექვის პროცესში მასალის სხვადასხვა სიმკვრივის ფრაქციებად დაყოფა წარმოებს წყლის პულსირებულ ნაკადში.

სალექ განყოფილებაში წყლის აღმავალი ნაკადი დეფორმირდება ჰორიზონტალური ნაკადის მოქმედებით და გადაიხრება მისი დინების მიმართულებით, რაც განაპირობებს სალექ განყოფილებაში განშრევებული მასალის გადაადგილებას.

განვიხილოთ დგუშიანი სალექი მანქანის კინემატიკური სქემა (სურ. 9.1).



სურ. 9.1. სალექი მანქანის კინემატიკური სქემა

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ექსცენტრისიტეტი $\rho = ob$, დგუშის სვლის სიგრძე $h = 2\rho$.

φ არის ექსცენტრისიტეტის შემობრუნების კუთხე. მრუდხარას მუდმივი წრიული სიჩქარე აღვნიშნოთ C -თი. მისი ვერტიკალური გეგმილი მიმართულია აღმავალი ნაკადის სიჩქარის საწინააღმდეგოდ და ტოლია:

$$U = C \sin \varphi$$

$$C = \frac{\pi \rho n}{30} = \frac{\pi h n}{60}$$

სადაც n – სვლათა რიცხვია წთ-ში.

დგუშის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე

$$V = \frac{2hn}{60}$$

ამ ორი ფორმულიდან მივიღებთ, რომ

$$\frac{C}{V} = \frac{\pi}{2},$$

საიდანაც $C = 1,57 V$

ამრიგად, მოძრაობის წრიული სიჩქარე 1,57-ჯერ აღემატება დგუშის მოძრაობის საშუალო სიჩქარეს. წყლის აღმავალი ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარე

$$U_{max} = -\beta C \sin \varphi$$

მინუსი ნიშანი გვიჩვენებს, რომ აღმავალი ნაკადის მიმართულება დგუშის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოა.

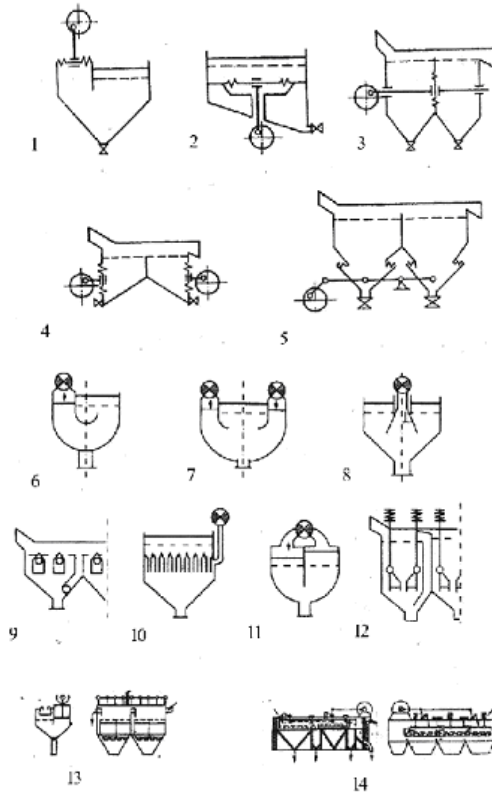
β წინააღმდეგობის კოეფიციენტია.

დგუშიანი სალექი მანქანებისათვის $\beta < 1$, ხოლო დიაფრაგმულისათვის $\beta = 1$.

φ არის ექსცენტრისიტეტის შემობრუნების კუთხე;

C – მრუდხარის წრიული სიჩქარე.

სასარგებლო წიაღისეულის დალექვის პროცესში გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის სალექი მანქანები, რომელთა კლასიფიკაცია განხორციელებულია მათი ძირითადი კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით (სურ. 9. 2).



სურ. 9. 2. სალექი მანქანების სქემები:

1.2.3.4.5 – დიაფრაგმული; 6.7.8.9.10.11.12 – უდგუშო; 13 – დგუშიანი; 14 – მოძრავცხავიანი.

1. გამყოფი გარემოს სახეობის მიხედვით: ჰიდრაულიკური და პნევმატიკური.

2. პულსაციის წარმომქმნელი მექანიზმის სახეობის მიხედვით: მოძრავ-ცხავიანი; დიაფრაგმული და უდგუშო (ჰიდრო და პნევმო პულსატორი).

3. გამდიდრების პროდუქტების განტიერთვის სახეობის მიხედვით: შიბერული, უშიბერო და როტორული.

4. კამერათა რიცხვის მიხედვით: ერთკამერიანი; ორკამერიანი, სამკამერიანი და მრავალკამერიანი.

5. პულსაციის წარმომქმნელი მექანიზმის (დგუშის, დიაფრაგმის, საჰაერო კამერის) განლაგების მიხედვით:

– დგუშიანი სალექი მანქანები, დგუშის გვერდითი და ცხავქვეშა განლაგებით;

– დიაფრაგმული სალექი მანქანები, დიაფრაგმის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური განლაგებით;

– უდგუშო სალექი მანქანები, საჰაერო კამერის გვერდითი, ცენტრალური, ცხავქვეშა და ცხავზედა განლაგებით.

აღნიშნული კონსტრუქციის სალექი მანქანებიდან თანამედროვე გამამდიდრებელ ფაბრიკებში ძირითადად გამოიყენება უდგუშო სალექი მანქანები, რომლებიც ხასიათდება მარტივი კონსტრუქციით, მუშაობის პროცესში რეგულირების შესაძლებლობით და მაღალი ეფექტურობით.

10. დალექვის პროცესის ეფექტურობაზე მოქმედი ფაქტორები

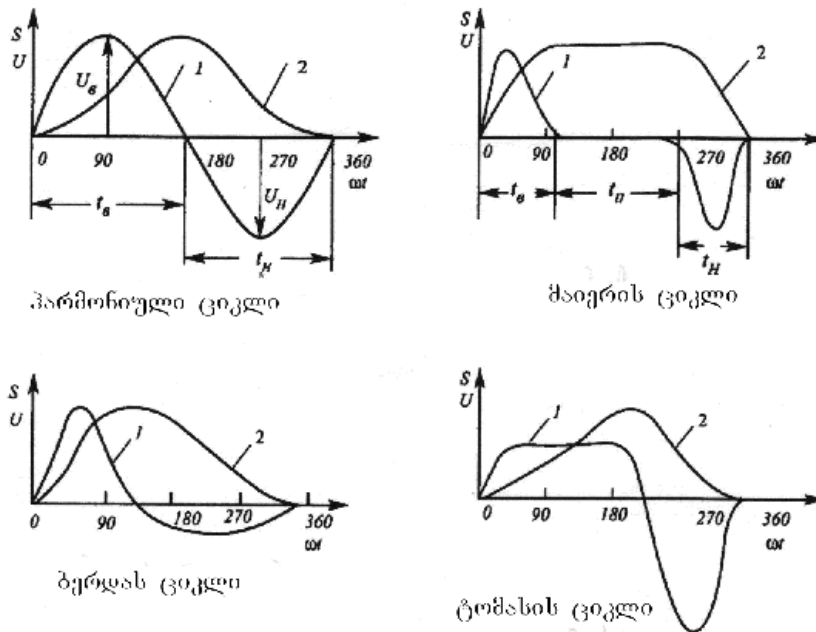
10. 1. დალექვის ციკლები

დალექვის პროცესის ეფექტურობა დამოკიდებულია ციკლის სახეობაზე და სალექი მანქანის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე. დალექვის ციკლი ეწოდება წყლის პულსირებული ნაკადის ვერტიკალური გადაადგილების კანონზომიერებას რხევის ერთ პერიოდში.

$$\text{ერთი ციკლის ხანგრძლიობა } T = \frac{60}{n}$$

n - არის წყლის პულსაციის სიხშირე წუთში.

დალექვის პროცესში გამოყენებულია შემდეგი ძირითადი ციკლები: ჰარმონიული (სინუსოიდური), მაიერის, ტომასის და ბერდას ციკლები, (ნახ. 10.1). ციკლები ერთმანეთისგან განსხვავდება აღმავალ-დაღმავალი სიჩქარითა და მოქმედების ხანგრძლივობით.



ნახ. 10.1 დალექვის ციკლები.

დალექვის ჰარმონიული (სინუსოიდური) ციკლისათვის დამახასიათებელია თანაბარი სიჩქარისა და ხანგრძლივობის წყლის აღმავალი და დაღმავალი ნაკადი.

$$V_s = V_g \quad \text{და} \quad t_s = t_g$$

სინუსოიდური ციკლის დროს წყლის გადაადგილება S და სიჩქარის V ცვლილება დროში გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$S = 0.5L(1 - \cos \omega t)$$

$$V = 0.5L\omega \sin \omega t$$

სადაც

L - რხევის ამპლიტუდაა;

ω - კუთხური სიხშირე, $\omega = 2\pi n/60$;

V - წყლის გადაადგილების სიჩქარე;

t - ციკლის დაწყების დრო;

n - რხევის სიხშირე.

მაიერის ციკლი ხასიათდება მცირე ხანგრძლივობის აღმავალი და დაღმავალი ნაკადებით და დიდი დაყოვნებით $t_s = t_w$

მაშასადამე, სწრაფმოქმედ აღმავალ და დაღმავალ ნაკადებს შორის წყალი იმყოფება უძრავ მდგომარეობაში განსაზღვრული დროის შუალედში, რომლის დროსაც წარმოებს მასალის განშრევა.

ბერდას ციკლი ხასიათდება დიდი სიჩქარისა და მცირე ხანგრძლივობის აღმავალი და მცირე სიჩქარისა და დიდი ხანგრძლივობის დაღმავალი ნაკადით.

ე.ი. $U_s = U_w$ ხოლო $t_s < t_w$

ტომასის ციკლი ხასიათდება მცირე სიჩქარისა და ხანგრძლივი მოქმედების აღმავალი ნაკადით, ვიდრე დაღმავალი ნაკადი, როგორც მახასიათებლიდან ჩანს, აღმავალი ნაკადის სიჩქარე განსაზღვრული დროის შუალედში მუდმივია.

აღნიშნული ციკლებიდან ყველაზე მეტი გავრცელება ჰპოვა სინუსოიდურმა ციკლმა. დალექვის ციკლი არსებით გავლენას ახდენს მასალის განშრევაზე. უდგუმო სალექი მანქანის ციკლი ჩვეულებრივ ფასდება შეკუმშული ჰაერის შეშვება, დაყოვნება და გამოშვების პერიოდთა თანაფარდობით; მაგალითად 30-10-60 ციკლი ნიშნავს, ციკლის ერთი პერიოდის 30% განმავლობაში საჰაერო განყოფილებას მიეწოდება შეკუმშული ჰაერი 10% დაყოვნება და 60% გამოშვება.

10. 2 სალექი მანქანის ტექნოლოგიური მაჩვენებლები

სალექი მანქანის ტექნოლოგიურ პარამეტრებს მიეკუთვნება: მწარმოებლობა, საგების შრის სისქე, გადანადენის ზღუდარის სიმაღლე, წყლის ხარჯი, ცხავის ხერეტის ზომა, წყლის რხევის ამპლიტუდა, პულსაციის რიცხვი, საგები მარცვლის ზომა და სხვა. სალექი მანქანის მწარმოებლობა იანგარიშება ემპირიული ფორმულით:

$$Q = Fq \text{ ტნ/სთ,}$$

სადაც F სალექი განყოფილების ფართობი მ²-ში, Q – სალექი მანქანის მწარმოებლობა, ტ/სთ., q – სალექი მანქანის ხვედრითი მწარმოებლობა, ტ/მ² სთ.

ცხრილი 10.1

სალექი მანქანების ხვედრითი მწარმოებლობა

წიაღისეულის სახეობა	გასამდიდრებელი მასალის ზომა, მმ.	ხვედრითი მწარმოებლობა, ტ/მ ² სთ.
რკინის მადანი	50-8	8-10
	8-3	6-8
	3-0	4-8
მანგანუმის მადანი	60-8	6-8
	8-3	4-6
	3-0	3-4
ოქროს შემცველი ქვიშრობები	3-0	11-16
ფერადი ლითონის მადნები	8-3	6-6
	3-0	2-6
იშვიათი ლითონები	+8	7-12
	3-0	4-6
ადგილად გასამდიდრებელი ნახშირები	მსხვილი კლასი +10	15-20
	წვრილი კლასი -10	14-17
საშუალო და ძნელად გასამდიდრებელი ნახშირები	მსხვილი კლასი +10	12-15
	წვრილი კლასი -10	10-14

წყლის რხევის ამპლიტუდის სიდიდე დამოკიდებულია გასამდიდრებელი მასალის სისხოსა და სალექი მანქანის კონსტრუქციაზე. დიაფრაგმულ სალექ მანქანებში, რომლებიც გამოიყენება წვრილი მასალის გასამდიდრებლად, ამპლიტუდის სიდიდე ცვალებადობს 5÷20–მმ-დე. დგუშიან სალექ მანქანებში ამპლიტუდის სიდიდე გასამდიდრებელი მასალის სიმსხოს მიხედვით ცვალებადობს 50÷140 მმ-მდე. იმისათვის, რომ ადგილი ჰქონდეს სალექ მანქანებში მასალის სიმკვრივეების მიხედვით განშრეებას, დაცული უნდა იქნეს შემდეგი უტოლობა $U > V_{\text{წყ}}$.

სადაც U -სალექი განყოფილებაში აღმავალი ნაკადის max-ური სიჩქარეა, $V_{\text{წყ}}$ – გასამდიდრებელ მასალაში ყველაზე დიდი სიმკვრივისა და ზომის მარცვლის შეზღუდული ვარდნის სიჩქარე. როგორც ვიცით: $U = C \sin \phi$. თუ მივიღებთ, რომ სალექი განყოფილებაში მასალის ატივტივებას ადგილი აქვს ექსცენტრიული ლილვის 1/8 ნაწილით შემობრუნების დროს, მაშინ

$$\varphi = \frac{2\pi}{8} = \frac{\pi}{4}$$

და, შესაბამისად, $\sin\varphi = 0,7$;

მაშინ მივიღებთ $U = 0,7C$.

როგორც ვიცით, ექსცენტრიული ლილვის წრიული სიჩქარე

$$C = \frac{\pi h}{60}, \text{ მაშინ } U = \frac{0,7\pi h}{60}$$

შევიტანოთ ზედა უტოლობაში U-ს მნიშვნელობა და განვსაზღვროთ სალექ განყოფილებაში პულსაციის რიცხვი n.

$$0,7 \frac{\pi h}{60} > V_{\text{შვ.}}, \quad n > 27,3 \frac{V_{\text{შვ.}}}{h}$$

სადაც h რხევის ამპლიტუდის სიდიდეა.

დალექის პროცესში წყლის ხარჯი დამოკიდებულია გასამდიდრებელი მასალის სახეობაზე, ზომასა და პროცესში გამოყენებული სალექი მანქანის კონსტრუქციაზე. I ტონა გასამდიდრებელ მადანზე წყლის ხარჯი ცვალებადობს 2,5-3,5 მ³/სთ. ფარგლებში, აქედან 20% მიეწოდება გასამდიდრებელ მადანთან ერთად, 60% მიეწოდება სალექი მანქანის I კამერას, ხოლო 20% – II კამერას.

უდგუშო სალექ მანქანებში შეკუმშული ჰაერის ხარჯი 1მ² სალექ ფართზე ცვალებადობს 3-7,5 მ³/წთ. ფარგლებში.

დალექის პროცესში, თუ გამოყენებულია ხელოვნური საგები, მაშინ მისი სიმაღლე აიღება 3-4-ჯერ მეტი, ვიდრე საგები მარცვლების მაქსიმალური ზომაა. თავის მხრივ, საგები მარცვლების ზომა მინიმუმ 3-ჯერ აღემატება გასამდიდრებელი მასალის ნატეხის მაქსიმალურ ზომას და ცვალებადობს 25-35 მმ-ის ფარგლებში. ამ შემთხვევაში ცხავის ხვრეტის ზომა აიღება 2,5 მმ-ით მეტი გასამდიდრებელი მასალის მარცვლის სიმსხოზე. უდგუშო სალექ მანქანაში აღმავალი ჭავლის სიჩქარე ცვალებადობს 0.13-0.15 მ/წმ-ის, ხოლო შეკუმშული ჰაერის წნევა – 0.14-0.25 მ. პა-ს ფარგლებში.

უდგუშო სალექი მანქანებისათვის აღმავალი ჭავლის მაქსიმალური სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$U_{\text{აღ}} = \varphi \sqrt{2gH} \text{ მ/წმ,}$$

სადაც

g – სიმძიმის ძალის აჩქარებაა, მ/წმ²;

H – შეკუმშული ჰაერის წნევა, მ.პა.;

φ – წნევის კარგვის კოეფიციენტი, φ=0,05-0,06.

11. გარემოში მინერალურ მარცვალთა მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები

მინერალურ მარცვალთა დალექვის პროცესის განმარტებისათვის არსებობს შემდეგი ჰიპოთეზები: სიჩქარული, სტატიკური და ენერგეტიკული.

სიჩქარული ჰიპოთეზა ჩამოყალიბებული იქნა რიტინგერის მიერ, რომლის მიხედვით წყლის პულსირებულ ნაკადში განხორციელებულია მასალის ფრაქციებად დაყოფა. რიტინგერის ჰიპოთეზის მიხედვით, თანაბარი ზომის სხვადასხვა სიმკვრივის ($\delta_1 < \delta_2$) მინერალების მარცვლები განლაგდება ცხავის ზედაპირზე, მძიმე მინერალები – საგების ქვედა შრეში, ხოლო მსუბუქი მინერალის მარცვლები – საგების ზედა შრეში $V_{\text{მ}} > V_{\text{მ}}$. სიჩქარული ჰიპოთეზის მიხედვით, დალექვის პროცესში შესაძლებელია მხოლოდ ვიწროდ კლასიფიცირებული მასალის ფრაქციებად დაყოფა. კლასს, რომლის ზედა ზღვრის შეფარდება ქვედა ზღვართან არ აღემატება თანაბარი ვარდნის კოეფიციენტს, ვიწრო კლასი ეწოდება.

პრაქტიკაში ძირითადად მდიდრდება ფართო კლასიფიკაციის სკალით მომზადებული მასალა. ამ შემთხვევაში მასალის ფრაქციებად განშრეგებაზე დიდ გავლენას ახდენს სხვადასხვა სიჩქარით ვარდნილი მინერალურ მარცვალთა მასიური მოძრაობით გამოწვეული ურთიერთხახუნის ძალები. ამიტომ, თავისუფალი ვარდნის სიჩქარეზე დაყრდნობით, მასალის განშრეგების პროცესის მექანიზმის ახსნა არასრულყოფილია.

დალექვის სიჩქარულმა ჰიპოთეზამ უკანასკნელ წლებში დიდი განვითარება ჰპოვა და საბოლოოდ ჩამოყალიბებული იქნა შემდეგნაირად: მინერალების მარცვალთა ვარდნის სხვადასხვა სიჩქარის მიხედვით მასალის ფრაქციებად განშრეგებაზე გავლენას ახდენს მარცვლების ზომა, ფორმა და გარემოს წინააღმდეგობის ძალები. ამ დებულებიდან გამომდინარე, დალექვის პროცესში სფერული ფორმის მარცვლების მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას შემდეგი სახე აქვს.

$$m \frac{dV}{dt} = G - P_a \pm P \pm P_m,$$

სადაც

m – მარცვლის მასაა, კგ;

$\frac{dV}{dt}$ – მარცვლის აჩქარებაა, მ/წმ²;

G – მარცვლის წონა, კგ;

P_a – ამომდგები ძალა, ნ.

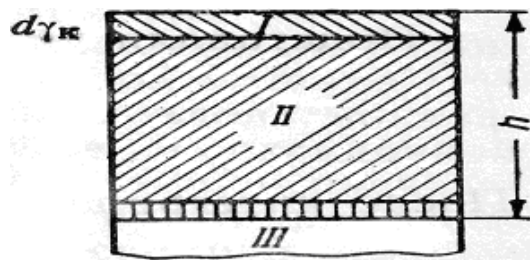
P – გარემოს წინააღმდეგობის ძალა, ნ.

P_a – მარცვლთა ურთიერთმოქმედი მექ. ძალა, ნ.

განტოლებიდან ჩანს, რომ მარცვალთა მოძრაობს ცვლადი აჩქარებით, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია მარცვლის სიმკვრივეზე, ზომასა და სიჩქარეზე.

დალექვის სტატიკური ჰიპოთეზა. სტატიკური ჰიპოთეზის მიხედვით დალექვა განიხილება, როგორც მასიური პროცესი, რომლის მიმდინარეობა იცვლება დროის მიხედვით. ვინოგრადოვის მიხედვით, დალექვის პროცესის ტექნოლოგიური პარამეტრები დამოკიდებულია პროცესის კინეტიკაზე.

ვინოგრადოვი დალექვის კინეტიკის განსაზღვრისათვის აწარმოებდა ნახშირების დალექვას სხვადასხვა ხანგრძლივობით და იღებდა სინჯებს ფრაქციული ანალიზისათვის. როგორც გამოკვლევებმა გვიჩვენა, განსაზღვრული დროის შემდეგ სალექ განყოფილებაში წარმოიქმნება სამი შრე: ქვედა – მძიმე ფრაქციის შრე, ზედა – მსუბუქი ფრაქციის შრე და შუა – შუალედური ფრაქციის შრე. ამ შრეთა შორის მოთავსებულია გარდამავალი შრეები. დალექვის ხანგრძლივობის ზრდასთან ერთად იზრდება საბოლოო პროდუქტის შრეთა სისქე, მაგრამ მთლიანად არ ისპობა შერეული შრე, რაც აიხსნება მარცვალთა ურთიერთქმედებით. ვინოგრადოვმა შეადგინა დალექვის პროცესში დროის მიხედვით მასალის განშრეების სქემა (სურ. 11.1).



სურ. 11.1. დალექვის პროცესში მასალის განშრეების სქემა

h – საგების სიმაღლე; I – კონცენტრატის შრის სისქე;

II – გამყოფი ზონა; III – სალექი ცხავი.

დალექვის t დროის შემდეგ სალექ განყოფილებაში წარმოიქმნილი კონცენტრატის ფრაქციის შრის სისქე აღვნიშნოთ γ_k -თი, მასში მსუბუქი ფრაქციის შემცველობა აღვნიშნოთ F_k -თი, საწყის მასალაში მსუბუქი ფრაქციის შემცველობა – F_s , მაშინ კონცენტრატის ფრაქციის შრეში გადასული მსუბუქი ფრაქციის რაოდენობა

$$F = (F_s - F_k) \gamma_k.$$

გამყოფი ზონიდან კონცენტრატის ფრაქციის შრეში დროის ერთეულში გადასული მსუბუქი ფრაქციის რაოდენობა აღვნიშნოთ F' .

$$F' dt = (F_j - F_v) dY_j$$

აქედან:
$$d\gamma_j = \frac{F' dt}{F_j - F_v}$$

F'-ის განსაზღვრისათვის ვინოგრადოვმა გამოიყენა მასათა ურთიერთქმედების კანონი, რომელიც მოცემული შემთხვევისათვის ჩამოაყალიბა შემდეგი სახით: გამყოფი შრიდან კონცენტრატის ფრაქციულ შრეში გადასული მსუბუქი ფრაქციის რაოდენობა პროპორციულია გამყოფ შრეში დარჩენილი იგივე ფრაქციის რაოდენობისა.

$$\frac{dF_j}{dt} = KF_j$$

სადაც F_j – გამყოფ ზონაში მსუბუქი ფრაქციის შემცველობაა;

K – პროპორციულობის კოეფიციენტი, აღნიშნული გამოსახულების ინტეგრირებით მივიღებთ

$$\ln F_j = Kt + C$$

ინტეგრალის მუდმივა განისაზღვრება საწყისი პირობიდან, როცა $t = 0$ მაშინ,

$$F_m = F_s$$

$$C = \ln F_s$$

ჩავსვათ C -ს მნიშვნელობა განტოლებაში, მივიღებთ

$$\ln \frac{F_j}{F_s} = -Kt,$$

აქედან

$$F_j = F_s e^{-Kt}$$

განტოლება გამოსახავს დაღეკვის t დროის შემდეგ გაყოფის ზონაში დარჩენილი მსუბუქი ფრაქციის რაოდენობას. იგივე დროში კონცენტრატული ფრაქციის შრეში გადასული მსუბუქი ფრაქციის რაოდენობა

$$F_j = F_k - F_j$$

$$F_j = F_k - F_s e^{-Kt}$$

დროის ერთეულში გადასული მსუბუქი ფრაქციის სიდიდე

$$F' = \frac{dF_j}{dt} = KF_s e^{-Kt}.$$

შევიტანოთ F' მნიშვნელობა, მივიღებთ:

$$d\gamma_k = \frac{KF_s e^{-Kt}}{F_k - F_s} dt.$$

გამოსახულების ინტეგრირებით მივიღებთ:

$$\gamma_j = \frac{F_b}{F_j - F_b} e^{-kt} + C.$$

ინტეგრალის მუდმივა განვსაზღვროთ საწყისი პირობიდან $t=t_1$ ე.ი. დაღეკვის პროცესის დასაწყისში კონცენტრატის შრე არ არის წარმოქმნილი, $\gamma_j=0$;

$$\text{მაშინ } e = -\frac{F_b}{F_j - F_b} e^{-kt_1}.$$

ჩავსვათ C მნიშვნელობა და მივიღებთ კონცენტრატის ფრაქციის რაოდენობის საანგარიშო ფორმულას:

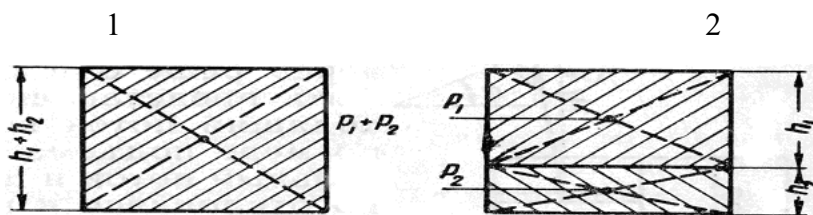
$$\gamma_j = \frac{F_b}{F_j - F_b} (e^{-kt_1} - e^{-kt}).$$

ანალოგიურად მიიღება მძიმე ფრაქციის საანგარიშო ფორმულა.

ამრიგად, როგორც ფორმულიდან ჩანს, დაღეკვის პროცესში წარმოქმნილი კონცენტრატის რაოდენობა დამოკიდებულია არა მარტო საწყის მასალაში კონცენტრატული ფრაქციის რაოდენობაზე, არამედ აგრეთვე დაღეკვის პროცესის ხანგრძლივობაზე.

დაღეკვის ენერგეტიკული ჰიპოთეზა. დაღეკვის ენერგეტიკული ჰიპოთეზა ჩამოაყალიბა მაიერმა, რომლის მიხედვით დაღეკვის პროცესში მასალის ფრაქციებად დაყოფა განპირობებულია მარცვალთა პოტენციური ენერგიების სხვადასხვაობით.

დავუშვათ, დასაღეკი მასალა შედგება P_1 წონის მსუბუქი და P_2 წონის მძიმე მინერალების ნარევისაგან. ნარევის საერთო სიმაღლე აღვნიშნოთ h_1+h_2 , h_1 და h_2 მსუბუქი და მძიმე ფრაქციათა შრეების სისქვა (სურ. 11. 2).



სურ. 11.2 დაღეკვის პროცესში მასალის განშრევების სქემა:

1 – განშრევებამდე; 2 – განშრევებული.

დაღეკვის პროცესში წარმოებს მასალის განშრევება ფრაქციებად. განშრევებამდე მასალის პოტენციური ენერგია

$$E_1 = (P_1 + P_2) \frac{h_1 + h_2}{2};$$

განშრევებული მასალის პოტენციალური ენერგია იქნება

$$E_2 = P_1 \frac{h_2}{2} + P_1 \left(h_2 + \frac{h_1}{2} \right).$$

განშრევებამდე და განშრევების შემდეგ პოტენციური ენერგიების სხვაობა განსაზღვრავს დაყოფის პროცესს:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = 0,5 \cdot (p_2 h_1 - P_1 h_2).$$

მაიერის მიხედვით, რაც მეტია მინერალების სიმკვრივეებს შორის სხვაობა, მით მეტია პოტენციურ ენერგიათა სხვაობა და უფრო ეფექტურია განშრევება. განხილული ჰიპოთეზებიდან პრაქტიკულად ყველაზე ფართო გავრცელება ჰპოვა სინქარულმა ჰიპოთეზამ, რომელიც სხვა ჰიპოთეზებთან შედარებით სრულყოფილად ასახავს დაღეჭვის პროცესს.

12. დახრილ სიბრტყეზე მოძრავ წყლის ნაკადში მინერალურ მარცვალთა დაყოფის ფიზიკური საფუძვლები

12. 1. დახრილ სიბრტყეზე წყლისა და მინერალურ მარცვალთა მოძრაობის კანონზომიერება

დახრილ სიბრტყეზე მოძრავ წყლის ნაკადში მინერალურ მარცვალთა სიმკვრივეების მიხედვით დაყოფა განხორციელებულია საკონცენტრაციო მაგიდებზე, რაბებზე, ხრახნულ სეპარატორებზე და მოძრეცხ ღარებში. მცირე სიღრმის ნაკადში, რომლის ზომა არ აღემატება მაქსიმალური მარცვლის 10-ჯერად ზომას, დაყოფის სიზუსტე დამოკიდებულია წყლის მოძრაობის კინემატიკურ სტრუქტურაზე. უკოვსკის მიხედვით, დახრილ სიბრტყეზე მოძრავი ნაკადის კინემატიკური სტრუქტურა დამოკიდებულია წყლის გრიგალური მოძრაობის ხასიათზე, რომელიც გამოწვეულია ფსკერის რელიეფით.

მინერალური მარცვლების შეტივტივება დახრილ სიბრტყეზე მოძრავ ნაკადში განპირობებულია გრიგალების ვერტიკალური მდგენელებით. ველიკანოვის გამოკვლევების მიხედვით, წარმოქმნილი გრიგალები ბრუნვით მოძრაობს. ამ შემთხვევაში გრიგალებს შორის სივრცეში წარმოიქმნება როგორც აღმავალი, ასევე დაღმავალი ნაკადები.

დახრილ სიბრტყეზე მოძრავი ნაკადის საშუალო სიჩქარე $V_{საშ} = \frac{2}{3} V_{ფსკ}$,

სადაც

$V_{ფსკ}$ ნაკადის ზედა შრის მოძრაობის სიჩქარეა.

ნაკადის შრე, რომელსაც მოძრაობის საშუალო სიჩქარე აქვს, დაშორებულია ფსკერიდან h მანძილით.

$$h = 0,0423$$

H - ნაკადის მთლიანი სიმაღლეა.

მოძრაობის დროს წარმოქმნილი გრიგალების ვერტიკალური სიჩქარე

$$U = KV_{ფ}$$

K – კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე.

$$K = 0,055 \div 0,165$$

როდესაც $V = 0,5 \div 3$ მ/წმ.

დახრილ სიბრტყეზე მოძრავ ნაკადში მოთავსებულ მარცვლებზე მოქმედებს შემდეგი ძალები:

1. სიმძიმის ძალა = mg_0 ;

$$2. \text{ ნაკადის დინამიური ძალა } \rho_{\text{დინ}} = \psi (V_{\text{საშ}} - V)^2 d^2 \Delta,$$

სადაც $V_{\text{საშ}}$ არის ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, მ/წმ;

V – მყარი სხეულის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, მ/წმ;

$V_{\text{საშ}} - V$ – სითხეში სხეულის მოძრაობის ფარდობითი სიჩქარე, მ/წმ;

d – სფერული ფორმის მარცვლის დიამეტრი, მ;

Δ – წყლის სიმკვრივე, კგ/მ³;

ψ – წინააღმდეგობის კოეფიციენტი.

3. ვერტიკალური სიჩქარის ამატივტივებელი ძალა

$$\rho_{\text{უ}} = \psi U^2 d^2 \Delta$$

სადაც U ნაკადის მოძრაობის დროს წარმოქმნილი გრიგალების ვერტიკალური სიჩქარეა, მ/წმ;

სიმძიმის ძალა შეგვიძლია დავშალოთ ორ მდგენელად: ნორმალური მდგენელად – $G \sin \alpha$ და ვერტიკალურ მდგენელად $G \cos \alpha$. მყარი სხეულის დახრილ სიბრტყეზე მოძრაობის მამუხრუჭებელი ძალა

$$F = (G \cos \alpha - \rho_{\text{უ}}) f$$

სადაც f – ხახუნის კოეფიციენტი.

მყარი სხეულის სითხეში მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას ჩვენი შემთხვევისათვის ექნება შემდეგი სახე:

$$m \frac{dV}{dt} = \rho_{\text{გ}} + G \sin \alpha - F.$$

როდესაც სხეულის მოძრაობის სიჩქარე გაუტოლდება მუდმივ სიდიდეს, მაშინ $\frac{dV}{dt} = 0$, და მივიღებთ:

$$\rho_{\text{გ}} + G \sin \alpha - F = 0$$

შევიტანოთ სათანადო მნიშვნელობები, მივიღებთ:

$$\psi (V_{\text{საშ}} - V)^2 d^2 \Delta + m g_0 \sin \alpha - (m g_0 \cos \alpha - \psi U^2 d^2 \Delta) f = 0, \text{ აქედან}$$

$$V_{\text{საშ}} - V = \sqrt{\frac{m g_0 \sin \alpha}{\psi d^2 \Delta}} = \sqrt{\frac{m g_0}{\psi d^2 \Delta} \cos \alpha \cdot f - \sin \alpha} - U^2 f.$$

სიდიდე $\frac{m g_0}{\psi d^2 \Delta}$ წარმოადგენს თავისუფალი ვარდნის სიჩქარის კვადრატს, რიტინგერის მიხედვით. მართლაც, თუ შევიტანოთ შესაბამის მნიშვნელობებს:

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \delta, \quad g_0 = \frac{\delta - \Delta}{\delta} g, \text{ მივიღებთ:}$$

$$\frac{\frac{\pi d^3 \delta}{6} \cdot \frac{\delta - \Delta}{\delta} \cdot g}{\psi d^2 \Delta} = \frac{\pi g}{6 \psi} \cdot d \frac{\delta - \Delta}{\Delta} = V_0^2$$

აქედან დახრილ სიბრტყეზე მოძრავ ნაკადში მარცვლების მოძრაობის სიჩქარე:

$$V - V_{საშ} = \sqrt{V_0^2 (\cos \alpha f - \sin \alpha) - U^2 f}.$$

12. 2. გამდიდრების პროცესში გამოყენებული მანქანა-დანადგარები

რაბი წარმოადგენს დახრილ ვიწრო ღარს, რომელიც გამოიყენება ოქროს ქვიშრობებისა და მძიმე ლითონების შემცველი მადნების გასამდიდრებლად. რაბები შეიძლება იყოს ორქიმიანი და სამქიმიანი.

რაბი წარმოადგენს პერიოდული მოქმედების აპარატს, რომლის ძირშიც დაფენილია სპეციალური დაღარული ზედაპირის მქონე რეზინი ან ქსოვილი. გასამდიდრებელი მასალა რაბებს მიეწოდება წყალთან ერთად. მძიმე ფრაქცია, რომლის სიმკვრივე მეტია თანმხლები ფუჭი ქანის მარცვლების სიმკვრივეზე, დაილექება რაბის ფსკერზე ტრაფარეტის ძირში, ხოლო მსუბუქი ფრაქცია ჩაირეცხება წყალთან ერთად. დაგროვილი მძიმე ფრაქციის განტვირთვა რაბებიდან წარმოებს პერიოდულად.

13 მმ-ზე უფრო მსხვილი მასალის გამდიდრება წარმოებს ღრმა გავსების რაბებზე, ხოლო უფრო მცირე ზომის მასალის გამდიდრება – მცირე გავსების რაბებზე.

დიდი სიმკვრივის წვრილმარცვლოვანი მასალის (0,3 მმ-მდე) გამდიდრებისათვის გამოიყენება ავტომატური რაბი, IIIA-1M.

მომრეცხი ღარი გამოიყენება ქვანახშირის გამდიდრებისათვის. რაბებისაგან განსხვავებით, მომრეცხ ღარებში განუწყვეტლივ წარმოებს მძიმე ფრაქციის განტვირთვა. მომრეცხი ღარების მუშაობის მაჩვენებელი დიდადაა დამოკიდებული ღარებში წყლის ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე, რაც განაპირობებს ნახშირების შეტივტივების სიმაღლეს. მომრეცხი ღარის ფსკერზე დამონტაჟებულია განმტვირთი კამერები.

საკონცენტრაციო მაგიდები გამოიყენება წვრილ-მარცვლოვანი მადნებისა და ნახშირების გამდიდრების პროცესში.

საკონცენტრაციო მაგიდები ორი სახისაა:

1. უძრავი საკონცენტრაციო მაგიდები,
2. მოძრავი საკონცენტრაციო მაგიდები – ლენტური და რხევადი.

უძრავი საკონცენტრაციო მაგიდები მიეკუთვნება პერიოდულად მომუშავე აპარატურას. გამოიყენება ოქროს ქვიშრობებისა და სხვა დიდი სიმკვრივის მქონე მეტალების გამდიდრების პროცესში.

ხრახნულ სეპარატორებში წიაღისეულის სიმკვრივის მიხედვით დაყოფა წარმოებს ცენტრიდანული ძალის საშუალებით.

13. მინერალურ მარცვალთა ცენტრიდანული ველით დაყოფა

ტრადიციული ტექნოლოგიური პროცესების (საკონცენტრაციო მაგიდები, ხრახნული სეპარატორები, სალექი მანქანები და რაბები) გამოიყენებით შეუძლებელია წვრილმარცვლოვანი კეთილშობილი და იშვიათი ლითონების ამოკრევის პრობლემის გადაწყვეტა.

უკანასკნელ წლებში ოქროს შემცველი მადნების გრავიტაციული გამდიდრების ტექნოლოგიური პროგრესს უკავშირდება ცენტრიდანული კონცენტრატორების შექმნა, რომლებშიც სიმკვრივეების მიხედვით დაყოფა განხორციელებულია ჰიდროდინამიკური, ცენტრიდანული, გრავიტაციული და არქიმედეს ძალების ურთიერთქმედებით.

ცენტრიდანული კონცენტრატორები გამოიყენება მინერალური ნედლეულის წვრილმარცვლოვანი დისპერსიული მასალის გასამდიდრებლად, რომელთა შემცველობა, მაგალითად, ოქროს ქვიშრობულ მადნებში საშუალოდ 40-60%-ია, ზოგჯერ 80-90%-საც აღწევს. აღნიშნული ზომის მასალის სიმკვრივეების მიხედვით გრავიტაციული ველით დაყოფა არაეფექტურია, რაც განპირობებულია მარცვალთა მცირედ განსხვავებული ვარდნის სიჩქარეებით. ცენტრიდანულ კონცენტრატორებში წვრილმარცვლოვანი მასალის გამდიდრება ეფექტურია, რადგან მათში გაყოფის ფაქტორი გრავიტაციულ ველთან შედარებით 100-ჯერ და მეტად იზრდება.

ცენტრიდანული კონცენტრატორები პულპის მიწოდების მიხედვით იყოფა ორ ჯგუფად:

1. დაწნევითი – ციკლონები (მოკლეკონუსური და ჩვეულებრივი);
2. არადაწნევითი – ცენტრიფუგები („ოროკონი“, „კნელსონი“, „ფალკონი“, „იტომაკი“ და სხვა).

მსოფლიოში ოქროს შემცველი მადნების გამდიდრების პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება „კნელსონის“, „ფალკონის“, „გოლდფელდის“, „ოროკონის“, „იტომაკის“ კონცენტრატორები, ККГЦ მოკლეკონუსური ჰიდროციკლონები და ცენტრიდანული სალექი მანქანები.

ცენტრიდანული კონცენტრატორების ძირითადი ტექნოლოგიური პარამეტრებია ჩამრეცხი წყლის წნევა და როტორის ბრუნვის სიჩქარე. ჩამრეცხი წყლის წნევა დამოკიდებულია გასამდიდრებელი მასალის ზომაზე და ცვალებადობს 0.01–0.05 მპა-ს ფარგლებში.

ცენტრიდანული კონცენტრატორები გამოირჩევა დიდი ხვედრითი მწარმოებლობით და ეფექტურობით, ენერგიის მცირე ელექტრო ხარჯით, მცირე წონითა და გაბარიტული ზომებით.

13.1. ჰიდროციკლონებში გამდიდრება.

სამთამადნო მრეწველობაში ციკლონები (კონუსურობის 10-20⁰ კუთხით), ჩვეულებრივ, გამოიყენება კლასიფიკაციისა და გაუშლამების პროცესში. ცნობილია, რომ კლასიფიკაციის პროცესში მარცვლის სიმკვრივე მცირე გავლენას ახდენს სიმსხოს მიხედვით მათ დაყოფაზე.

მეცნიერული კვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ კონუსურობის კუთხის 90-140⁰-მდე გაზრდით ჰიდროციკლონებში დაყოფა წარმოებს არა სიმსხოს მიხედვით, არამედ სიმკვრივეების მიხედვით.

ჰიდროციკლონები 90-140⁰-იანი კონუსურობის კუთხით (სურ.13.1) გამოიყენება წვრილმარცვლოვანი მასალის გასამდიდრებლად.

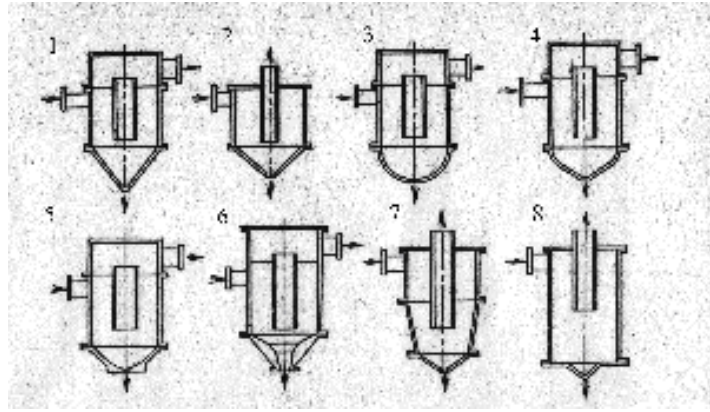
გამამდიდრებელი ჰიდროციკლონის მუშაობაზე დიდ გავლენას ახდენს კონსტრუქციული (დიამეტრი, კუთხე, კონუსის პროფილი, ცილინდრული ნაწილის სიმაღლე, მკვებავი, გადანადენი და სილების ნაცმის დიამეტრის ზომები) და ტექნოლოგიური (საწყისი მასალის ზომა, პულპის წნევა და განზავება) პარამეტრები.

ციკლონის დიამეტრი უნდა შეესაბამებოდეს გასამდიდრებელი მასალის ზომასა და მწარმოებლობას. ცენტრიდანული კლასიფიკაციის თეორიის მიხედვით გასაყოფი მასალის სიმსხო პროპორციულია სიდიდის, \sqrt{D} ე.ი., გადანადენში წმინდა მასალის გამოყოფა შესაძლებელია პატარა დიამეტრის ჰიდროციკლონებში. მოკლეკონუსიან ჰიდროციკლონებში დიამეტრის ზრდასთან ერთად იზრდება როგორც წმინდა, ასევე მსხვილმარცვლოვანი მასალის გამდიდრების ტექნოლოგიური მაჩვენებლები. ეს ეფექტი არ აიხსნება მასალის ცენტრიდანული დაყოფის პოზიციიდან, რადგან ჰიდროციკლონის დიამეტრის გაზრდით მცირდება ცენტრიდანული აჩქარება და იზრდება ნაკადის ტურბოლენცობა, რაც დაკავშირებულია კონუსურ ნაწილში სეპარაციის პროცესის თავისებურებაზე, რაც, ჯერჯერობით, სრულყოფილად არ არის შესწავლილი.

კონუსურობის კუთხის გაზრდით მცირდება სილების გამოსავალი და მასალის კლასიფიკაციის ეფექტურობა, მაგრამ იზრდება გამდიდრების ეფექტურობა.

უხეშდისპერსიული მასალის გასამდიდრებლად მიზანშეწონილია 120-140⁰ - იანი კუთხის კონუსი, ხოლო წვრილმარცვლოვანი (74-44 მიკრონზე მცირე) მასალისათვის ეფექტურია 90-120⁰ - იანი კონუსურობის კუთხის ჰიდროციკლონები.

კონუსის პროფილი სხვადასხვა ტიპის ჰიდროციკლონებში სხვადასხვაა. ცნობილია მოკლეკონუსური ჰიდროციკლონები კონუსური ნაწილის სხვადასხვა პროფილით – ერთსაფეხურიანი და სამსაფეხურიანი კონუსით, ნახევრადსფერული და კომბინირებული (სურ. 13.1).



სურ. 13.1. სხვადასხვა კონსტრუქციის მოკლევადიანი ჰიდროციკლონები:
 1, 3, 5, 6, 7 - ა.შ.შ; 2 - რუსეთი; 4 - პოლონეთი; 8 - გერმანია.

კანადის პრაქტიკული მონაცემებით ოქროს ქვიშრობული მადნების გასამდიდრებლად სამსაფეხურიანი პროფილის კონუსის გამოყენება საშუალებას იძლევა გავზარდოთ თავისუფალი ოქროს ამოკრეფა.

ცილინდრული ნაწილის სიმაღლის გაზრდა მუდმივი მწარმოებლობის დროს იწვევს წნევისა და საგების მარცვალთა გადაადგილების სიჩქარის შემცირებას. მაშასადამე, მცირდება საგების ფორიანობა და სეპარაციის ეფექტურობა. გ. ლოპატინის ექსპერიმენტული მონაცემებით ცილინდრული ნაწილის ოპტიმალური სიმაღლე მისი დიამეტრის 1-1.5-ია, ე.ი., $H = (1-1.5)D$, ხოლო გადანადენის მილყელის სიმაღლე არ უნდა აღემატებოდეს ცილინდრის სიმაღლეს.

მკვებავი, გადანადენის მილყელისა და სიღების ნაცმის დიამეტრი გავლენას ახდენს გამდიდრების ტექნოლოგიურ მაჩვენებლებზე; ოპტიმალური მნიშვნელობის გაზრდით ან შემცირებით უარესდება გაყოფის ეფექტურობა. ოპტიმალური მნიშვნელობა დამოკიდებულია ჰიდროციკლონის დიამეტრზე, ხოლო მათი თანაფარდობა – მიწოდებული პულპის წნევაზე.

$$\text{მკვებავი მილტუხის დიამეტრი } d_{\text{მკვ}} = 0.2D$$

$$\text{გადანადენის მილყელის დიამეტრი } d_{\text{გად}} = (0.232 - 0.256)D$$

$$\left(\frac{d_{\text{გად}}}{d_{\text{მკვ}}} \right)^2 = 3 - 1.67H$$

სადაც H მიწოდებული პულპის წნევა $H = 0.08 \div 0.12$ მ.პა. გამამდიდრებელი ჰიდროციკლონებისათვის, რომლებსაც პულპა მიეწოდება 0.08-0.1 მ.პა. წნევით, რეკომენდებულია გადანადენისა და მკვებავი მილტუხის დიამეტრთა შემდეგი ოპტიმალური თანაფარდობა:

$$\frac{d_{\text{გად}}}{d_{\text{მკვ}}} = 1.16 \div 1.28,$$

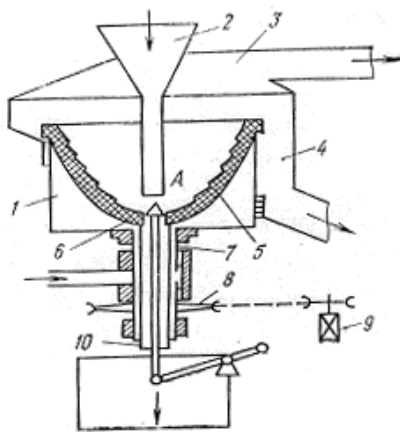
ხოლო სიღებისა და გადანადენის დიამეტრთა თანაფარდობა ცვალებადობს

$$d_s/d_{კაღ} = 0.15 - 0.4.$$

მაშასადამე, გამამდიდრებელ ჰიდროციკლონებში მინერალის მარცვალთა დაყოფის ეფექტურობა დამოკიდებულია გადანადენისა და სიღების ნაცმის ზომებზე, რომელთა ოპტიმალური მნიშვნელობების დადგენა წარმოებს ექსპერიმენტების საშუალებით.

13.2. კონცენტრატორებში გამდიდრება

არადაწნევით ცენტრიდანულ კონცენტრატორებში (სურ. 13.2.) ცენტრიდანული ძალა წარმოიქმნება კონუსური პერფორირებული როტორის ბრუნვის შედეგად, რომელიც წარმოადგენს მის მუშა ნაწილს. კონცენტრატორები ოროკონი, “კნელსონი”, “ვალკონი” ერთმანეთისგან მასალის გაფხვიერების ხერხის მიხედვით განსხვავდება.



სურ. 13.2. ცენტრიდანული კონცენტრატორის სქემა:

- 1 – ცილინდრული კორპუსი; 2 – მკვებავი მილი; 3 – ხუფი; 4 – გადანადენის ღარი;
5, 6 – პერფორირებული ჯამი; 7 – ლილვი; 8, 9 – ამძრავი; 10 – კონცენტრატორის განმტვირთი მილი.

ცენტრიდანულ კონცენტრატორებში მინერალური ნედლეულის გამდიდრების ეფექტურობა დამოკიდებულია საწყის მასალაში სასარგებლო კომპონენტის მარცვლის ზომასა და დაყოფის ფაქტორებზე (ცხრ. 13.1; 13.2).

ცხრილი. 13.1

კონცენტრატორის ტიპი	გაყოფის ფაქტორის მნიშვნელობა, F _გ .		εK
	ოპტიმალური	მაქსიმალური	
ოროკონი (ა.შ.შ)	8	10-15	0.25
კნელსონი (კანადა)	60	100	0.65
ფალკონი (კანადა)	200	300	0.40
MGS (დიდი ბრიტანეთი)	5-15	15	1.0
კელსეუ (ავსტრალია)	6	100	0.85

ცხრილი. 13.2

მძიმე მარცვლის ზომა, მ.მ.	ფეროსილიციუმის ამოკრეფა, %.		ვოლფრამის ამოკრეფა, %.	
	ЦБК-100	„კნელსონი“-3	ЦБК-100	„კნელსონი“-3
160	75.5	99.8	99.5	99.9
130	90.1	99.2	99.8	99.9
100	98.1	99.1	99.9	99.9
70	99.5	94.2	99.9	99.9
40	94.5	84.2	99.7	99.6
20	81.7	60.7	96.2	95.1
15	66.7	28.3	84.3	85.0
10	39.0	15.1	65.5	62.3

14. გრაფიტაციული გამდიდრების გამოყენება პრაქტიკაში

გამდიდრების გრაფიტაციული პროცესები ფართოდ გამოიყენება მსხვილმარცვლოვანი ჩაწინწკლულობის ლითონური, არალითონური და საწვავი წიაღისეულის გამდიდრების პრაქტიკაში.

მძიმე სუსპენზიებში გამდიდრება ეფექტურად გამოიყენება ნებისმიერი გამდიდრებადობის მსხვილი კლასის (300-13 (10) მმ) ნახშირებისა და (150-6 მმ) მადნების გასამდიდრებლად.

შედარებით წვრილმარცვლოვანი (6-0,2 მმ) წიაღისეულის გამდიდრება შესაძლებელია ცენტრიდანული ველით დამყოფ სუსპენზიურ სეპარატორებში.

მძიმე სუსპენზიებში წიაღისეულის წინასწარი გამდიდრებით შესაძლებელია 25-დან 80 % -მდე სუფთა კუდების გამოყოფა, რაც 1,5-2-ჯერ ზრდის არსებული გამამდიდრებელი ფაბრიკის წარმადობას და 25-30%-ით ამცირებს წიაღისეულის გადამუშავების თვითღირებულებას.

პროცესის დაყოფის სიზუსტე და ტექნოლოგიური ეფექტურობა საშუალებას გვაძლევს გავამდიდროთ ღარიბი მადნები და ზოგიერთი გრაფიტაციული ფაბრიკის დასაწყობებული კუდები.

დალექვის პროცესით შესაძლებელია 50-0,25 მმ სიმსხოს მადნებისა და 120-0,5 მმ ზომის ნახშირების გამდიდრება. მადნების დალექვა განხორციელებულია ვიწრო კლასიფიკაციის სკალით.

საკოქსე ნახშირებს ორ სამანქანო კლასად +13(10)მმ და -13(10)მმ ყოფენ, ხოლო ენერგეტიკული ნახშირების გამდიდრებისას განხორციელებულია არაკლასიფიცირებული დალექვა.

დახრილ სიბრტყეზე მოძრავი წყლის ნაკადში გამდიდრება (საკონცენტრაციო მაგიდები, რაბები, ხრახნული სეპარატორები, ჭავლური, ვიბრაციული და ცენტრიდანული კონცენტრატორები) ფართოდ გამოიყენება ქვიშრობული მადნების გამდიდრების პრაქტიკაში. გრაფიტაციული გამდიდრების პრაქტიკული მონაცემები მოცემულია ცხრილებში. 14.1-14.7.

14. 1. გრავიტაციული გამდიდრების პრაქტიკული მონაცემები

ცხრილი 14.1.

ჭიათურის მანგანუმის მამდიდრებელ ფაბრიკებში გამოყენებული სალექი მანქანების მუშაობის რეჟიმი

ფაბრიკა	მანქანის მარკა	მასალის ზომა, მმ	მანქანის მუშაობის რეჟიმი					ეღ. ქვერგვის ხარჯი, კვტ.სთ/ტ	შემცველობა, %		ამოკრეფვა, %
			ამკლიტულა მმ	პულსაციის სიხშირე, რს/წთ	საგების სიმძლავრე მმ	ხვედრითი წარმადობა ტ/მ².სთ	წელის ხარჯი, მმ/ტ		კონცენტრატორი	კუდები	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ც.ბ.ფ. (ჭიათურა)	მოდრავ ცხრილიანი	-16+12	35-45	90-140	130-170	6-8	3.5-5	0.4-0.55	49.7	7.4	85
№25-ბის (ჭიათურა)	მოდრავ ცხრილიანი	„—“ - 25+12	40-50	100-105	120-180	5-7.5	3.5-5.8	0.5-0.75	46-47	14.2	85
№29 ფ. (ჭიათურა)	მოდრავ ცხრილიანი	„—“ - 20+10	55-60	90	160	„—“	3-3.5	„—“	51.9	10.8	86
ა.ბ.ფ. „ღარკვეთი“ (ჭიათურა)	მოდრავ ცხრილიანი	„—“ 35+20	80	75	150-160	9-12.5	5-6	0.35-0.45	48.3	10.5	80
„გრუმეკის“ (ნიკოპოლი, უკრაინა)	მოდრავ ცხრილიანი	„—“ -35+3	38	150	150-160	5.5	4	0.6	43.5	6.8	70
ც.ბ.ფ. (ჭიათურა)	OBM-5	„—“ -3+0	3-4	400	ხელ.საგ. 6-10მმ 70-100	4-5	2.5-3.0	0.45	49.6-50.8	16.6	83.4
ც.ბ.ფ. (ჭიათურა)	МОД-3	-2+0	4-5	350	35-40	4-5	3.0	0.5-0.6	51.5	8.6	70
25-ბის (ჭიათურა)	МОБК-6 P-02 ატ.	- 25+12	180	30	ხელ.საგ. 6-8მმ	7.5-9	5.5-6.6	—	46.8	—	92.8

უღვეშო სალექ მანქანებში ნახშირების გამდიდრების პროდუქტების ფრაქციული შედგენილობა

ნახშირის ზომა,მმ	ფრაქციის სიმკვრივე, კგ/მ ³	გამოსავალი %		
		კონცენტრატი	შუალედური პროდუქტი	კულები
13-0	<1500	97.5	30.4	0.5
	1500-1800	2.0	46.2	4.6
	>1800	0.5	23.4	94.9

სუსპენზიურ ჰიდროციკლონებში ნახშირის (13-0 მმ) გამდიდრების შედეგები

ჰიდროციკლონების ტექნოლოგიური პარამეტრები			სუსპენზიის სიმკვრივე, კგ/მ ³	ფრაქციის სიმკვრივე, კგ/მ ³	საწყისი ნახშირი		კონცენტრატი			შუალედური პროდუქტი		
ჰიდროციკლონის დატვირთვა მ ³ /სთ	ნაცმის დიამეტრი, მმ				გამოსავალი, %	ნაცრიანობა, %	გამოსავალი % ოპერაციიდან,	გამოსავალი, % საწყისიდან,	ნაცრიანობა, %	გამოსავალი, % ოპერაციიდან	გამოსავალი, % საწყისიდან,	ნაცრიანობა, %
	გადანადენი	სიღების										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
300-350	150	70	1.35	<1500	63.5	6.5	90.5	54.7	6.2	22.3	8.8	8.4
				1500-1800	8.7	24.3	5.1	3.1	16.8	14.2	5.6	28.4
				>1800	27.8	80.4	4.6	2.8	60.1	63.5	25.0	82.7
საწყისი					100	28.6	100	60.6	9.2	100	39.4	58.4

სხვადასხვა კონუსურობის კუთხის ჰიდროციკლონებში ნახშირის (<3მმ) გამდიდრების შედეგები

კონუსურობის კუთხე, გრადუსი	საწყისი ნახშირის ნაცრიანობა, %	კონცენტრატი		კუდები		გაყოფის ცდომილება, გრ/სმ ³	ფუკტურობის კოეფიციენტი
		გამოსავალი, %	ნაცრიანობა, %	გამოსავალი, %	ნაცრიანობა, %		
20	20.3	32.6	6.8	67.4	26.5	0.28	6.3
30	20.8	34.2	6.2	65.8	28.7	0.22	8.2
60	21.4	55.9	6.1	44.1	40.8	0.12	21.1
80	21.4	61.8	5.2	38.2	47.5	0.09	30.9
120	20.1	72.2	5.5	27.8	56.8	0.06	49.2

მოკლევკონუსურ ჰიდროციკლონში ნახშირის გამდიდრების შედეგები (ა.შ.შ.)

მასალის ზომა, მმ	კვება			გადანადენი			სიღები		
	გამოსავალი, %	ნაცრიანობა, %	გოგირდის შემცველობა, %	გამოსავალი, %	ნაცრიანობა, %	გოგირდის შემცველობა, %	გამოსავალი, %	ნაცრიანობა, %	გოგირდის შემცველობა, %
-0.883+0.589	8.11	7.8	2.14	6.52	3.2	0.82	17.71	24.5	7.44
-0.589+0.417	11.46	9.6	3.44	10.35	3.6	0.91	17.47	41.4	15.28
-0.417+0.295	11.75	10.7	4.09	13.37	3.8	0.93	18.79	49.2	19.44
-0.295+0.208	13.99	9.9	4.19	12.79	4.2	0.98	15.32	54.6	22.28
-0.208+0.147	11.33	9.8	4.39	9.99	4.5	1.03	12.10	57.3	29.22
-0.147+0.104	7.07	9.2	3.96	8.06	5.5	1.34	7.18	56.9	31.7
-0.104+0.074	7.32	9.5	3.80	6.97	6.4	1.72	5.44	55.4	34.12
-0.074+0.043	6.36	9.2	3.60	8.02	9.9	2.40	3.34	53.3	33.5
-0.043+0	22.61	12.7	1.86	23.93	12.9	1.64	2.65	30.5	13.0
სულ	100.0	10.29	3.34	100.0	6.84	1.31	100.0	45.8	20.20

საკონცენტრაციო მაგიდის ტექნოლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობები

მასალის მაქსიმალური ზომა, მმ	ამპლიტუდა, მმ	რხევის სიხშირე, წთ	მასალის მაქსიმალური ზომა, მმ	ამპლიტუდა,მმ	რხევის სიხშირე, წთ
3.0	24	200	0.8	17	262
2.5	23	208	0.6	16	277
2.36	22	210	0.5	15	287
2.15	22	215	0.4	14	300
2.0	21.5	217	0.3	13	319
1.5	20	230	0.2	12	315
1.4	20	234	0.1	10	396
1.2	19	239	0.07	9	426
1.0	18	250	0.04	8	470

CK-ტიპის საკონცენტრაციო მაგიდაზე იშვიათ ლითონთა მადნების გამდიდრების ტექნოლოგიური მაჩვენებლები

მაგიდის ტექნოლოგიური პარამეტრები			მასალის ზომა,მმ	პროდუქტი	გამოსავალი, %	შემცველობა, %	ამოკრეფა, %
ამპლიტუდა, მმ	რხევის სიხშირე,წთ	წარმადობა, ტ/სთ					
18-20	300	8-10	-2+0.8	კონცენტრატი	25	15	75
				შუალედური პროდუქტი	50	2	20
				კუდები	25	1	5
				საწყისი მადანი	100	5	100

15. გრაფიტაციული გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემები

ტექნოლოგიური სქემისა და ცაკლეული ოპერაციების შერჩევა წარმოებს კვლევითი სამუშაოებისა და ანალოგიური პროცესით მომუშავე მოწინავე გამამდიდრებელი ფაბრიკების პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე. შესადარებელი ვარიანტების წინასწარი შერჩევა წარმოებს პრაქტიკისა და გამდიდრების თეორიის ზოგადი პრინციპების საფუძველზე. შემდეგ აწარმოებენ შესაბამის ტექნიკურ-ეკონომიკურ გაანგარიშებებს, რომელთა საფუძველზეც წარმოებს გასამდიდრებელი წიაღისეულის ტექნოლოგიური პროცესის ყველაზე ეკონომიური ვარიანტის შერჩევა.

15. 1. საწვავი წიაღისეულის გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემები

ნახშირის გამდიდრების სქემის შერჩევისათვის ძირითადი ფაქტორებია გამდიდრების მეთოდები, გამდიდრების სიღრმე, ნახშირის გამდიდრებადობის უნარი, გამდიდრების საბოლოო პროდუქტებისადმი მომხმარებლის მიერ წაყენებული მოთხოვნები.

მოგვეყავს საკოქსე და ენერგეტიკული ნახშირების გამდიდრების ზოგიერთი ტიპური სქემა.

სარეცხ ღარებში გამდიდრების ტექნოლოგია ითვალისწინებს ადვილგამდიდრებადი რიგითი ნახშირის წინასწარ გაცხრილვას, მსხვილი კლასის, 50მმ-იან დამსხვრევას, ორ სამანქანო კლასად კლასიფიკაციას, თითოეულის სარეცხ ღარებში გამდიდრებას და შლამების ფლოტაციას.

პნევმატიკური გამდიდრება გამოიყენება არატენტევადი მშრალი ნახშირების გასამდიდრებლად. დამსხვრევის შემდეგ ნახშირს ყოფენ ორ-სამ სამანქანო კლასად, რომლებსაც ცალ-ცალკე ამდიდრებენ, მსხვილ კლასს—პნევმატიკურ სეპარატორებში, ხოლო წვრილს—პნევმატიკურ სალექ მანქანებში.

სალექ მანქანებში გამდიდრების წინ რიგითი ნახშირიდან წინასწარი გაცხრილვით გამოყოფენ >80 (100,125) მმ-ზე უფრო მსხვილ ნატეხებს, რომლებსაც ამსხვრევენ და დანარჩენ ნახშირთან შერევის შემდეგ ცხრილზე ყოფენ მსხვილ და წვრილ სამანქანო კლასებად. თითოეულ კლასს ცალ-ცალკე ამდიდრებენ ჰიდრაულიკურ სალექ მანქანებში. მსხვილ შუალედურ პროდუქტს ამსხვრევენ და წვრილ შუალედურ პროდუქტებთან ერთად ამდიდრებენ საკონტროლო სალექ მანქანებში, ხოლო შლამებს—ფლოტაციური მეთოდით.

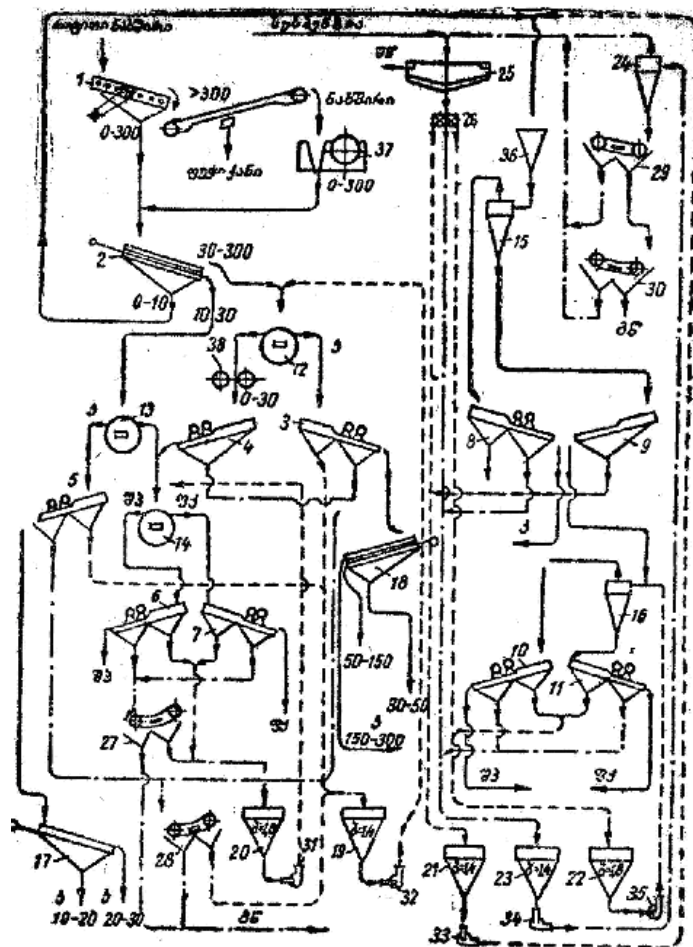
მძიმე სუსპენზიან სეპარატორებში ნახშირის გამდიდრება არის გამდიდრების ყველაზე ეფექტური თანამედროვე მეთოდი. ამ მეთოდით ნახშირის გამდიდრების პრაქტიკული მაჩვენებლები უახლოვდება თეორიულად შესაძლებელ მაჩვენებლებს. ეს მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია ძნელადგამდიდრებადი ნახშირების გასამდიდრებლად.

მძიმე სუსპენზიან სეპარატორებში ნახშირის გამდიდრების უპირატესობა გრავიტაციული გამდიდრების სხვა მეთოდებთან შედარებით ის არის, რომ ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა გამდიდრებულ იქნეს ნებისმიერი კატეგორიის ნახშირი.

მძიმე სუსპენზიაში გასამდიდრებელი ნახშირის სიმსხოს ზედა ზღვარი მაღალია (200-600მმ), რაც საშუალებას იძლევა ეს მეთოდი გამოვიყენოთ აგრეთვე მსხვილი რიგითი ნახშირიდან (სამთო მასიდან) ქანების ამორჩევის პროცესის მექანიზაციისათვის.

ნახშირის გამდიდრების პრაქტიკაში მძიმე სუსპენზიანი სეპარატორები ძირითადად გამოიყენება 300-13 მმ სიმსხოს კლასის გამდიდრებისათვის. რაც შეეხება ნახშირის უფრო წვრილი კლასების მძიმე სუსპენზიაში გამდიდრებას, პრაქტიკაში ჯერ იშვიათად იყენებენ და ისიც ცენტრიდანულ ველში (ჰიდროციკლონებში, ცენტრიფუგებში და სხვა).

მძიმე სუსპენზიაში გამდიდრება წარმოებს სუსპენზიის გადატანით და ბრუნვითი მოძრაობის სეპარატორებში. სუსპენზიის გადატანითი მოძრაობის სეპარატორებში ნახშირისა და ფუჭი ქანების ნატეხების დაყოფა წარმოებს სიმძიმის ძალის გავლენით, ხოლო სუსპენზიის ბრუნვითი მოძრაობის სეპარატორებში—ცენტრიდანული ძალების ზემოქმედებით. პროცესის პირველ სახესხვაობას იყენებენ მსხვილი (>6(10)მმ) ნახშირის გამდიდრებისათვის, ხოლო მეორე სახესხვაობას—წვრილი [10 (6)–0.5 (2)მმ] ნახშირის გასამდიდრებლად.



სურ. 15.1. მძიმე სუსპენზიან სეპარატორებში ნახშირის გამდიდრების აპარატის აპარატის სქემა:

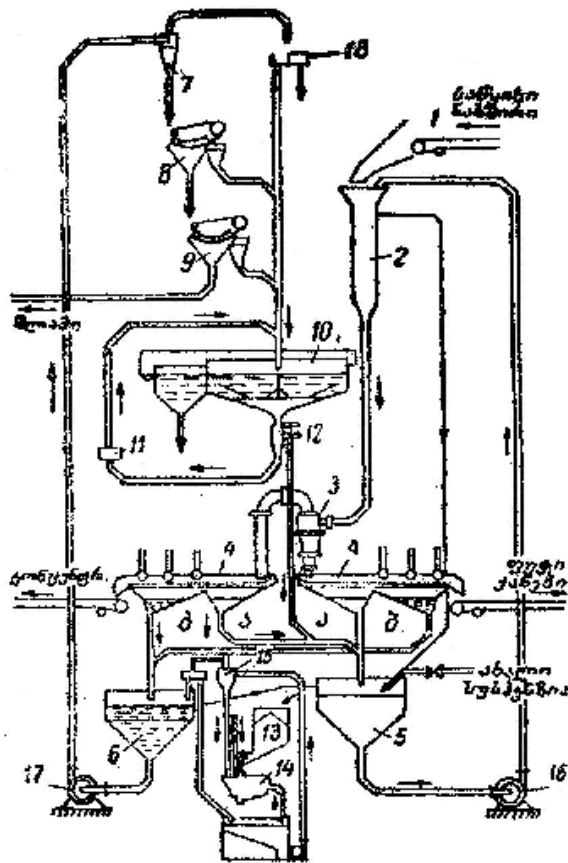
1 – ცხრილი რიგითი ნახშირისათვის; 2 – ცხრილი სამანქანო კლასებად კლასიფიცირებისათვის; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 – ცხრილები გაუწყლოებისა და გამდიდრების პროდუქტებიდან სუსპენზიის მოცილებისათვის; 12, 13, 14 – სეპარატორები ელექტორული ბორბლით მსხვილი ნახშირის გამდიდრებისათვის; 15, 16 – სეპარატორები ჰიდროციკლონებით წვრილი ნახშირის გამდიდრებისათვის; 17, 18 – ცხრილები კონცენტრატის კლასიფიკაციისათვის; 19, 20, 21, 22 – მუშა სუსპენზიის ავზები; 23 – განზავებული სუსპენზიის ავზები; 24 – ჰიდროციკლონი სუსპენზიის შესქელებისათვის; 25 – შემასქელებელი სუსპენზიისათვის; 26 – სუსპენზიის სიმკვირვის რეგულატორი; 27, 28, 29, 30 – მაგნიტური სეპარატორები; 31, 32, 33, 34, 35 – ტუმბოები სუსპენზიის გადასატუმბად; 36 – კონუსური ავზი; 37, 38 – სამსხვრეველები.

მძიმე გარემოიანი სეპარატორების სამრეწველო დანადგარების მუშაობის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ნახშირის სიმსხოს ქვედა ზღვარი, რომელსაც სუსპენზიებში სტატიკურ პირობებში ამდიდრებენ, 10 მმ-ე ნაკლები არ უნდა იყოს. 10 მმ-ზე ნაკლები სიმსხოს ნახშირი მიზანშეწონილია გამდიდრდეს სალექ მანქანებში, რადგან წვრილი ნახშირის მძიმე სუსპენზიაში გამდიდრებისას საკმაოდ ზუსტი დაყოფის მიღწევა პრაქტიკულად გართულებულია.

წვრილი ნახშირის გამდიდრება სუსპენზიან ციკლონ-სეპარატორებში შესაძლებელია განხორციელდეს ნებისმიერ მძიმე სუსპენზიაში (მაგნეტიტის, ბარიტის ან სხვა დამამძიმებლის გამოყენებით).

წვრილი ნახშირის (0–10 მმ სისხოს) ციკლონ-სეპარატორში მაგნეტიტურსუსპენზიან გარემოში გამდიდრების სქემა მოცემულია 15.2 სურათზე.

გამდიდრების წინ კონვეიერის (1) საშუალებით ნახშირი მიეწოდება შემრევს (2), სადაც წარმოებს მისი შეზავება სუსპენზიასთან, ხოლო შემდეგ საჭირხნი მილგაყვანილობით მიეწოდება ჰიდროციკლონ-სეპარატორს (3); ციკლონში ცენტრიდანული ძალისა და მძიმე გარემოს მოქმედების შედეგად წარმოებს ნახშირის დაყოფა მძიმე და მსუბუქ ფრაქციებად, რომლებიც შემდეგ მიეწოდება გამაუწყლოებელ ცხრილებზე (4). ცხრილების პირველ ნახევარზე გამდიდრების პროდუქტებიდან სიმძიმის ძალის გავლენით გამოიყოფა კონდიციური სუსპენზია, ხოლო მეორე ნახევრიდან დამამძიმებელს ჩამორეცხავენ წყლით, რომლის რეგენერაცია განხორციელებულია მაგნიტური მეთოდით.



სურ. 15.2. ჰიდროციკლონში წვრილი ნახშირის გამდიდრების აპარატა ჯაჭვის სქემა:

- 1 – კონვეიერი; 2 – შემრევი; 3 – ჰიდროციკლონ-სეპარატორი; 4 – ცხრილები გამდიდრების პროდუქტების გაუწყლოებისა და მორეცხვისათვის; 5 – სალექარი ძაბრი მუშა სუსპენზიისათვის; 6 – სალექარი ძაბრი განზავებული სუსპენზიისათვის; 7 – ჰიდროციკლონი-შემასქელებელი; 8, 9 – ლენტური მაგნიტური სეპარატორები; 10 – რადიალური შემასქელებელი; 11 – დიაფრაგმიანი ტუმბო; 12 – ავტომატური რეგულირების სარქველი; 13 – ბუნკერიმაგნეტიტისათვის; 14 – ბურთულებიანიწისქვილი; 15 – ჰიდროციკლონი-კლასიფიკატორი; 16 და 17 – ტუმბოები; 18 – სუფთა წყლის ავზი.

თანამედროვე მაღალმწარმოებლურ მამდიდრებელ ფაბრიკებში ნახშირის გასაშუალება წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ტექნოლოგიურ ოპერაციას. იმის გამო, რომ ცენტრალურ მამდიდრებელ ფაბრიკებს ნახშირი მიეწოდება რამდენიმე შახტიდან (კარიერიდან) სხვადასხვა ხარისხობრივი მახასიათებლით, სტაბილური ხარისხის კონცენტრატის მისაღებად საჭიროა სხვადასხვა შახტის ნახშირის ეფექტური შერევა გარკვეული პროპორციით.

მამდიდრებელ ფაბრიკებში გამასაშუალოებელი მოწყობილობა, ჩვეულებრივ, შედგება მთელი რიგი სააკუმულაციო ბუნკერებისაგან, რომელთა ჩატვირთვა და განტვირთვა წარმოებს გარკვეული წესით. ნახშირების მოცულობითი წილი,

რომელიც მიეწოდება თითოეული ბუნკერიდან, რეგულირდება სადოზავი მოწყობილობით. თანამედროვე ფაბრიკებში ეს ოპერაცია ავტომატიზებულია.

სააკუმულაციო ბუნკერების საერთო ტევადობა სხვადასხვა ფაბრიკაში ცვალებადობს ორი საათის მარაგიდან ერთი დღე-ღამის მარაგამდე.

განხილული ტექნოლოგიური სქემების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია გამოვეყოთ გამდიდრების ძირითადი ტექნოლოგიური ოპერაციები, რომლებიც თანამედროვე მამდიდრებელ ფაბრიკებშია გამოყენებული.

1. ნახშირების მომზადება – გასაშუალოება, სველი კლასიფიკაცია, გაუშლამება;

2. გამდიდრება – მსხვილი კლასებისათვის მძიმეგარემოიანი სეპარაცია, წვრილი კლასებისათვის – დალექვა, ნახშირის შლამებისათვის – ფლოტაცია;

3. გაუწყლოება – კონცენტრატებიდან წყლის მოცილება ცხრილებზე, ელვატორიან ბაგერ – ზუმფებში; წვრილი კლასებისათვის – ცენტრიფუგვა, ფილტრაცია; ფლოტოკონცენტრატის გაშრობა, ფლოტაციური კუდების ფლოკულაცია და შესქელება.

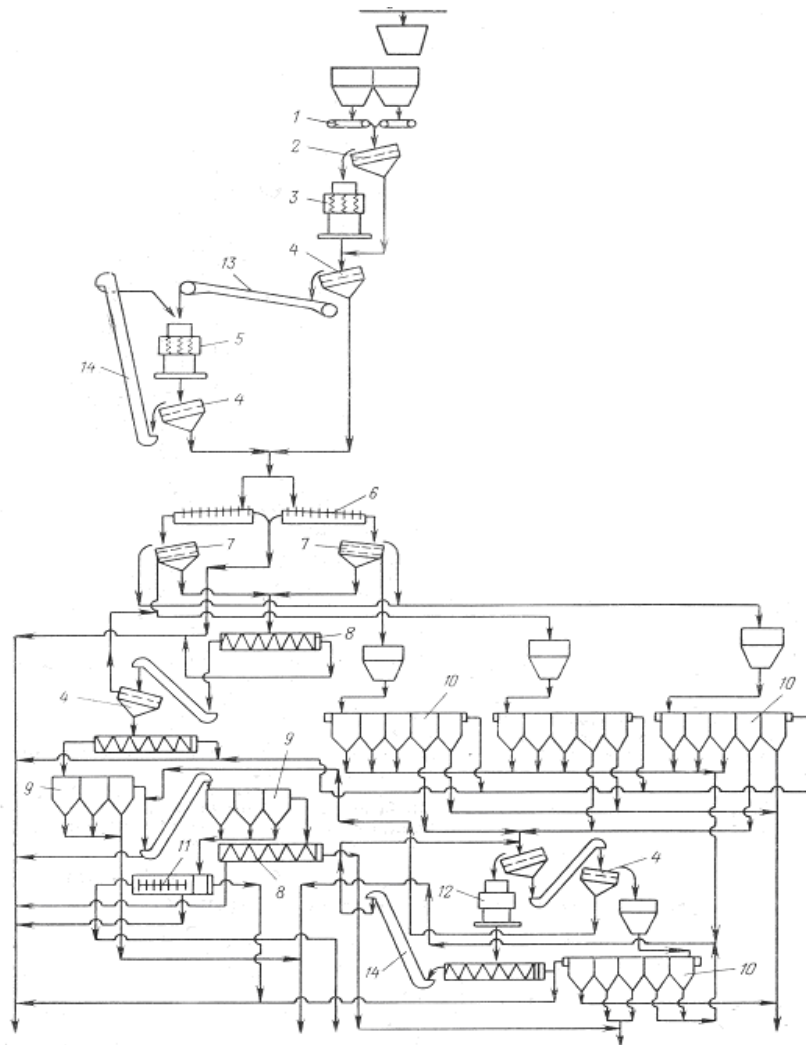
ამრიგად, უნდა ვიფიქროთ, რომ ნახშირების გამდიდრების ტექნოლოგიურ სქემებში დალექვა და მძიმეგარემოიანი სეპარაცია წამყვან როლს შეინარჩუნებს.

15. 2. ლითონური წიაღისეულის გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემები

მადნების გამდიდრების პრაქტიკაში ძირითადად გამოიყენება კომბინირებული სქემები, რომლებიც, ჩვეულებრივ, მოიცავენ სხვადასხვა პროცესებს – კომბინირებულია სხვადასხვა მადნის გამდიდრებისას, ზოგჯერ მსხვილი კლასისათვის გამოიყენება მძიმე გარემო და დალექვა, წვრილი მასალისათვის საკონცენტრაციო მაგიდები, ცენტრიდანული კონცენტრატორები და ფლოტაცია. ტექნოლოგიურ სქემაში რამდენიმე პროცესის შერწყმა სასარგებლო კომპონენტის მაქსიმალური ამოკრეფისა და მადნის კომპლექსური გამოყენების საშუალებას იძლევა.

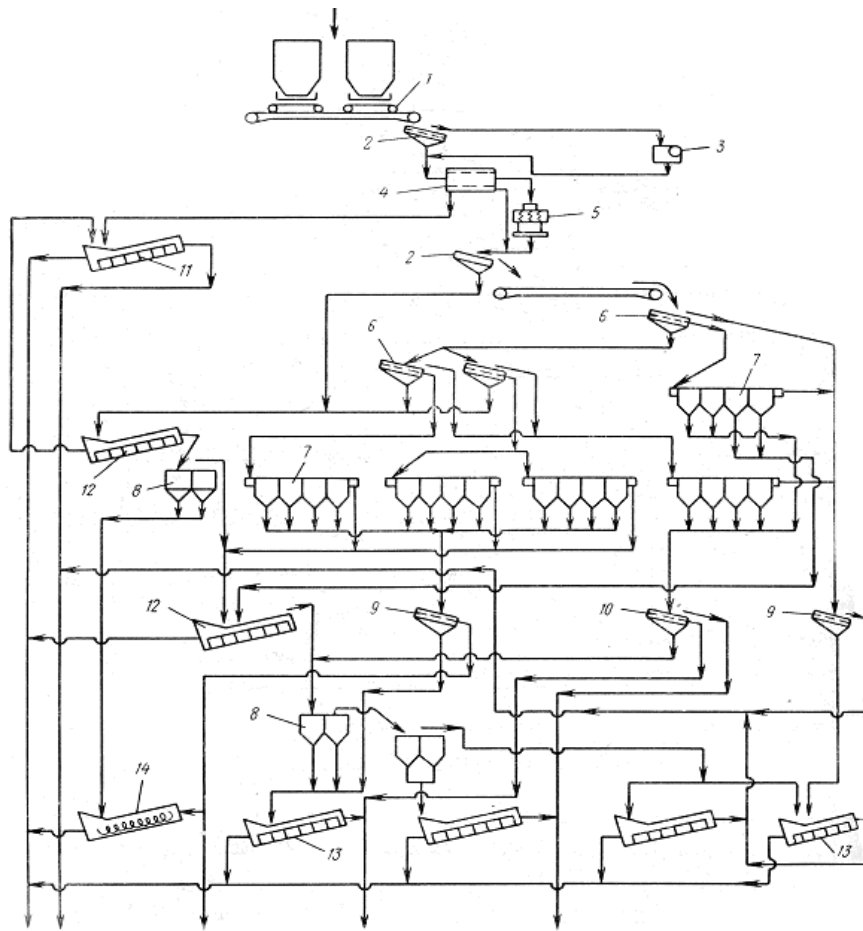
15.3 და 15.4 სურათებზე მოცემულია ჭიათურის მანგანუმის მადნების (ჟანგეული, პეროქსიდული) გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემები. საწყისი მადნები დამსხვრევისა და მორეცხვა-კლასიფიკაციის შემდეგ მდიდრდება დალექვით: მსხვილი კლასები მოძრავცხავიან (შტაუხი), ხოლო წვრილი – დიაფრაგმულ სალექ მანქანებზე.

15.5 სურათზე მოცემულია ოქროს შემცველი ქვიშრობული მადნების გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს საწყისი მადნების დეზინტეგრაციას, ჰიდროციკლონებში კლასიფიკაციას, სილების დალექვას და გადანადენის მოკლევადიან ჰიდროციკლონებში გამდიდრებას. დალექვისა და ჰიდროციკლონების უხეში კონცენტრატების გადაწმენდას კნელსონის ცენტრიდანულ კონცენტრატორებში.



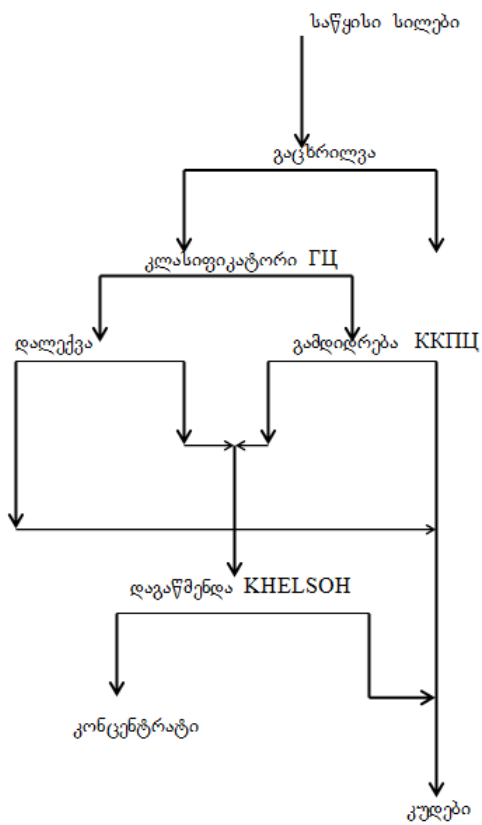
სურ.15.3. მანგანუმის მადნის გამდიდრების აპარატთა ჯაჭვის სქემა:

- 1 – ფირფიტისებური მკვებავი; 2, 4, 7 – ვიბრაციული ცხრილი; 3, 5, 12 – კონუსური სამსხვრეველა; 6 – მომრეცი აპარატი; 8, 11 – სპირალური კლასიფიკატორი; 9, 10 – სალექი მანქანა; 13 – ლენტური კონვეიერი; 14 – ელევატორი.



სურ. 15.4. პეროქსიდული მადნის გამდიდრების აპარატთა ჯაჭვის სქემა:

- 1 – ფირფიტისებური მკევაბავი; 2 – ვიბრაციული ცხრილი; 3 – ყბებიანი სამსხვრეველა;
 4 – მომრეცხი ბუტარა; 5 – კონუსური სამსხვრეველა; 6–ვიბრაციული ცხრილი; 7, 8 – სალექი მანქანა; 9, 10 – ვიბრაციული ცხრილი; 11, 12, 13, 14 – სპირალური კლასიფიკატორი.



სურ. 15.5. ოქროს შემცველი სიღების გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემა

დ ა ნ ა რ თ ი

ცხრილი 1

მინერალების ფიზიკურ - ქიმიური მახასიათებლები

№	მინერალი	ქიმიური ფორმულა	სიმკვრივე, კგ/მ ³	სასარგებლო კომპონენტი	სასარგებლო კომპონენტის შემცველობა, %
1	ოქრო	Au	19 300	ოქრო	100
2	გალენიტი	PbS	7400-7600	ტყვია	86,6
3	მოლიბდენიტი	MoS ₂	4300-5000	მოლიბდენი	59,94
4	პირიტი	FeS ₂	4900-5200	რკინა; გოგირდი	46,55; 53,5
5	სფალერიტი	ZnS	3900-4100	თუთია	67,1
6	ქალკოპირიტი	CuFeS ₂	4100-4300	სპილენძი	34,36
7	კასიტერიტი	SnO ₂	6100-7300	კალა	78,8
8	კვარცი	SiO ₂	2650	სილიციუმი	46,7
9	ილმენიტი	(Mg,Fe)TiO ₃	4400-5000	ტიტანი	31,6
10	მაგნეტიტი	Fe ₃ O ₄	4500-5300	რკინა	72,4
11	კალციტი	CaCO ₃	2700-2730	კალციუმის ქანგი	56,0
12	მაგნეზიტი	MgCO ₃	3000	მაგნიუმის ქანგი	47,6
13	სიდერიტი	FeCO ₃	3500-3900	რკინა	48,3
14	ბარიტი	BaSO ₄	4300-4500	ბარიუმის ქანგი	65,7
15	შეელიტი	CaWO ₄	6000	ვოლფრამი	80,6
16	ჰემატიტი	Fe ₂ O ₃	5000-5200	რკინა	70,0
17	პიროლუზიტი	MnO ₂	4820	მანგანუმი	63,2
18	ბრაუნიტი	Mn ₂ O ₃	4700-5000		60–69
19	პაუსმანიტი	Mn ₃ O ₄	4700-4900	„ ----- “	65–72
20	მანგანიტი	MnO ₂ . Mn(OH) ₂	4200-4300	„ ----- “	60–62
21	ფსილომელანი	MnO.MnO ₂ .nH ₂ O	3700-4700	„ ----- “	45–60
22	როდოქროზიტი	Mn CO ₃	3400-3600	„ ----- “	40–45
23	ვერნადიტი	MnO ₂ .nH ₂ O	2300-3000	„ ----- “	40–45
24	მანგანოკალციტი	(Ca,Mn)CO ₃	3000-3400	„ ----- “	20–25
25	ნახშირი	C	1300-1800	ნახშირი	-

მინერალურ მარცვალთა თავისუფალი და შეზღუდული ვარდნის სიჩქარეები (ტ. ფომენკოს მიხედვით)

კვარცი, 2650 კგ/მ ³			კასიტერიტი, 6920 კგ/მ ³			გალენიტი, 7650 კგ/მ ³		
მარცვლის ზომა, სმ	V ₀ სმ/წთ	V _{შეზღ.} სმ/წთ	მარცვლის ზომა, სმ	V ₀ სმ/წთ	V _{შეზღ.} სმ/წთ	მარცვლის ზომა, სმ	V ₀ სმ/წთ	V _{შეზღ.} სმ/წთ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.266	-	7.28	0.164	26.60	10.86	0.266	-	17.72
0.228	16.7	7.28	0.137	24.53	9.09	0.228	44.20	18.10
0.185	14.7	6.15	0.117	22.54	7.06	0.185	37.00	11.65
0.155	12.7	6.03	0.095	19.37	6.52	0.155	33.05	10.04
0.137	11.8	5.33	0.074	16.65	6.08	0.137	29.51	9.71
0.119	10.6	4.26	0.061	-	4.53	0.119	27.01	7.20
0.104	9.4	3.64	0.041	11.57	4.06	0.104	25.25	6.61
0.091	8.4	3.30	0.034	9.53	3.05	0.091	22.75	6.50
0.076	7.7	2.81	0.027	6.89	1.67	0.076	20.78	5.98
0.060	-	2.46	0.023	5.97	1.43	0.060	-	4.78
0.051	5.27	1.99	0.019	5.07	1.29	0.051	16.04	4.49
0.041	4.10	1.44	0.016	4.01	1.02	0.041	12.61	4.67
0.032	3.20	1.02	0.014	3.26	0.83	0.032	10.31	4.26
0.026	-	0.73	0.012	2.76	0.70	0.023	-	3.03
0.022	-	0.61	0.010	-	0.53	0.022	-	3.05
0.0175	-	0.52				0.0175	-	1.95
						0.0135		1.505
ოქრო, 17000 კგ/მ ³			ნახშირი, 1 350 კგ/მ ³			ანტრაციტი, 1 550 კგ/მ ³		
მარცვლის ზომა, სმ	V ₀ სმ/წთ	V _{შეზღ.} სმ/წთ	მარცვლის ზომა, სმ	V ₀ სმ/წთ	V _{შეზღ.} სმ/წთ	მარცვლის ზომა, სმ	V ₀ სმ/წთ	V _{შეზღ.} სმ/წთ
0.20	114.0	78.60	1.24	17.93	10.02	1.11	17.16	8.67
0.10	62.0	24.15	1.18	16.30	8.30	0.868	14.90	7.10
0.07	45.20	16.85	0.914	14.86	6.72	0.747	14.02	6.35
0.05	33.00	10.43	0.761	13.40	5.54	0.564	11.50	5.95
0.03	20.00	6.81	0.529	10.97	5.00	0.443	10.63	4.19
0.02	15.0	3.98	0.441	8.86	4.50	0.344	8.61	3.88
0.015	10.52	2.65	0.360	8.74	3.36	0.227	7.40	2.93
0.010	6.60	1.50	0.229	5.84	2.92	0.164	5.17	2.60
-	-	-	0.146	4.48	1.47	0.088	3.70	1.28
-	-	-	0.095	3.17	1.20	0.085	3.56	1.23
-	-	-	0.079	2.64	0.90	0.042	2.29	0.70
-	-	-	0.042	1.53	0.47	0.032	1.75	0.51
-	-	-	0.032	1.15	0.38	0.027	1.43	0.47
-	-	-	0.027	0.95	0.30	0.023	1.14	0.30
-	-	-	0.023	0.83	0.23	0.018	0.88	0.24
			0.018	0.74	0.20	0.013	0.52	0.13
-	-	-	0.013	0.35	0.11	0.009	0.31	0.08
			0.009	0.21	0.04	0.007	0.18	0.04
			0.007	0.14	0.03	0.005	0.13	0.03
			0.005	0.11	0.022			

ლიტერატურა

1. არაბიძე ზ. დ., წიადისეულთა გამდიდრების გრავიტაციული მეთოდები. თბილისი, სტუ, 2009 წ.
2. Барский М. Д., Гравитационная классификация зернистых материалов. - М. Недра, 1974.
3. Барский М. Д., Фракционирование порошков. - М. Недра, 1980.
4. Берлинский А. И., Разделение минералов. - М. Недра, 1988.
5. Берт Р.О., Технология гравитационного обогащения. - М. Недра, 1990.
6. Белогай П. Д., Заборожный В.П., Конусные сепараторы для обогащения россыпей и руд. - М. Недра, 1968.
7. Богатов А. Д., Зубынин Ю.Л., Разделение минералов во взвесенесущих потоках малой толщины. М. Недра, 1973.
8. Верхотуров М. В., Гравитационные методы обогащения. Москва: макс-прес, 2006. -
9. Замятин, О.В., Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов. - М. Недра, 1957.
10. Иванов В. Д., Винтовые аппараты для обогащения руд и песков в России. – М.:изд-во<<ДАК-СИ>>, 2000.
11. Кизевальтер Б.В., Теоретические основы гравитационных процессов [Текст] / Б.В. Кизевальтер.- М. Недра, 1979.
12. Лопатин, А.Г., Центробежное обогащение руд и песков.- М. Недра, 1986.
13. Лященко П.В., Гравитационные методы обогащения. - М.-Л.:Гостопиздат, 1940.
14. Митрофанов С.И., Определение скоростей падения минеральных частиц в тяжелой суспензии. Цветные металлы, 1949.
15. Олевский В.А., Гравитационные методы обогащения. - М.: Металлургиздат, 1953.
16. Поваров А.И., Гидроциклоны на обогатительных фабриках. - М., Недра, 1978.
17. Райвич И.Д., Отсадка крупнокусковых руд. - М., Недра, 1988.
18. Самылин Н. А., Золотко А. А., Починок В.В., Отсадка. - М., Недра, 1976.
19. Тихонов О.Н., Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. - М., Недра, 1984.
20. Тихонов О.Н., Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. - М., Недра, 1984.
21. Фоменко Т. Г., Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых. - М., Недра, 1966.
22. Шохин В.Н., Гравитационные методы обогащения. - М.: Недра, 1980.
23. Шохин В.Н., Новое в теории и технологии обогащения руд в суспензиях. - М., Недра, 1977.
24. Шохин В.Н., Лопатин А.Г., Гравитационные методы обогащения М.: Недра, 1993.

სარჩევი

შესავალი	3
2. წიაღისეულთა გრავიტაციული გამდიდრების თანამედროვე მდგომარეობა და პერსპექტივები.....	4
1.1. გამდიდრების გრავიტაციული პროცესების განვითარების მოკლე ისტორია.....	4
1. 2. გამდიდრების გრავიტაციული პროცესების კლასიფიკაცია.....	5
3. გამყოფი გარემოსა და მინერალური მარცვლების დახასიათება.....	7
2.1. მინერალური მარცვლების დახასიათება	7
2. 2. გამყოფი გარემოს დახასიათება.....	8
3. გარემოს რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები	13
3.1. სუსპენზიის ხვედრითი წონისა და სიბლანტის განსაზღვრა.....	13
3. 2. სუსპენზიის მომზადება.....	15
4. წიაღისეულთა გრავიტაციული გამდიდრების თეორიული მაჩვენებლების განსაზღვრის მეთოდები	17
4.1. წიაღისეულთა ფრაქციული შედგენილობა.....	17
4.2. წიაღისეულთა გამდიდრების შეფასება.....	19
4.3. გრავიტაციული პროცესების ეფექტურობა.....	20
5. გარემოში მინერალურ მარცვალთა მოძრაობის ძირითადი კანონები	24
5.1. გარემოში მინერალურ მარცვალთა ვარდნის სიჩქარის განსაზღვრა.....	24
6. მინერალურ მარცვალთა ჰიდრაულიკური კლასიფიკაცია.....	31
6. 1. წიაღისეულთა გამდიდრების ტექნოლოგიაში კლასიფიკაციის პროცესის დანიშნულება	31
6. 2. ჰიდრაულიკური ანალიზი	32
6.3. კლასიფიკატორის გადანადგენში მასალის სიმსხოს განსაზღვრა.....	33
7. მძიმე გარემოში მინერალურ მარცვალთა განშრევების ფიზიკური საფუძვლები...36	
7.1. სითხეში მყარი სხეულის ჰიდროდინამიკური წონასწორობის განტოლებები.....	36
7. 2. მძიმე გარემოში გამდიდრების პროცესში გამოყენებული აპარატურები.....	38
8. მძიმე გარემოში განშრევების პროცესის ეფექტურობაზე მოქმედი ფაქტორები.....	40
8.1. სუსპენზიის სიმკვრივის ავტომატური რეგულატორი.....	40
8. 2. სუსპენზიის ადდგენა.....	41
9. დალექვის პროცესში მინერალურ მარცვალთა დაყოფის ფიზიკური საფუძვლები.....	43
9. 1. მინერალთა დაყოფა წყლის პულსირებულ ნაკადში.....	43
10. დალექვის პროცესის ეფექტურობაზე მოქმედი ფაქტორები.....	47
10. 1. დალექვის ციკლები.....	47
10. 2 სალექი მანქანის ტექნოლოგიური მაჩვენებლები.....	48
11. გარემოში მინერალურ მარცვალთა მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები 51	
12. დახრილ სიბრტყეზე მოძრავ წყლის ნაკადში მინერალურ მარცვალთა დაყოფის ფიზიკური საფუძვლები	56
12. 1. დახრილ სიბრტყეზე წყლისა და მინერალურ მარცვალთა მოძრაობის კანონზომიერება	56
12. 2. გამდიდრების პროცესში გამოყენებული მანქანა-დანადგარები.....	58
13. მინერალურ მარცვალთა ცენტრიდანული ველით დაყოფა.....	60
13.1. ჰიდროციკლონებში გამდიდრება.	61
13.2. კონცენტრატორებში გამდიდრება	63
14. გრავიტაციული გამდიდრების გამოყენება პრაქტიკაში	65
14. 1. გრავიტაციული გამდიდრების პრაქტიკული მონაცემები	66

15. გრავიტაციული გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემები.....	70
15. 1. საწვავი წიაღისეულის გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემები.....	70
15.2. ლითონური წიაღისეულის გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემები.....	74
დანართი	78
ლიტერატურა	80

რედაქტორი მ. ბალიაშვილი

გადაეცა წარმოებას 18.06.2018. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 03.07.2018. ქალაქის ზომა 60X84
1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 5.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,
scripta manent