

UDC 625.75.4

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-1-267-275>

ხრახნულ სეპარატორზე ნახშირის შლამების გამდიდრების პროცესის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა

მიხეილ გამცემლიძე

გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, ე. მინდელის 7

როინ ენაგელი

სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: enageli@mail.ru

მედეა ონიანი

სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: moniani@gmail.com

რეცენზენტები:

ა. აბშილავა, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის დეკანი, პროფესორი

E-mail: a.abshilava@gtu.ge

მ. კიტოშვილი, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: m.qitoshvili@gtu.ge

ანოტაცია. სტატიაში განხილულია გაუმჯობესებული კონსტრუქციის ხრახნულ სეპარატორზე ნახშირის შლამების გამდიდრების პროცესის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენის მიზნით ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები. წინასწარ ჩატარებული კვლევებით დადგენილია პროცესზე მოქმედი მმართველი და შემამფოთებელი ზემოქმედებები. მმართველი ზემოქმედებებია ხრახნული სეპარატორის ძრავას ბრუნვის სიხშირე და სეპარატორის ხრახნულზე მოქმედი ვერტიკალური რხევის ამპლიტუდა, ანუ ვერტიკალურად მოქმედი ძალა. შე-

მაშფოთებელი ზემოქმედებაა გასამდიდრებელი ნახშირის შლამის სიმკვრივე. განისაზღვრა პროცესის მართული სიდიდეების კუდების ხარისხისა (ნაცრიანობის) და გამოსავლის მმართველ ზემოქმედებებზე დამოკიდებულება და აიგო შესაბამისი გრაფიკები. დამოკიდებულებებს აქვს არაწრფივი, მკვეთრად გამოხატული მაქსიმუმის მქონე სახე.

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე დადგინდა ხრახნული სეპარატორის ცენტრალური ღერძის ბრუნვის სიხშირისა და ვერტიკალური რხევის ძალების ცვალებადობის ოპტიმალური ზღვრები, რომლის ფარგლებშიც მივიღებთ მართული სიდი-

დეების — გამდიდრების პროცესის კუდების ნაც-რიანობის მაქსიმუმს, კუდების გამოსავლის მაქსიმუმს და, მათსადაამე, ნახშირის კონცენტრატის ხარისხის მაქსიმუმს.

შეფასდა მმართველ და მართულ პარამეტრებს შორის კავშირის სიმჭიდროვე კორელაციური ფარდობის მიხედვით. მიღებული შედეგი მიუთითებს როგორც ექსპერიმენტის, ისე კვლევის შედეგების სანდოობაზე.

საკვანძო სიტყვები: დამოკიდებულებები; ექსპერიმენტები; ვერტიკალური რხევის ამპლიტუდა; კორელაციური ფარდობა; ნაცრიანობა; ნახშირის შლამები; ცვალებადობის ოპტიმალური ზღვრები; ძრავას ბრუნვის სიხშირე, ხრახნული სეპარატორი.

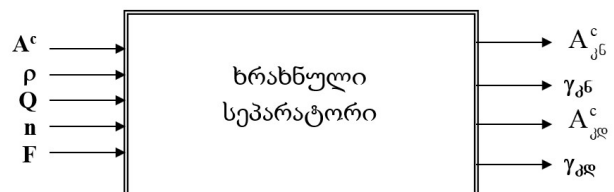
შესავალი

ნახშირის უწყრილესი კლასის (შლამების) გამდიდრება მიზანშეწონილია, განვახორციელოთ ხრახნულ სეპარატორზე. სეპარატორის ღარებზე მინერალების დაყოფის პროცესისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ნაკადის ტურბულენტურ პულსაციას და ფსკერზე მოთავსებული შემჭიდროებული შრის მოძრაობისას სეგრეგაციასა და განივ ცირკულაციას. ეს იწვევს არაერთგვაროვან ცენტრიდანულ ძალებს. ზედა მარცვლები ამ ძალით გადაადგილდება ღარის გარე კედელთან, ხოლო მძიმე მარცვლები ზედა შრეში გადაადგილდება პერიფერიისაკენ, შემდეგ კი საწინააღმდეგოდ ჩაედინება ხრახნიანი ღარის ღერძისაკენ. შედეგად მარცვლების განივი გადაადგილება

აყალიბებს ნაკადს ცალკეულ ზონებად (კონცენტრატი, შუალედური პროდუქტი და კუდები). მინერალების სხვადასხვა სიმკვრივის მარცვლების დაყოფის ეფექტურობის გაზრდის მიზნით შემოტანილია ახალი მმართველი ზემოქმედებები — ხრახნული სეპარატორის ცენტრალური ღერძის ბრუნვისა და ვერტიკალური მიმართულებით რხევებზე დამატებითი ცენტრიდანული და ვერტიკალური რხევის გამომწვევი ძალებით მარცვლების განივი გადაადგილება. დადგენილია მმართველი ზემოქმედებების ოპტიმალური უბანი, რაც უზრუნველყოფს პროცესის ხარისხობრივი მაჩვენებლების მაქსიმუმს.

ძირითადი ნაწილი

ხრახნული სეპარატორით ნახშირის შლამების გამდიდრების პროცესის კვლევის მიზნით ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარდა ექსპერიმენტი, რომლის დროსაც დადგინდა შემოტანილი დამატებითი მმართველი სიდიდეების, კერძოდ ცენტრიდანული და ვერტიკალური რხევის ძალების გავლენა გამდიდრების ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. სურ. 1-ზე ნაჩვენებია ხრახნული სეპარატორის შესავალი და გამოსავალი პარამეტრები, რომლებიც გაიზომა ექსპერიმენტის დროს [1, 2].



სურ.1. ხრახნული სეპარატორი – ექსპერიმენტის ობიექტი

სურათზე მოყვანილი პარამეტრების ექსპერი-
მენტული მონაცემების ძირითადი სტატისტიკური
მონაცემები წარმოდგენილია 1 და 2 ცხრილების
სახით. სურათზე და ცხრილებში მოცემულია შემ-
დეგი აღნიშვნები:

A^c – შემოსული (გასამდიდრებელი) პულპის
ნაცრიანობა; ρ – პულპის სიმკვრივე, კგ/დმ³; Q –

პულპის მოცულობითი ხარჯი, დმ³; n – ხრახნული
სეპარატორის ცენტრალური ღერძის ბრუნვის
სიხშირე, ბრ⁻¹; F – ცენტრალურ ღერძზე მოქმედი
ვერტიკალური ძალა, ნ; $A_{\text{კვ}}$ – კონცენტრატის
ხარისხი (ნაცრიანობა), %; $A_{\text{კდ}}$ – კუდების ხარისხი
(ნაცრიანობა), %, $\gamma_{\text{კ}}$ და $\gamma_{\text{კდ}}$ – შესაბამისად, კონცენტ-
რატისა და კუდების გამოსავალი, %.

ცხრილი 1

პარამეტრები	სტატისტიკური მონაცემები				
	n , ბრ/წთ	$A_{\text{კვ}}$, %	$\gamma_{\text{კ}}$, %	$A_{\text{კდ}}$, %	$\gamma_{\text{კდ}}$, %
საშუალო მნიშვნელობა	40.50	24.80	85.00	44.49	15.00
მინიმუმი	10.00	22.50	78.40	38.17	11.50
მაქსიმუმი	60.00	26.45	88.50	55.50	21.60
საშუალო კვადრატული გადახრა	16.04	1.25	2.58	5.36	2.58
დისპერსია	257.32	1.56	6.64	28.71	6.64
ვარიაციის კოეფიციენტი	39.61	5.04	3.03	12.04	17.17
სარწმუნო ინტერვალი (95% ალბათობით)	40.5±7.03	24.8±0.55	85±1.13	44.49±2.35	15±1.13

ცხრილი 2

პარამეტრები	სტატისტიკური მონაცემები						
	F , ნ	$A_{\text{კვ}}$, %	$\gamma_{\text{კ}}$, %	$A_{\text{კდ}}$, %	$\gamma_{\text{კდ}}$, %	$A_{\text{შ}}$, %	ρ , კგ/დმ ³
საშუალო მნიშვნელობა	47.50	24.62	84.56	44.25	15.44	27.97	1.46
მინიმუმი	20.00	22.50	81.90	34.90	10.20	25.42	1.35
მაქსიმუმი	70.00	26.50	89.80	52.00	18.10	31.97	1.60
საშუალო კვადრატული გადახრა	16.82	1.20	2.00	5.51	2.00	1.65	0.08
დისპერსია	282.89	1.44	3.98	30.39	3.98	2.71	0.01
ვარიაციის კოეფიციენტი	35.41	4.88	2.36	12.46	12.93	5.89	5.79
სარწმუნო ინტერვალი (95% ალბათობით)	47.5± 7.37	24.62± 0.53	84.56± 0.87	44.25± 2.41	15.44± 0.87	27.97± 0.721	1.44± 0.057

ექსპერიმენტის დროს შესავალი სიდიდეებიდან Q იყო მუდმივი, ხოლო შემაშფოთებელი ზემოქმედებები p , A^c და მმართველი ზემოქმედებები n და F იცვლებოდა. მმართველი ზემოქმედებების პროცესის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე გავლენის დადგენის მიზნით მმართველი ზემოქმედების არხით აგებულია შემდეგი სტატისტიკური მახასიათებლები:

$$A_{კლ}^c = f(n), A_{კლ}^c = f(F),$$

$$\gamma_{კლ} = f(n), \gamma_{კლ} = f(F). \quad (1)$$

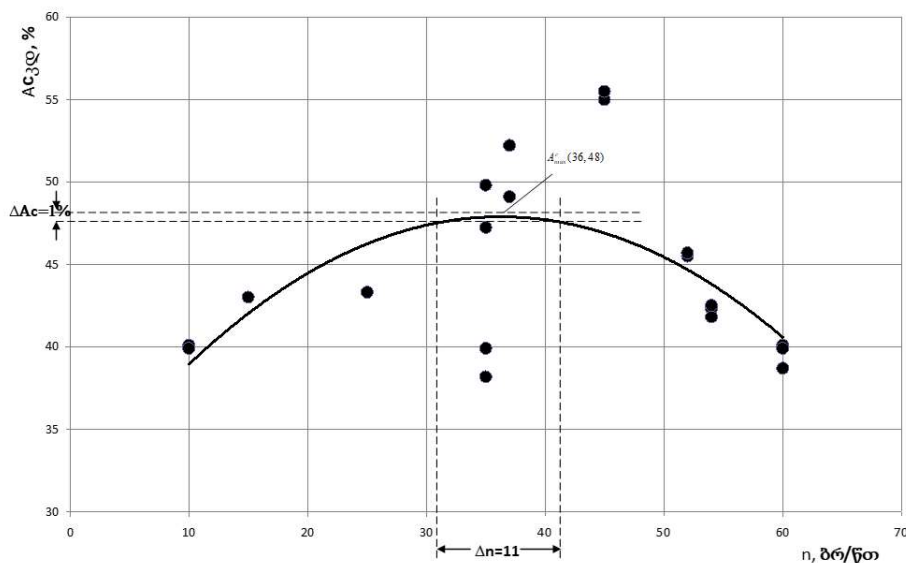
კონცენტრატის ხარისხისა და გამოსავლის მმართველ ზემოქმედებებზე დამოკიდებულებები არ აიგო, რადგან მატერიალური ბალანსის მუდმივობიდან გამომდინარე, მათ არ შეუძლიათ დამატებითი ინფორმაციის მოცემა.

მე-2, მე-3, მე-4 და მე-5 სურათებზე ნაჩვენებია (1) დამოკიდებულებების კორელაციური ველი და გრაფიკები.

$A_{კლ}^c = f(n)$ დამოკიდებულების რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:

$$A_{კლ}^c = -0.013n^2 + 0.9403n + 30.844. \quad (2)$$

როგორც სურათიდან ჩანს, კუდების ნაცრიანობა $A_{კლ}^c$ მაქსიმუმს, 48%-ს აღწევს მაშინ, როდესაც ხრახნული სეპარატორის ცენტრალური ღერძის ბრუნვის სიხშირე $n=36$ ბრ/წთ-ს. როგორც ცნობილია, ტექნოლოგიური პროცესის მართვა მართული პარამეტრის მაქსიმუმის წერტილში პრაქტიკულად შეუძლებელია.



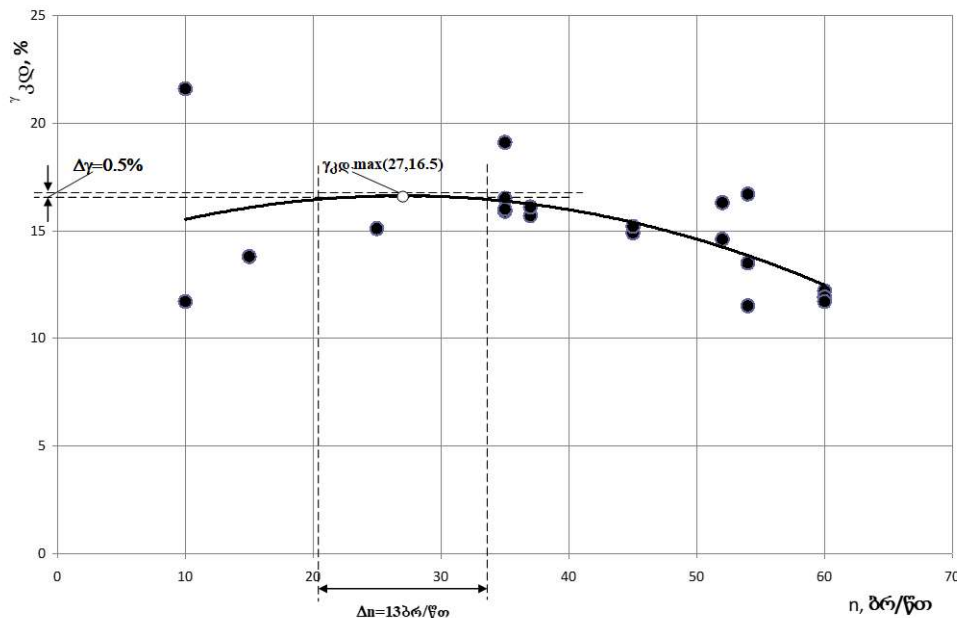
სურ. 2. $A_{კლ}^c = f(n)$ დამოკიდებულების კორელაციური ველი და გრაფიკი

მართვა ხდება მაქსიმუმის წერტილის მიდამოში. ჩვენს შემთხვევაში მიზანშეწონილია ღერძის ბრუნვის სიხშირე ვცვალოთ 31-41 ბრ/წთ შუალედში

($\Delta n=11$ ბრ/წთ). ამ შუალედში კუდების ნაცრიანობა შეიძლება შეიცვალოს სულ $\Delta A_{კლ}^c=1\%$ -ით (46%-დან 47%-მდე).

მე-3 სურათზე აგებულია კუდები $\gamma_{კლ}$ გამოსავლის ხრახნული სეპარატორის ცენტრალური ღერძის ბრუნვის სიხშირეზე დამოკიდებულების

$\gamma_{კლ} = f(n)$ კორელაციური ველი და შესაბამისი გრაფიკი. ამ შემთხვევაში კუდების



სურ. 3. $\gamma_{კლ}=f(n)$ დამოკიდებულების კორელაციური ველი და გრაფიკი

გამოსავლის მაქსიმუმი $\gamma_{კლ,max}=16.5\%$, როდესაც ბრუნვის სიხშირეა $n=27$ ბრ/წთ. მაქსიმუმის წერტილის მიდამოა 21 ბრ/წთ-დან 24 ბრ/წთ-მდე შუალედი. ამ შუალედში კუდების გამოსავალი იცვლება სულ $\Delta\gamma=0.5\%$ -ით. ამ დამოკიდებულების რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:

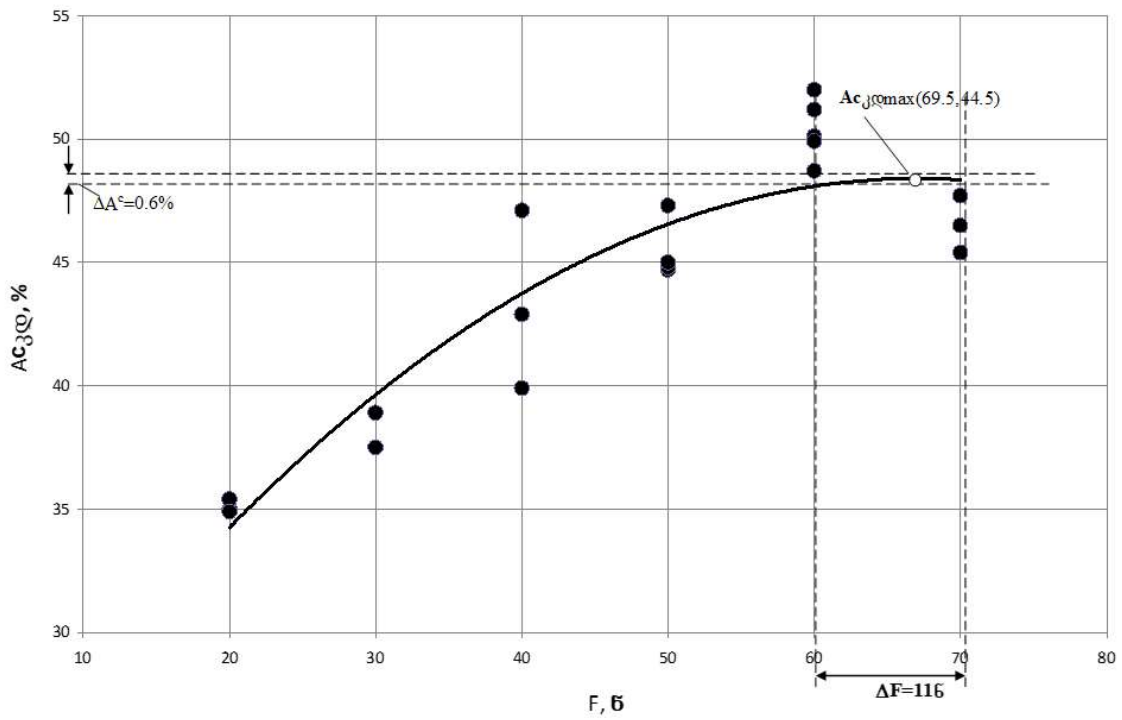
$$\gamma_{კლ} = -0.0038n^2 + 0.2051n + 13.861. \quad (3)$$

კუდების ნაცრიანობის სეპარატორის ცენტრალურ ღერძზე მოქმედ ვერტიკალურ ძალაზე დამოკიდებულების $A_{კლ}^c = f(F)$ კორელაციური ველი და შესაბამისი გრაფიკი წარმოდგენილია მე-4 სურათზე. როგორც ვხედავთ, კუდების ნაცრი-

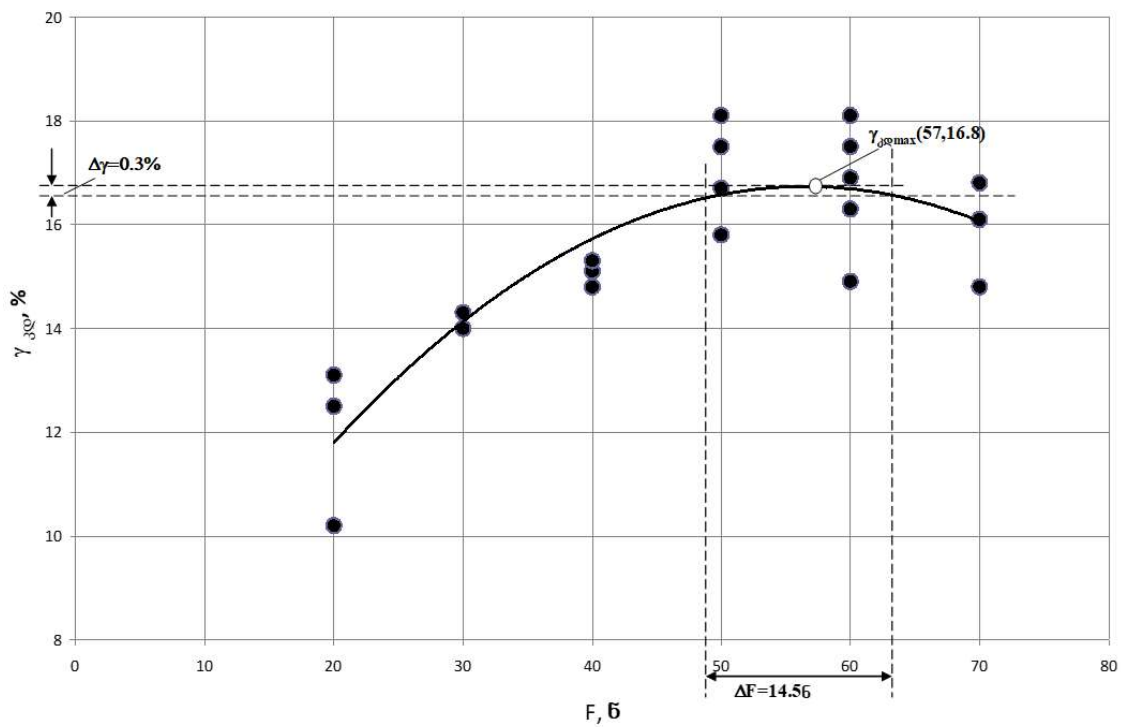
ანობის (ხარისხის) მაქსიმუმი $A_{კლ,max}^c=44.5\%$, როდესაც დარტყმის ძალა არის $F=69.5$ ნ. მაქსიმუმის წერტილის მიდამოა 61 ნ-დან 71 ნ-მდე შუალედი (ზევიდან შეზღუდვას, რადგან გავალთ ექსპერიმენტის ფარგლებიდან). ამ შუალედში კუდების ხარისხი იცვლება სულ $\Delta A^c=0.5\%$ -ით. ამ დამოკიდებულების რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:

$$A_{კლ}^c = -0.0064F^2 + 0.8595F + 19.625. \quad (4)$$

კუდების გამოსავლის სეპარატორის ცენტრალურ ღერძზე მოქმედ ვერტიკალურ ძალაზე დამოკიდებულების $\gamma_{კლ} = f(F)$ კორელაციური ველი და შესაბამისი გრაფიკი მოცემულია მე-5 სურათზე.



სურ. 4. $A_{კვლ}=f(F)$ დამოკიდებულების კორელაციური ველი და გრაფიკი



სურ. 5. $\gamma_{კვლ}=f(F)$ დამოკიდებულების კორელაციური ველი და გრაფიკი

სურათის მიხედვით კუდების გამოსავლის მაქსიმუმია $\gamma_{კლ,max}=16.8\%$, როდესაც დარტყმის ძალა არის $F=57$ ნ. მაქსიმუმის წერტილის მიდამოა 48.5 ნ-დან 63 ნ-მდე შუალედი. რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:

$$\gamma_{კლ} = -0.0037F^2 + 0.4181F + 4.9189 \quad (5)$$

როგორც ვხედავთ, (2) და (3) რეგრესიის განტოლებები არაწრფივი კორელაციური დამოკიდებულებებია, რომელთა მიხედვითაც განისაზღვრება $A_{კლ}^c$ -ის და $\gamma_{კლ}$ -ის საშუალო მნიშვნელობები n -ის მოცემული მნიშვნელობის დროს. ეს მნიშვნელობები მით მეტადაა გაბნეული n -ის მიმართ, რაც უფრო დაბალია კავშირის სიმჭიდროვე n -სა და $A_{კლ}^c$ -სა და $\gamma_{კლ}$ -ს შორის [3].

ასევე (4) და (5) რეგრესიის განტოლებები არაწრფივი კორელაციური დამოკიდებულებებია, რომელთა მიხედვითაც განისაზღვრება $A_{კლ}^c$ -ისა და $\gamma_{კლ}$ -ის საშუალო მნიშვნელობა F -ის მოცემული მნიშვნელობისას. ეს მნიშვნელობები მით მეტადაა გაბნეული F -ის მიმართ, რაც უფრო დაბალია კავშირის სიმჭიდროვე F -სა და $A_{კლ}^c$ -სა და $\gamma_{კლ}$ -ს შორის.

არაწრფივი კორელაციური დამოკიდებულებებისას კავშირის სიმჭიდროვის შესაფასებლად იყენებენ კორელაციურ ფარდობას, რომლის ზოგადი სახეა:

$$\eta(y/x) = \sqrt{\frac{\sigma^2[y(x)/\bar{y}]}{\sigma^2(y)}} = \frac{\sigma[y(x)/\bar{y}]}{\sigma(y)}, \quad (6)$$

სადაც \bar{y} არის y -ის საშუალო მნიშვნელობა:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (7)$$

$\sigma^2(y)$ არის y -ის ცვალებადობის საერთო მაჩვენებელი – y -ის სრული დისპერსია \bar{y} -ის მიმართ:

$$\sigma^2(y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\bar{y})^2, \quad (8)$$

$\sigma^2[y(x)/\bar{y}]$ არის $y(x)$ -ის შესაბამისი რეგრესიის მრუდის დისპერსია \bar{y} -ის მიმართ და ახასიათებს x -ის ცვალებადობის გავლენას y -ის ცვალებადობაზე:

$$\sigma^2[y(x)/\bar{y}] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y(x_i) - \bar{y}]^2. \quad (9)$$

n -სა და $A_{კლ}^c$ -ს შორის კორელაციური კავშირის სიმჭიდროვის მაჩვენებელი – კორელაციური ფარდობა $\eta(M/\alpha)$ ვიანგარიშით (6), (7), (8) და (9) ფორმულებით პირველი ცხრილის მონაცემების მიხედვით:

$$\eta(A_{კლ}^c/n) = \sqrt{\frac{\sigma^2[A_{კლ}^c(n)/\bar{A}_{კლ}^c]}{\sigma^2(A_{კლ}^c)}} = \frac{\sigma[A_{კლ}^c(n)/\bar{A}_{კლ}^c]}{\sigma(A_{კლ}^c)} = 60.08\%. \quad (10)$$

ამავე ცხრილის მონაცემებითა და (6), (7), (8) და (9) ფორმულებით ვიანგარიშით კორელაციური კავშირის სიმჭიდროვის მაჩვენებელი n -სა და $\gamma_{კლ}$ -ს, F -სა და $A_{კლ}^c$ -სა და F -სა და $\gamma_{კლ}$ -ს შორის, მივიღებთ:

$$\eta(\gamma_{კლ}/n) = \sqrt{\frac{\sigma^2[\gamma_{კლ}(n)/\bar{\gamma}_{კლ}]}{\sigma^2(\gamma_{კლ})}} = \frac{\sigma[\gamma_{კლ}(n)/\bar{\gamma}_{კლ}]}{\sigma(\gamma_{კლ})} = 31.39\%, \quad (11)$$

$$\eta(A_{კლ}^c/F) = \sqrt{\frac{\sigma^2[A_{კლ}^c(F)/\bar{A}_{კლ}^c]}{\sigma^2(A_{კლ}^c)}} = \frac{\sigma[A_{კლ}^c(F)/\bar{A}_{კლ}^c]}{\sigma(A_{კლ}^c)} = 84.63\%, \quad (12)$$

$$\eta(\gamma_{კლ} / F) = \sqrt{\frac{\sigma^2[\gamma_{კლ}(F) / \bar{\gamma}_{კლ}]}{\sigma^2(\gamma_{კლ})}} = \frac{\sigma[\gamma_{კლ}(F) / \bar{\gamma}_{კლ}]}{\sigma(\gamma_{კლ})} = 75.98\% \quad (13)$$

როგორც ვხედავთ, კორელაციური ფარდობით მიღებული შედეგები საკმაოდ მაღალია, რაც მიუთითებს ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგების სანდოობაზე.

დასკვნა

ჩატარებული კვლევით დადგინდა, რომ მიზანშეწონილია ნახშირის გამდიდრების შედეგად მიღებული შლამები დამატებით გავამდიდროთ ხრახნულ სეპარატორზე. განისაზღვრა პროცესის მმართველი ზემოქმედებების – ხრახნული სეპარატორის

ღერძის ბრუნვის სიხშირისა და მასზე მოქმედი ვერტიკალური დარტყმის ძალის ცვალებადობის ოპტიმალური ზღვრები, რა შემთხვევაშიც ვლებულობთ გამდიდრების პროცესის კულების მაქსიმალურ ნაცრიანობას, ანუ კონცენტრატის მაქსიმალურ ხარისხს.

სტატიაში გამოყენებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის №FR/342/3-180/13 პროექტის „ძნელად გასამდიდრებელი მანგანუმის მადნების და ნახშირების გამდიდრების პროცესების კვლევა და კონტროლი დამატებითი მმართველი სიდიდეების გათვალისწინებით“ მიხედვით ჩატარებული ექსპერიმენტის მონაცემები.

ლიტერატურა

1. Gamtsemlidze, M., Samkharadze, N., Chkareuli, G. (2009). Screw like separator device and method of control. *Mining Journal*, 2(23), 38-40.
2. Gamtsemlidze, M., Samkharadze, I., Chkareuli, G. (2011). Manganese oxide and enrichment of the silt containing oxidized minerals on a screw like separator. *Science and Technologies*, 7-9, 66-71.
3. Butskhrikidze, G. (2004). Connection density during the nonlinear correlational dependence. *Mining Journal*, 2(23), 68-69.

UDC 625.75.4

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-1-267-275>

Evaluation of the Optimal Parameters of the Coal Silt Enrichment Process on the Screw Like Separator

Mikheil Gamtsemlidze

G. Tsulukidze Mining Institute, Georgia, Tbilisi, 0175, 7, E. Mindeli str.

Roin Enageli

Department of Mining Technologies, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia

E-mail: enageli@mail.ru

Medea Oniani

Department of Mining Technologies, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia

E-mail: qitoshvili@gtu.ge

Reviewers:

A. Abshilava, Professor, Dean, Faculty of Mining Geology, GTU

E-mail: a.abshilava@gtu.ge

M. Qitoshvili, Associate professor, Faculty of Mining Geology, GTU

E-mail: m.qitoshvili@gtu.ge

Abstract. The experimental results for establishing the optimal parameters of coal silt enrichment on an improved screw like separator is discussed. Controlling and disturbing impacts on the process have been established during the preceding research. Controlling impacts are the rotation frequency of the screw like separator motor and the vertical oscillation amplitude of the separator screw, i.e. vertically acting force; Disturbing impact is the density of coal silt to be enriched. The dependence of the controlled quantities – tailing quality (ash content) and output on controlling impacts has been established and corresponding graphs have been constructed. The dependence is nonlinear, with a distinct maximum.

Based on the analysis, optimal variation margins of the rotation frequency and vertical oscillation of the central axle of the screw like separator have been established, within which we will obtain maximum ash content of the enrichment process tailings as well as maximum output of the tailings, and therefore the maximum quality of the concentrate.

The connection density between the controlling and controlled parameters has been evaluated according to correlational ratio. The obtained results indicate the validity of the experimental results and the research.

Keywords: ash content; coal silt; correlational ratio; dependencies; experiments; motor rotation frequency; optimal variation margins; screw like separator; vertical oscillation amplitude.

განხილვის თარიღი 20.12.2023

შემოსვლის თარიღი 25.12.2023

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 22.03.2024