

UDC 624.9; 622.23.05

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-226-236>

ფხვიერი მასალის მოძრაობა დოლურ სეპარატორში მუშა ორგანოზე კომბინირებული ზემოქმედების პირობებში

ვიქტორ ზვიადაური	სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: v_zviadauri@yahoo.com
თენგიზ ნადირაძე	რ. დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, ე. მინდელის ქ.10 E-mail: tengiz_nadiradze@yahoo.com
ჯემალ ჯავახიშვილი	რ. დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, ე. მინდელის ქ.10 E-mail: javaxishvili43@mail.ru
მერაბ ჭელიძე	რ. დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, ე. მინდელის ქ.10 E-mail: m.chelidze47@gmail.com
შალვა კელეპტრიშვილი	გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: sh.keleptrishvili@gtu.ge
დავით კუპატაძე	სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: d.kupatadze@gtu.ge

რეცენზენტები:

ა. ბეჟანიშვილი, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: bezhanishvili@gmail.com

ს. მებონია, რ. დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის, მანქანათმშენებლობის განყოფილების უფროსი

E-mail: meboniaslava@mail.ru

ანოტაცია. არაერთგვაროვანი ფხვიერი მასალის გადამუშავების ერთ-ერთი ფართოდ გავრცელებული საწარმოო პროცესი დაკავშირებულია მის დახა-

რისხებასთან ზადისზედაპირიანი მუშა ორგანოების (ბრტყელი, ცილინდრული) გამოყენებით. პროცესზე დამოკიდებულებით აღნიშნული ფორმის მუშა ორგანოებზე, უმეტეს შემთხვევაში, ზემოქმედება

ხორციელდება ვიბრაციული (ვიბრაციული სეპარაცია, ვიბრაციული ტრანსპორტირება) ან ასინქრონული ელექტროამძრავით (დოლური სეპარატორი).

დოლურ სეპარატორში სეპარაციის ერთ-ერთი პრობლემა უკავშირდება შეკავშირებისადმი (შეწებებისადმი) მიდრეკილი ფხვიერი (სველი სამშენებლო მასალები, წვრილდისპერსიული ლითონური ფხვნილები და ა.შ.) მასალების ნაწილაკების სრულყოფილ განცალკევება-გაცრას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, დამუშავდა ფხვიერი მასალის მოძრაობის მათემატიკური მოდელი მუშა ორგანოზე ბრუნვით-ვიბრაციული ზემოქმედების პირობებში; ჩატარდა მასალის მოძრაობის სიჩქარეზე კომბინირებული ზემოქმედების გავლენის მათემატიკური მოდელირებით გამოკვლევა; დამუშავდა და გამოიცადა დოლური სეპარატორის შესაბამისი კონსტრუქცია.

სტატიაში წარმოდგენილია მათემატიკური მოდელი და მოდელირების შედეგები, ასევე აღნიშნული სეპარაციული მოწყობილობის კონსტრუქციული სქემა, ფიზიკური ნიმუში და ზოგიერთი ექსპერიმენტული შედეგი.

საკვანძო სიტყვები: დოლური სეპარატორი; კომბინაციური ზემოქმედება; მათემატიკური მოდელირება; ფიზიკური ექსპერიმენტი; შეკავშირებადი ფხვიერი მასალა.

შესავალი

ზოგიერთი ფხვიერი მასალის სეპარაცია ბრუნვითი მოძრაობის დოლური სეპარატორების [1, 2] მეშვეობით გაძნელებულია მასალის მდგომარეობა-

ზე (სველი სამშენებლო, სამთამადნო ან შეწებებისადმი მიდრეკილი წვრილდისპერსიული ლითონური ფხვნილები და ა.შ.) დამოკიდებულებით.

აღნიშნული პრობლემის გადასაჭრელად შესაძლებელია მუშა ორგანოსათვის დამატებითი ვიბრაციული ზემოქმედების მინიჭება, რაც ხელს შეუწყობს შეკავშირებული მასალის ნაწილაკების დაშლა-განცალკევებას, სეპარაციის პროცესის (გაცრის) ხარისხის გაუმჯობესებას და მწარმოებლობის გაზრდას.

მასალის მოძრაობაზე დამატებითი ვიბრაციული გავლენის გამოსაკვლევად მიზანშეწონილია სისტემის დინამიკური და შესაბამისი მათემატიკური მოდელების დამუშავება, მათემატიკური მოდელირება და ფხვიერი მასალის მოძრაობის ხასიათზე სხვადასხვა პარამეტრის გავლენის დადგენა.

ძირითადი ნაწილი

მუშა ორგანოს მოძრაობის დინამიკური და მათემატიკური მოდელების დამუშავება

აღნიშნულიდან გამომდინარე, დამუშავდა ფხვიერი მასალის დოლური სეპარატორის მუშა პროცესის დინამიკური სქემა (სურ. 1), სადაც ნაჩვენებია მუშა ორგანოზე მოქმედი ბრუნვითი $F(\theta)$ და ვიბრაციული $F(x)$ ძალები. სისტემა დაყრდნობილია დრეკად ელემენტებზე, რაც განაპირობებს მისი რხევითი მოძრაობის შესაძლებლობას სივრცეში

ვინაიდან განსახილველი ელექტრომექანიკური სისტემის „ელექტროძრავა – ელექტროვიბრატორი – მუშა ორგანო – ფხვიერი ტვირთი – დრეკადი საყრდენები“ მოძრაობა თავისი არსით სივრცითი რხევითი მოძრაობაა, შეიძლება ვისარგებლოთ ავტორების მიერ დამუშავებული სივრცითი რხევითი მოძ-

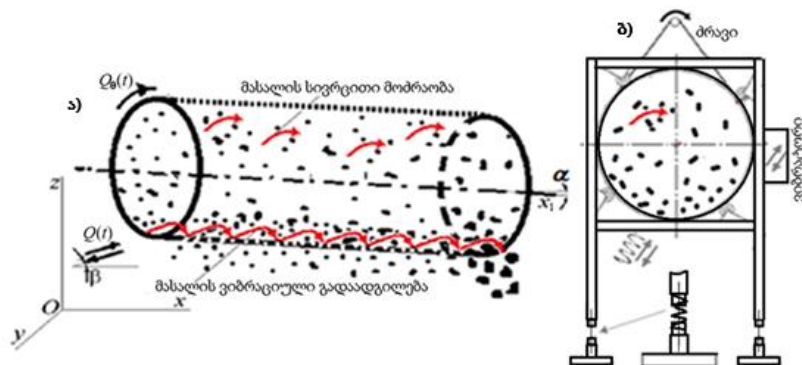
რაობის განზოგადებული დინამიკური მოდელით და განტოლებათა სისტემით [3]; აღნიშნულ განტოლებებში დამატებით გათვალისწინებული იქნება მატრუნი ძალა.

თუ უგულებელვყოფთ ფხვიერი ტვინის უკუ-ზემოქმედებას სეპარატორის მუშა ორგანოს (სურ. 1) მოძრაობაზე, მაშინ მისი მოძრაობა $Oxyz$ კოორდინატთა სისტემის მიმართ შეიძლება აღიწეროს განტოლებათა შემდეგი წრფივი სისტემით

$$\begin{aligned}\ddot{x}_1 + c_x \dot{x}_1 + k_x x &= a_x Q_x(t), \\ \ddot{y}_1 + c_y \dot{y}_1 + k_y y &= a_y Q_y(t), \\ \ddot{z}_1 + c_z \dot{z}_1 + k_z z &= a_z Q_z(t), \\ \ddot{\theta} + c_\theta \dot{\theta} + k_\theta \theta &= a_\theta Q_\theta(t),\end{aligned}\quad (1)$$

სადაც პირველ და მეორე განტოლებებში x_1, y_1, z_1 კოორდინატებით აღიწერება მუშა ორგანოს წრფივი

მოძრაობები $Oxyz$ სისტემაში, ხოლო θ კოორდინატით – ბრუნვითი მოძრაობა ღერძის ირგვლივ; c_x, c_y, c_z არის წინააღმდეგობის კოეფიციენტები; k_x, k_y, k_z, k_θ დრეკადი სისტემის სიხისტის კოეფიციენტები; $Q_x(t), Q_y(t), Q_z(t)$ – ვიბრაციული ძალის მდგენელები ვიბრატორიდან x_1, y_1 და z_1 მიმართულებებით, $Q_\theta(t)$ – ბრუნვითი ძალა ელექტროძრავიდან; a_x, a_y, a_z – აღმგზნები (ვიბრაციული) ძალის კოეფიციენტები; როგორც სურათიდან ჩანს, ფხვიერი მასალა ახორციელებს ორმაგ მოძრაობას: 1) ბრუნვით მოძრაობას მუშა ორგანოს (დოლის) ბრუნვით მოძრაობასთან ერთად, 2) ვიბრაციულ გადაადგილებას (მოძრაობას) მუშა ორგანოს ზედაპირზე ვიბრაციული ძალის ზემოქმედების შედეგად.



სურ. 1. მასალის გადაადგილება და გაცრა ბრუნვით-ვიბრაციული მოძრაობის, ცილინდრული ფორმის, ნახევრეტეზიან მუშა ორგანოზე (β – ვიბრაციის კუთხე მუშა ორგანოს მიმართ, α – მუშა ორგანოს დახრის კუთხე ჰორიზონტის მიმართ); ა) – დინამიკური სქემა, ბ) – კონსტრუქციული სქემა

მათემატიკური მოდელირება შესაძლებლობას მოგვცემს გამოვიკვლიოთ ორი ძალის (ბრუნვითი და ვიბრაციული) მოქმედების გავლენა მწარმოებლობის პროცესზე: 1) როგორ იცვლება გაცრის პროცესის ინტენსივობა (ზადეზე და მის უჯრედებზე ვიბრაციული ზემოქმედების შედეგად), 2) როგორ იცვლება გაუცრელი (დარჩენილი) მასალის გადაადგილების და სხვა ოპერაციაზე მიწოდების სიჩქა-

რე ტექნოლოგიური (სეპარაციული) პროცესის შეწყვეტის გარეშე (უმეტესად ვიბრაციული ზემოქმედების გავლენით).

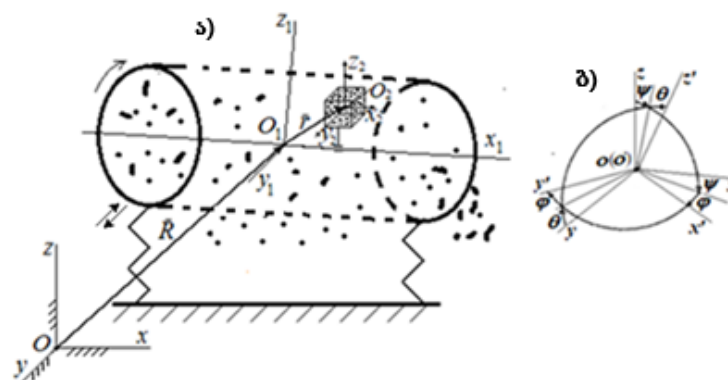
აღნიშნული მოძრაობები ხორციელდება მუშა ორგანოზე ორი დამოუკიდებელი ენერგიის წყაროდან ზემოქმედების შედეგად: ასინქრონული ძრავადან და ვიბროაღმგზნებიდან.

ვინაიდან სისტემა ეყრდნობა დრეკად ელემენტებს და მასზე მოქმედებს სხვადასხვა ხასიათის და მიმართულების, დროში ცვალებადი ძალები, ნათელია, რომ მუშა ორგანო (დოლი), მასში მოთავსებული ფხვიერი მასალით, განიცდის სივრცით (წრფივ - ბრუნვით [6]) რხევით მოძრაობას; შესაბამისად, მუშა ორგანოს და მასალის სივრცითი მოძრაობის განტოლებების მისაღებად გამოყენებული უნდა იყოს სხეულების ფარდობითი (ფხვიერი მასალა) და გადატანითი (მუშა ორგანო - დოლი) მოძრაობის აღწერის, მექანიკაში არსებული კლასიკური მეთოდები [3, 4, 5, 6, 7], კონკრეტული ამოცანის სპეციფიკის გათვალისწინებით.

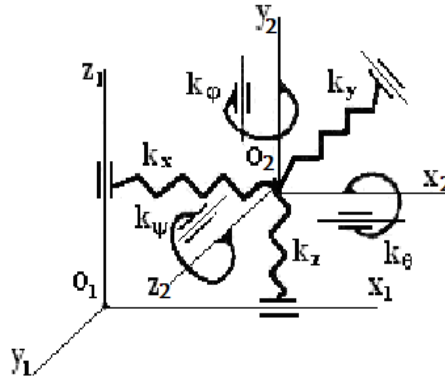
მასალის მოძრაობის განტოლებების მისაღებად, აქ წარმოდგენილი კერძო შემთხვევისათვის, შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს ავტორების მიერ მიღებული სივრცითი მოძრაობის განზოგადებული განტოლებები [8, 9], სადაც, მუშა ორგანოსა და გადასადგილებელი მასალის მოძრაობების დინამიკური ურთიერთკავშირი ხორციელდება მათი კოორდინატების, სიჩქარეების და აჩქარებების მე-2 რიგის ურთიერთნამრავლების საშუალებით (მაგ. $\dot{x}_1 \varphi_1, \dot{\theta}_1 \dot{x}_1, \dots$, სახის წევრები)

მე-2 სურ-ზე ნაჩვენებია ვიბრაციულ-ბრუნვითი მოძრაობის დოლური სეპარატორის სივრცითი დინამიკური მოდელი, სადაც ერთმანეთთან დინამიკურად არის დაკავშირებული მასები: დისკური მუშა ორგანო ($O_1x_1y_1$), ფხვიერი მასალა (O_2xyz) და მუშა ორგანოზე მოქმედი ვიბრაციული და ელექტროძრავები (სურ. 1 ბ). სურათზე R ვექტორით მუშა ორგანოს კოორდინატთა სისტემა ($O_1x_1y_1$) უკავშირდება უძრავ კოორდინატთა სისტემას ($Oxyz$) – ახორციელებს გადატანით მოძრაობას, ხოლო r ვექტორით ფხვიერი მასალის კოორდინატთა სისტემა (O_2xyz) უკავშირდება მუშა ორგანოს კოორდინატთა სისტემას – ახორციელებს ფარდობით მოძრაობას.

აღსანიშნავია, რომ მე-2 სურ-ზე ფხვიერი მასალა გამოსახულია კუბის ფორმის სხეულით, რომელშიც შეყურსულია მთელი მასალა; ასეთი მიდგომა შესაძლებლობას იძლევა განტოლებებში (2) აისახოს მასალის სივრცითი მოძრაობა მუშა ორგანოს მიმართ (როგორც ფარდობითი მოძრაობა), ხოლო მასალის დრეკადი ხასიათი აისახება მე-3 სურ-ზე ნაჩვენები სივრცითი დრეკადი ელემენტების საშუალებით.



სურ. 2. ვიბრაციულ-ბრუნვითი მოქმედების დოლური სეპარატორის სივრცითი დინამიკური მოდელი; ა) მუშა ორგანო – ფხვიერი მასალის დინამიკური მოდელი, ბ) სივრცითი მოძრაობის ეილერის კუთხეები



სურ. 3. ფხვიერი მასალის (ოჯუჯ) სივრცითი დეფორმაციები მუშა ორგანოს (ოჯუჯ) მიმართ (2, ა სურ-ზე ნაჩვენებია კუბიკის სახით)

აღნიშნულის გათვალისწინებით მასალის სივრცითი მოძრაობის განტოლებები მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned}
 & M_2 \ddot{x}_2 + M_2 (\ddot{x}_1 \cos \alpha_1 - \ddot{z}_1 \sin \alpha_1) + M_2 (\ddot{\psi}_1 z_2 - \ddot{z}_1 \psi_1 \cos \alpha_1 - \dot{x}_1 \dot{\psi}_1 \sin \alpha_1 - \\
 & - \dot{y}_1 \dot{\phi}_1 + 2 \dot{\psi}_1 \dot{z}_2 - \dot{\phi}_1 \dot{y}_2 - 2 \dot{\phi}_1 \dot{y}_2) + c_{x_1} (\dot{x}_1 \cos \alpha_1 - \dot{z}_1 \sin \alpha_1 + \dot{x}_2) + \\
 & + c_{x_3} \dot{x}_2 - M_2 g (\sin \alpha - \psi_1 \cos \alpha) = -(f_x N_z + f_y N_y) \text{sign}(\dot{x}_2); \\
 & M_2 \ddot{y}_2 + M_2 \ddot{y}_1 + M_2 [(\ddot{z}_1 \theta_1 - \ddot{x}_1 \phi_1) \cos \alpha_1 + (\dot{x}_1 \theta_1 + \dot{z}_1 \phi_1) \sin \alpha_1 - \ddot{\theta}_1 z_2 - \\
 & - 2 \dot{\theta}_1 \dot{z}_2 + 2 \dot{\phi}_1 \dot{x}_2] + c_{y_1} (\dot{y}_1 + \dot{y}_2) + c_{y_3} \dot{y}_2 + k_{y_3} y_2 + M_2 g (\phi_1 \sin \alpha - \\
 & - \theta_1 \cos \alpha) = -f_z N_z \text{sign}(\dot{y}_2); \\
 & M_2 \ddot{z}_2 + M_2 (\ddot{z}_1 \cos \alpha_1 - \ddot{x}_1 \sin \alpha_1) + M_2 (\dot{x}_1 \dot{\psi}_1 \cos \alpha_1 - \ddot{z}_2 \dot{\psi}_1 \sin \alpha_1 - \dot{y}_1 \dot{\theta}_1 + \\
 & + \dot{\theta}_1 \dot{y}_2 + 2 \dot{\theta}_1 \dot{y}_2 - 2 \dot{x}_2 \dot{\psi}_1) + c_{z_1} (\dot{z}_1 \cos \alpha_1 + \dot{x}_1 \sin \alpha_1 + \dot{z}_2) + c_{z_3} \dot{z}_2 + \\
 & + k_{z_3} z_2 + M_2 g (\cos \alpha - \psi_1 \sin \alpha) = -f_y N_y \text{sign}(\dot{z}_2); \\
 & A_{1\theta} (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_1) + A_{2\theta} \ddot{\psi}_2 \phi_1 + A_{3\theta} \dot{\phi}_1 \dot{\psi}_2 - A_{4\theta} \ddot{\phi}_2 \psi_2 + A_{5\theta} \dot{\phi}_2 \dot{\psi}_2 + A_{6\theta} \ddot{\phi}_2 \psi_1 + \\
 & + A_{7\theta} \dot{\psi}_1 \dot{\phi}_2 + A_{8\theta} \ddot{\psi}_1 \phi_1 + A_{9\theta} \dot{\phi}_1 \dot{\psi}_1 + A_{10\theta} (\ddot{\phi}_1 \psi_1 - \ddot{\phi}_1 \psi_2) = (F_{fr})_y \cdot r_y \text{sign}(\dot{\theta}_2), \quad \text{etc.}
 \end{aligned}$$

აღნიშნავთ, რომ სტატის ზედმეტად გადატვირთვისგან თავის არიდების გამო აქ არ მოგვეყვას ბრუნვითი მოძრაობის განტოლებები ψ და ϕ მიმართულებებით, რომლებიც ფორმით θ -ს მიმართ განტოლების ანალოგიურია.

განტოლებებში (2) M_2 არის ფხვიერი მასალის მასა; f_x, f_y, f_z - ხახუნის კოეფიციენტები მასალასა

და მუშა ორგანოს ზედაპირს შორის; N_z - მასალის ნორმალური რეაქცია მუშა ზედაპირის მიმართ და წარმოადგენს მასალის ვერტიკალური გადაადგილებისა და სიჩქარის ფუნქციას [$N_z = f(\dot{z}_2, z_2)$]; sign - არაწრფივი ფუნქცია მასალის გადაადგილების სიჩქარის მიმართ: $\text{sign} = 1$, როცა სიჩქარე ($\dot{x}_2$) უარყოფითია და $\text{sign} = -1$, როცა სიჩქარე დადებითია [4,

9, 10]; $A_{1\theta}, A_{2\theta}, \dots, A_{7\theta}$ – შესაბამისი ღერძების მიმართ მასების ინერციის მომენტების ჯამების ფუნქციები. მაგალითად,

$$A_{1\theta} = J_{x_1}^{O_1} + J_{x_2}^{O_2}; \quad A_{2\theta} = J_{x_1} - J_{y_1} + J_{z_2} - J_{y_2};$$

$$A_{3\theta} = J_{x_1} - J_{y_1} + J_{z_2} - J_{y_2} + J_{z_1} + J_{z_2}; \text{ და ა.შ..}$$

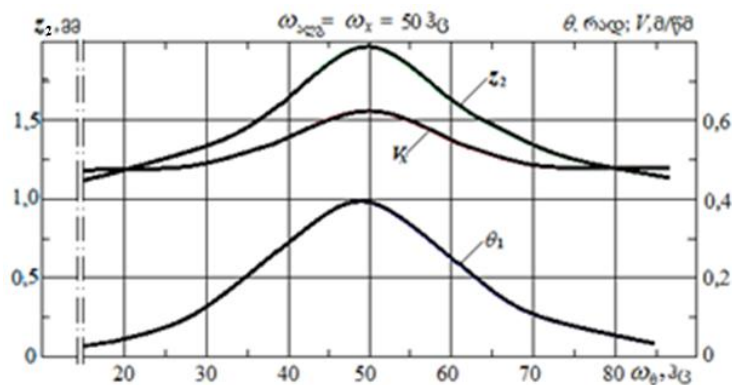
მათემატიკური მოდელირების ზოგიერთი

შედეგი

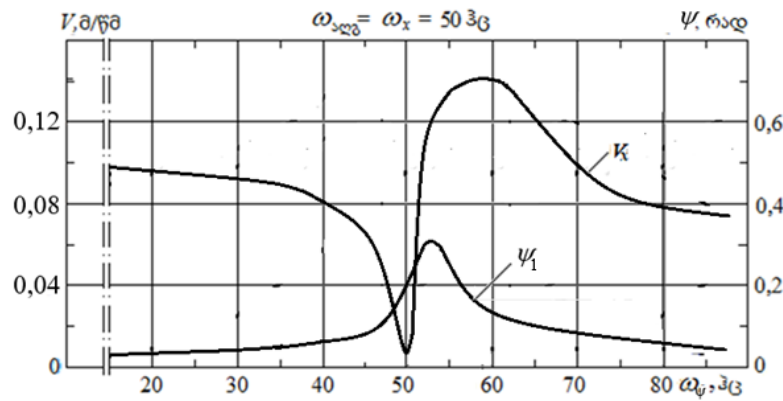
მუშა ორგანოსა და მასალის სივრცითი მოძრაობების განტოლებათა სისტემების (1) და (2) ერთობლივი მათემატიკური მოდელირებით ჩატარდა გამოკვლევა მასალის გრძივი გადაადგილების სიჩქარეზე (V_x) სეპარატორის მუშა ორგანოს (დოლის) სივრცითი რხევითი მოძრაობის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლების გავლენის დასადგენად (სურ. 4, 5, 6).

მასალის ($O_{2x}y_{2z}$) მოძრაობაზე მუშა ორგანოს ($O_{1x}y_{1z}$) დინამიკური პარამეტრების ($x_1, \dot{x}_1, \ddot{x}_1, \theta_1$ და ა.შ.) გავლენის გამოსაკვლევად, **მოდელირების პროცესში**, ხდებოდა განტოლებათა სისტემის (1) ცალკეული კოორდინატის გაძლიერება მუშა ორგანოს შესაბამისი საკუთარი ვიბრაციის რეზონანსში შესვლით ვიბრატორის აღზნების სიხშირესთან (50 ჰც); მუშა ორგანოს კოორდინატების ასეთი ცვლილებები აისახება მასალის მოძრაობის მუშა ორგანოსთან ურთიერთდაკავშირებულ განტოლებებში (2) და ახდენს მისი მოძრაობის დინამიკური პარამეტრების ($x_2, \dot{x}_2, \ddot{x}_2, \theta_2$ და ა.შ.) ცვლილებას.

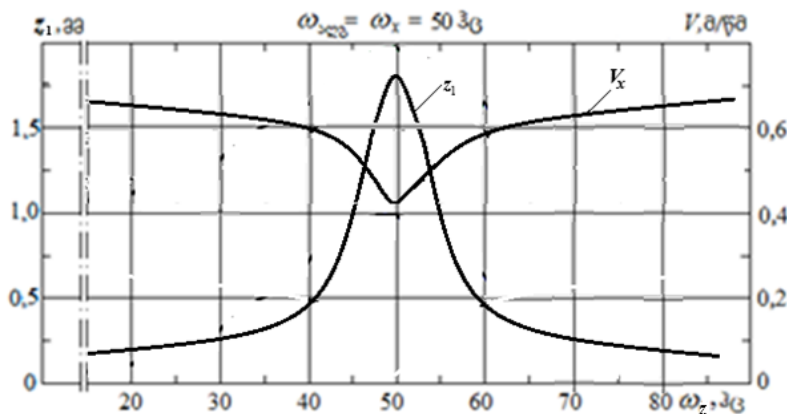
4, 5, 6 სურ-ებზე ნაჩვენებია მასალის გრძივი მიმართულებით გადაადგილების სიჩქარის დამოკიდებულება მუშა ორგანოს (დოლური სეპარატორის) ზოგიერთი კოორდინატის ($\theta_1, \psi_1, \zeta_1$) ცვლილებაზე.



სურ. 4. ფხვიერი მასალის გრძივი გადაადგილების სიჩქარის (V_x) და ვერტიკალური მოძრაობის (x_1) დამოკიდებულება მუშა ორგანოს ბრუნვით მოძრაობაზე (θ_1)



სურ. 5. ფხვიერი მასალის გრძივი გადაადგილების სიჩქარის (V_z) დამოკიდებულება მუშა ორგანოს ბრუნვით მოძრაობაზე (ψ_1)



სურ. 6. ფხვიერი მასალის გრძივი გადაადგილების სიჩქარის (V_z) დამოკიდებულება მუშა ორგანოს ვერტიკალურ მოძრაობაზე (z_1)

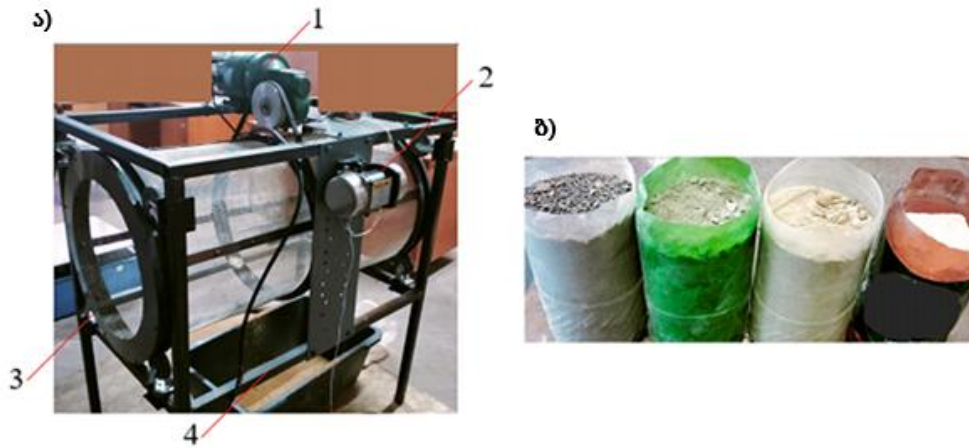
არაერთგვაროვანი ფხვიერი მასალების სეპარაციის ექსპერიმენტები დოლური სეპარატორის ლაბორატორიულ ნიმუშზე

1, 2 სურ-ებზე წარმოდგენილი კონსტრუქციული და დინამიკური სქემების მიხედვით დამზადებული დოლური სეპარატორის ლაბორატორიული ნიმუში ნაჩვენებია მე-7 სურ-ზე ა) – ფიზიკური ნიმუში და შემადგენელი ნაწილები, ბ) – ზოგიერთი ფხვიერი მასალა, რომელთა მიმართაც ჩატარდა ექსპერიმენტები. მასალების გაცრა განხორციელდა როგორც მშრალ, ისე სველ მდგომარეობაში და ეს

უკანასკნელი იყო დაკვირვების მთავარი საკითხი, რადგან დოლურ სეპარატორებში [1, 2] ფხვიერი მასალის გაცრა სველ მდგომარეობაში გამწვანებულია მათი ნაწილაკების ურთიერთშეკავშირებისადმი (შეწებებისადმი) მიდრეკილების გამო; ცდებმა დაადასტურა, რომ მუშა ორგანოზე (დისკურ სეპარატორზე) დამატებითი ვიბრაციული ზემოქმედება ახდენს შეკავშირებული (შეწებებული) მასალის დაშლას და არაერთგვაროვანი ფხვიერი მასალის სრულფასოვან სეპარაციას; ამასთანავე, მუშა ორგანოს გრძივი მიმართულებით დახრით და ვიბრაცი-

ის მიმართულების რეგულირებით შესაძლებელია როგორც გაცრის ეფექტურობის გაზრდა, ისე დარჩენილი (დიდი ზომის) ნაწილაკების გრძივი მიმარ-

თულებით გადაადგილება შემდეგი ოპერაციისთვის და პროცესის უწყვეტობის შენარჩუნება.



სურ. 7. ა) დოლური სეპარატორის ლაბორატორიული ნიმუში: 1 – ასინქრონული ძრავა, 2 – ვიბრატორი, 3 – მუშა ორგანო ზადიანი ფსკერით, 4 – ჩარჩო საყრდენებით; ბ) ზოგიერთი გასაცრელი მასალა

დასკვნა

დადგინდა, რომ დოლურ სეპარატორში არაერთგვაროვანი, სველი ფხვიერი მასალის სრულფასოვანი სეპარაციისთვის მიზანშეწონილია მუშა ორგანოზე დამატებითი ვიბრაციული ზემოქმედება. ამ მიზნით დამუშავდა და დამზადდა დოლური სეპარატორი კომბინირებული – ბრუნვითი და ვიბრაციული ზემოქმედებით; დამუშავდა ფხვიერი მასალის მუშა ორგანოში (დოლურ სეპარატორში) მოძრაობის მათემატიკური მოდელი აღნიშნული კომბინირებული ზემოქმედების გათვალისწინებით. მათემატიკური მოდელირებით ჩატარდა კვლევები მასალის მოძრაობაზე მუშა ორგანოს დინამიკური პარამეტრების გავლენის დასადგენად; მიღებული შედეგების მიხედვით დადგინდა, რომ ვიბრაციული ზემოქმედებით იზრდება მასალის მოძრაობის ინტენსივობა და გადაადგილების სიჩქარე დოლის

გრძივი მიმართულებით; ფიზიკური ექსპერიმენტებისთვის დამზადდა დისკური სეპარატორი მუშა ორგანოზე კომბინირებული ზემოქმედებით, რამაც აჩვენა ვიბრაციის გავლენით გაცრის ხარისხის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება; საჭიროების შემთხვევაში, ვიბრაციული ზემოქმედებით შესაძლებელია გაუცრელი მასალის გადაადგილება სეპარაციის შემდეგ საფეხურზე.



მადლიერება

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [FR – 24 – 1448, „ვიბრაციული სატრანსპორტო-ტექნოლოგიური პროცესების კომპლექსური კვლევა და ახალი, მაღალეფექტური მოწყობილობების დაპროექტება“.

ლიტერატურა

1. Vereshchinsky, A. (2017). *Drum grain separator*. Agro ONE, (8).
2. Pereshin, V. F., Odnolko, V. G., & Pershina, S. V. (2009). *Processing of friable materials in drum-type machines*. Moscow: Mashinostroenie. (In Russian)
3. Zviadauri, V. (2001). *Dynamics of the vibratory transportation and technological machines*. Tbilisi: Mecniereba. (In Russian)
4. Ganiev, R., & Kononenko, V. (1976). *Oscillations of solids*. Moscow: Nauka. (In Russian)
5. Blekhman, I. I. (2013). *Theory of vibration processes and devices: Vibration mechanics and vibration technology*. St. Petersburg: Ore and Metals. (In Russian)
6. Fedorenko, I. I. (2016). *Vibration processes and devices in the agro-industrial complex: Monograph*. Barnaul: RIO of the Altai State University. (In Russian)
7. Panovko, G. I. (2006). *Dynamics of the vibratory technological processes*. Moscow-Izhevsk: RCD. (In Russian)
8. Zviadauri, V., Tumanishvili, G. G., & Tsotskhalashvili, M. (2020). Mathematical model of complex control of the vibratory transportation and technological process. *Journal of Vibroengineering*, 22(8), 1770–1781. <https://doi.org/10.21595/jve.2020.20793>
9. Zviadauri, V. S., Chelidze, M. A., & Tumanishvili, G. I. (2010). On the spatial dynamical model of vibratory displacement. In *Proceedings of the International Conference of Mechanical Engineering* (pp. 1567–1570). London, U.K.
10. Simsek, E., Wirtz, S., Scherer, V., Kruggel-Emden, H., Grochowski, R., & Walzel, P. (2008). An experimental and numerical study of transversal dispersion of granular material on a vibrating conveyor. *Particulate Science and Technology*, 26(2), 177–196

UDC 624.9; 622.23.05

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-226-236>

Movement of the Friable Material on the Drum Separator Working Member under Conditions of Combined Action

Victor Zviadauri	Department of Mining Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: v_zviadauri@yahoo.com
Tengiz Nadiradze	R. Dvali Institute of Machine Mechanics, Georgia, 0186, Tbilisi, 10 E. Mindeli St. E-mail: tengiz_nadiradze@yahoo.com
Jemal Javakhishvili	R. Dvali Institute of Machine Mechanics, Georgia, 0186, Tbilisi, 10 E. Mindeli St. E-mail: javaxishvili43@mail.ru
Merab Chelidze	R. Dvali Institute of Machine Mechanics, Georgia, 0186, Tbilisi, 10 E. Mindeli St. E-mail: m.chelidze47@gmail.com
Shalva Keleptrishvili	Department of Applied Geology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: sh.keleptrishvili@gtu.ge
David Kupatadze	Department of Mining Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: d.kupatadze@gtu.ge

Reviewers:

A. Bezhanishvili, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU

E-mail: bezhanishvili@gmail.com

S. Mebonia, Head of the Department of Machine Engineering of the IMM of R. Dvali

E-mail: meboniaslava@mail.ru

Abstract. One of the widely used production processes for processing heterogeneous friable materials is connected with their sorting using working members with a mesh surface (flat, cylindrical). Depending on the process, the impact on the working members of this form is carried out, in most cases, by vibratory (vibration separation, vibration transportation) or asynchronous electric drives (drum separators).

One of the problems of separation in drum separators is a complete separation-sieving of particles of friable materials (wet construction materials, finely dispersed metal powders etc.) prone to bonding (adhesion).

Based on the above mentioned, a mathematical model of a movement of the friable materials under conditions of rotational-vibrational impact on the working member was developed. A study of influence of the combined impact

on the velocity of friable material movement was carried out using a mathematical modeling. The corresponding design of the drum separator was developed and tested.

The article presents the mathematical model and results of modeling, as well as the structural scheme of the separator, a physical sample, and some experimental results.

Keywords: Cohesive friable material; Combined effects; Drum separator; Mathematical modeling; Physical experiment.

განხილვის თარიღი 28.05.2025

შემოსვლის თარიღი 30.06.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.12.2025