

## მეწყერის სრიალის ზედაპირის რიცხვითი ანალიზი

არჩილ ფრანგიშვილი, თამაზ ოზგაძე,  
ნაიდა ყულოშვილი  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### რეზიუმე

განხილულია მეწყერების არსებული კლასიფიკაცია სიღრმის, მოცულობის და სიჩქარეთა მიხედვით. აგებულია მეწყერის დინამიკის მათემატიკური მოდელი. განიხილება ხახუნის კოეფიციენტი, როგორც  $[0;1]$  შუალედში ნორმალურად განაწილებული შემთხვევითი სიდიდე და გათვალისწინებულია სრიალის ზედაპირის დახრილობის სტოქასტიკური ცვლილება მოცემული რაიონისათვის დამახასიათებელ საზღვრებში. Mathcad-ზე აგებულია პროგრამა, რომელიც საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ სრიალის ზედაპირის ვივილუტ აპროქსიმაცია.

**საკვანძო სიტყვები.** მეწყერი. სრიალის ზედაპირი. მოდელირება.

### 1. შესავალი

მეწყერის წარმოქმნას, წინ უძღვის მთის ქანობის ზედაპირული ფენის ჩამორეცხვა-განთავისუფლება შეჭიდულობის გამომწვევი ქიმიური ნივთიერებებისაგან და მათი ფილტრაცია ფილტრაციის არხების ვიწრო კალაპოტებში ქანობის მთელი ზედაპირული ფენის გასწვრივ. შემდეგ, მზის მოემედების შედეგად, ხდება ზედაპირული ფენების გამოშრობა და ის იქცევა ფხვიერ მასად, რომელსაც შეუძლია გადაადგილება ქარისა და გრავიტაციული ძალის გავლენით. მისი შემკავებელია მხოლოდ შინაგანი ხახუნის ძალა და როგორც კი ფხვიერი მასის ჩამომსრიალებელი ძალა გადააჭარბებს ხახუნის ძალას, ქვა-ლორღთან ერთად ის დაეშვება მთის ქანობის გასწვრივ და წარმოქმნის მეწყერს.

არსებობს მეწყერთა კლასიფიკაცია სიმძლავრის მიხედვით. განასხვავებენ *მცირე სიმძლავრის* – 10 ათასი მ<sup>3</sup> მოცულობის მდგრადობადაკარგული გრუნტისა და ქვა-ლორღის მასით, *საშუალო სიმძლავრის* – 10-100 ათასი მ<sup>3</sup> მოცულობის და *დიდი სიმძლავრის* – 100-1000 ათასი მ<sup>3</sup> მოცულობის. საკონტაქტო ზედაპირს, რომლის გასწვრივაც სრიალებს მეწყერი *სრიალის ზედაპირი* ეწოდება [1-3].

სრიალის ზედაპირის დახრილობის მიხედვით, განასხვავებენ მთიანი რეგიონის მეწყერებს, როგორც *მცირედ დახრილი* 5°-15° და *ციცაბო* დახრილობის 15°-45°.

სრიალის ზედაპირის განლაგების სიღრმის მიხედვით განასხვავებენ: *ზედაპირული განლაგების* – 1 მ-ზე ნაკლები სიღრმით; *მცირე* - 5 მ-დე სიღრმის და *ღრმა* 20 მ-მდე სიღრმის მეწყერებს. მდგრადობადაკარგული გრუნტისა და ქვა-ლორღის მასა, ეშვება ქანობზე გრავიტაციული ძალის გამო და მთიანი რეგიონის მოსახლეობისათვის ქმნის დიდ უხერხულობას. ხშირად, მთელი სოფლები რჩება სახლ-კარის გარეშე და წარმოიქმნება სოციალური პრობლემები. ასევე, თუ მეწყერი ჩამოწვა მდინარის ქანობზე, მაშინ შეიძლება მან გადაკეტოს მდინარის კალაპოტი და გამოიწვიოს დიდი დამანგრეველი ძალის მქონე სელური ნაკადი.

აქედან გამომდინარე, მეწყერის მოძრაობის დინამიკის შესწავლას, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. მეწყერების კლასიფიკაცია სიჩქარეების მიხედვით [2], მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

ცხრ.1

სიჩქარე	მეწყერის სიჩქარის შეფასება
3 მ/წმ	განსაკუთრებულად სწრაფი
0,3 მ/წთ	ძალიან სწრაფი
1,5მ/დღე-ღამეში	სწრაფი
1,5 მ/თვეში	საშუალო სისწრაფის
1,5 მ/წელიწადში	ძალიან ნელი

**2. მეწყერის დინამიკის განტოლებები**

ჩავთვალოთ, რომ მეწყერი მოძრაობს სრიალის სტოქასტიკურ  $y = f(x)$  წირზე, რომლის დახრილობაც შესაბამისად, იცვლება  $\psi(x) = \arctan[f'(x)]$  კანონით, მოცემულ  $[m; n]$  საზღვრებში, ხოლო ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu(x) = \varphi(x)$  არის  $[0; 1]$  შუალედში ნორმალურად განაწილებული შემთხვევითი სიდიდე. მაშინ, შეგვიძლია ვთქვათ რომ, მოდელი კიდევ უფრო ახლოსაა რეალობასთან, რადგან სრიალის ზედაპირი ბუნებაში არაა ერთგვაროვანი სტრუქტურის და მაშასადამე, ხახუნის კოეფიციენტიც იცვლება მეწყერის გადაადგილების პროცესში. ამ შემთხვევაში, მეწყერის დინამიკის მათემატიკური მოდელი ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = g(\sin \psi(x) - \mu(x) \cos \psi(x)) - \frac{\eta}{h} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2, \tag{1}$$

$$x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0, \tag{2}$$

სადაც, რადგან  $0 \leq \psi < \frac{\pi}{2}$ ,

$$\sin \psi = \frac{\tan \psi}{\sqrt{1+(\tan \psi)^2}} = \frac{f'(x)}{\sqrt{1+(f'(x))^2}}, \quad \cos \psi = \frac{1}{\sqrt{1+(\tan \psi)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+(f'(x))^2}}. \tag{3}$$

მაშასადამე, დინამიკის განტოლებას აქვს სახე:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = g \left( \frac{f'(x)}{\sqrt{1+(f'(x))^2}} - \frac{\mu(x)}{\sqrt{1+(f'(x))^2}} \right) - \frac{\eta}{h} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2. \tag{4}$$

სადაც  $y = f(x)$  არის, სრიალის ზედაპირის გასწვრივა წირის შესაბამისი განტოლება, ხოლო  $x$  - მისი ნატურალური პარამეტრი. ეს ამოცანა არის არაწრფივი და მისი ამოხსნისათვის გამოვიყენებთ Mathcad-ზე შემუშავებულ პროგრამას.

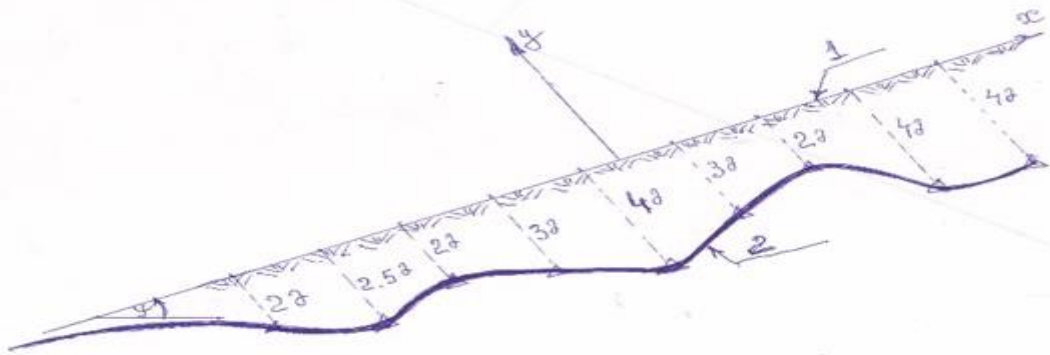
მოცემულ რეგიონში, მოსალოდნელი მეწყერის მოცულობისა და სიჩქარის პროგნოზირებისათვის, უნდა მოხდეს ამ რეგიონის ჰიდროგეოლოგიური შესწავლა. განსაზღვრული უნდა იყოს ზედაპირული ქანების სტრუქტურული შემადგენლობა, ტენიანობა, ნაშალი, შესუსტებული შეჭიდულობის ქვა-ღორღის მასალის სიღრმე, ქანობის გეომეტრია, მასალის შიგა ხახუნის კუთხე, გრუნტის შეჭიდულობის კოეფიციენტი და ა.შ. ამის შემდეგ, უნდა მოხდეს ქანობის ზღვრული წონასწორული მდგრადობის ანალიზი [4-7].

თუ აღმოჩნდება, რომ რეგიონში მოსალოდნელია დამეწყვრა, მაშინ უნდა მოხდეს დამატებითი გეოლოგიური კვლევა და დაზუსტდეს მოსალოდნელი მეწყერის საწყისი სიღრმე ქანობის გასწვრივ სხვადასხვა წერტილში.

მიღებული შედეგები საშუალებას მოგვცემს, მოვახდინოთ სრიალის ზედაპირის ქანობის გასწვრივა  $y = f(x)$  წირის, ანალიზური აპროქსიმაცია უმცირეს კვადრატთა გაუსის

დისკრეტული ნორმით, ისე რომ, თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგები ახლოს იყოს, როგორც ფუნქციის, ასევე, მისი წარმოებულისათვის. ამის შემდეგ, ვხსნით (1) და (2) ამოცანას და ვანგარიშობთ განმსაზღვრელი პარამეტრების დინამიკას.

განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი. ვთქვათ, გეოლოგიურმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ მოსალოდნელია მეწყერის წარმოქმნა და მოგვცა მოსალოდნელი მეწყერის სიღრმეების დისკრეტული მნიშვნელობები ქანობის გასწვრივ (ნახ.1, ცხრ.2).



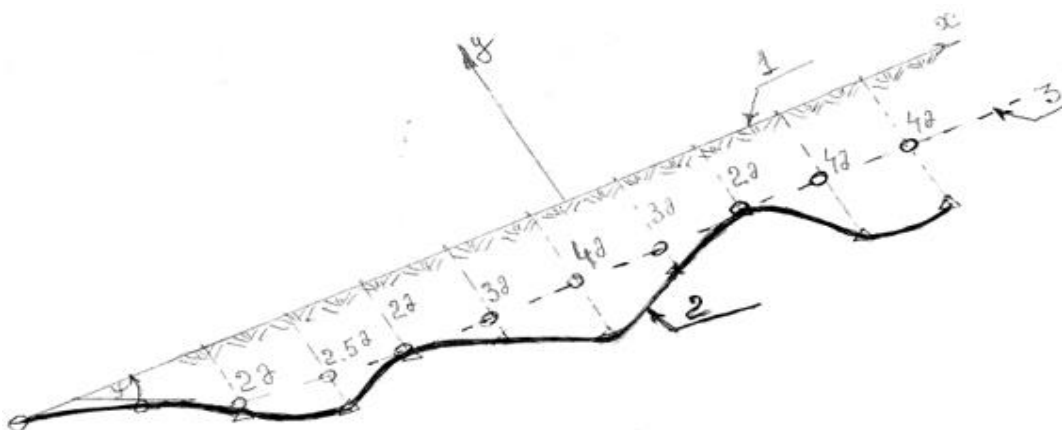
ნახ.1. ნაშალი გრუნტის სიღრმეების ნიშნულები მოცემულია სამკუთხედებით, 1- ქანობის ზედაპირია, 2 - მეწყერსაშიში ქანობის მკვრივი, კლდოვანი ფუძე

ცხრ.2

y	-4	-4	-2	-3	-4	-3	-2	-2.5	-2
x	7	5	3	1	-1	-3	-5	-7	-9

ამ ცხრილში მოცემულია ნაშალი გრუნტის ექსპერიმენტულად გაზომილი სიღრმეები (მეტრებში), ქანობის სხვადასხვა x წერტილისათვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ნახაზზე მოცემული მსხვილი წირი 2, არაა სრიალის ზედაპირის მრუდის წირი, რადგან დაცურებულ მეწყერის მასის ნაწილს შეაჩერებს ის შემადღებელი ნაწილები, რაც ნათლად ჩანს ნახაზზე. გრუნტის შიგა ხახუნის  $\phi$  კუთხის მნიშვნელობიდან გამომდინარე, სრიალის ზედაპირის შესაბამისი სიღრმის წირის დასადგენად, უნდა ვაწარმოთ ამ მონაცემების შემდგომი ანალიზი. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად განვიხილოთ მე-2 ნახაზი.



ნახ. 2. სრიალის ზედაპირის შესაბამისი გასწვრივა წირის ექსპერიმენტული წერტილები მონიშნულია მრგვალად

რაც შეესაბამება სრიალის ზედაპირის ქანობის გასწვრივა წირის შესაბამისი  $y = f(x)$  ფუნქციის გრაფიკის ცხრილურ მოცემას, გვექნება მე-3 ცხრილი.

ცხრ.3

y	-2.5	-2.4	-2.3	-2.2	-2.2	-2.4	-2.4	-2.3	-2.3	-2.2
x	7	5	3	1	-1	-3	-5	-7	-9	-11

### 3. სრიალის ზედაპირის აპროქსიმაციის ამოცანა

უნდა აღინიშნოს, რომ ამის შემდეგ, ვხსნით დისკრეტულად მოცემული სრიალის ზედაპირის გასწვრივა  $y = f(x)$  ფუნქციის აპროქსიმაციის ამოცანას. რადგან ქანობის გასწვრივ არსებული სრიალის ზედაპირის დახრილობა, როგორც წესი, დიდი სიხშირით იცვლება, მიზანშეწონილია, შესაბამისი წირის აპროქსიმაცია, ვაწარმოთ ვეივლეტ-ფუნქციებით [8,9] ანუ გამოვიყენოთ ფუნქციის წარმოდგენა შემდეგი სახით:

$$f(x) \sim \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} c_{jk} \cdot 2^{\frac{j}{2}} \cdot \mu(2^j \cdot x - k), \quad (5)$$

სადაც  $\mu(x) = (x^2 - 1)e^{-\frac{x^2}{2}}$  მარის დედა-ვეივლეტია, ხოლო  $c_{jk}$  გამლის საძიებელი კოეფიციენტები, რომლებსაც ვეძებთ შესაბამისი უმცირეს კვადრატთა მეთოდით გაუსის დისკრეტული ნორმით [7], Mathcad პროგრამის ბაზაზე:

$$x := \begin{pmatrix} -11 \\ -9 \\ -7 \\ -5 \\ -3 \\ -1 \\ 1 \\ 3 \\ 5 \\ 7 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} -2.2 \\ -2.3 \\ -2.3 \\ -2.4 \\ -2.4 \\ -2.2 \\ -2.2 \\ -2.3 \\ -2.4 \\ -2.5 \end{pmatrix}$$

N:=11

$$f(X, \alpha, \beta) := \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^N \left( \alpha_{k,j} \cdot 2^{\frac{j}{2}} \cdot \mu(2^j \cdot X - k) \right) + \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^N \left( \beta_{k,j} \cdot 2^{\frac{-j}{2}} \cdot \mu(2^{-j} \cdot X + k) \right)$$

$$I(\alpha, \beta) := \sum_{i=0}^9 \left( y_i - f(x_i, \alpha, \beta) \right)^2$$

$$\underline{m} := 0..N \quad n := 0..N$$

$$\alpha_{m,n} := C \quad \beta_{m,n} := C$$

Give:

$$\underline{S} := \text{Minimize}(I, \alpha, \beta)$$

$$\alpha := S_0 \quad \beta := S_1$$

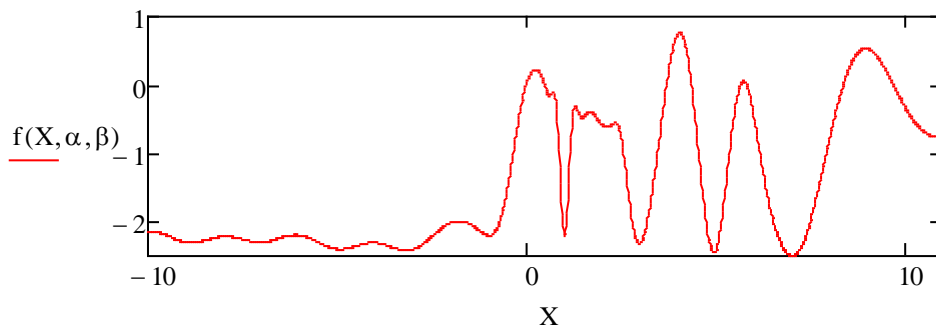
$$I(\alpha, \beta) = 0$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} -0.126 & -0.572 & -0.01 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.41 & -0.115 & -0.015 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.15 & 0.106 & -0.066 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.088 & -0.034 & -0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.153 & -0.201 & 0.162 & -0.001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.005 & -0.01 & -0 & -0.02 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.024 & 0.375 & -0.066 & -0.093 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.324 & -0.097 & -0.014 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.068 & -0.597 & -0.004 & 0.229 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.669 & -0.034 & -0.048 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.146 & 1.074 & -0.219 & -0.093 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.008 & -0.206 & 0 & -0.02 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\beta = \begin{pmatrix} -0.126 & -0.295 & -0.399 & 1.056 & 1.739 & 1.497 & 1.111 & 0.796 & 0.564 & 0.399 & 0.282 & 0.2 \\ 0.41 & 0.375 & 0.676 & 1.172 & 0.536 & 0.178 & 0.058 & 0.019 & 0.007 & 0.002 & 0.001 & 0 \\ -0.106 & 0.287 & 0.889 & -0.425 & -0.828 & -0.653 & -0.465 & -0.328 & -0.231 & -0.163 & -0.115 & -0.081 \\ 0.318 & 0.068 & -0.013 & -0.69 & -0.33 & -0.177 & -0.111 & -0.074 & -0.051 & -0.036 & -0.025 & -0.018 \\ -0.175 & 0.171 & -0.649 & -0.158 & -0.032 & -0.012 & -0.007 & -0.004 & -0.003 & -0.002 & -0.001 & -0.001 \\ 0.212 & 0.457 & -0.274 & -0.011 & -0.001 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 \\ -0.195 & -0.023 & -0.032 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 \\ 0.161 & -0.478 & -0.001 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & 0 & 0 & -0 \\ -0.188 & -0.182 & -0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.209 & -0.018 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.093 & -0.001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.572 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} -0.126 & -0.572 & -0.01 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.41 & -0.115 & -0.015 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.15 & 0.106 & -0.066 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.088 & -0.034 & -0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.153 & -0.201 & 0.162 & -0.001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.005 & -0.01 & -0 & -0.02 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.024 & 0.375 & -0.066 & -0.093 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.324 & -0.097 & -0.014 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.068 & -0.597 & -0.004 & 0.229 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.669 & -0.034 & -0.048 & 0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.146 & 1.074 & -0.219 & -0.093 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.008 & -0.206 & 0 & -0.02 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.126 & -0.295 & -0.399 & 1.056 & 1.739 & 1.497 & 1.111 & 0.796 & 0.564 & 0.399 & 0.282 & 0.2 \\ 0.41 & 0.375 & 0.676 & 1.172 & 0.536 & 0.178 & 0.058 & 0.019 & 0.007 & 0.002 & 0.001 & 0 \\ -0.106 & 0.287 & 0.889 & -0.425 & -0.828 & -0.653 & -0.465 & -0.328 & -0.231 & -0.163 & -0.115 & -0.081 \\ 0.318 & 0.068 & -0.013 & -0.69 & -0.33 & -0.177 & -0.111 & -0.074 & -0.051 & -0.036 & -0.025 & -0.018 \\ -0.175 & 0.171 & -0.649 & -0.158 & -0.032 & -0.012 & -0.007 & -0.004 & -0.003 & -0.002 & -0.001 & -0.001 \\ 0.212 & 0.457 & -0.274 & -0.011 & -0.001 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 \\ -0.195 & -0.023 & -0.032 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 \\ 0.161 & -0.478 & -0.001 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & -0 & 0 & 0 & -0 \\ -0.188 & -0.182 & -0 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.209 & -0.018 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.093 & -0.001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.572 & -0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$f(X, \alpha, \beta) := \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^N \left( \alpha_{k,j} \cdot 2^{\frac{j}{2}} \cdot \mu(2^j \cdot X - k) \right) + \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^N \left( \beta_{k,j} \cdot 2^{\frac{-j}{2}} \cdot \mu(2^{-j} \cdot X + k) \right)$$



ნახ. 4. სრიალის ზედაპირის გასწვრივ აპროქსიმირებული წირი

#### 4. დასკვნა

ამრიგად, მივიღეთ სრიალის ზედაპირის გასწვრივ მრუდის მიახლოებითი ანალიზური განტოლება (5), სადაც მრუდის ფორმა დამოკიდებულია ქანობის გასწვრივ ნაშალი ქვა-ლორღის სიღრმეთა განაწილებაზე (ცხრ.1), რაც საშუალებას იძლევა გრუნტის შიგა ხახუნისა და შეჭიდულობის ძალების გათვალისწინებით, ვიპოვოთ სრიალის წირის ცხრილური მონაცემები. ამის შემდეგ, წერტილთა განლაგების ხასიათიდან გამომდინარე, ვაგებთ შესაბამის სრიალის წირს, რომელიც სრიალის ზედაპირის ქვედა საყრდენია.

#### ლიტერატურა – References – Литература:

1. Мирцхулава Ц.Е. (1988). Основы физики и механики эрозии русел. -Л.: Изд-во Гидрометеоиздат
2. Morgan R.P.C. (2005). Soil erosion and conservation. 3rd ed. National Soil Resources Institute, Cranfield University
3. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. (1996). Эрозия и охрана почв: -М.: Из-во МГУ, 1996
4. ობგაძე თ. (2006). მათემატიკური მოდელირების კურსი (უწყვეტი მათემატიკური მოდელები), ტ.1., ა. ფრანგიშვილის რედაქციით, სტუ, თბ.
5. Мащенко А.В., Пономарев А.Б., Сычкина Е.Н. (2014). Специальные разделы механики грунтов и механики скальных грунтов. Перм
6. Гребенкин С.С., Гавриш Н.Н. (2004). Механика горных пород. Донецк
7. ობგაძე თ. (2017). მათემატიკური მოდელირება, მონოგრაფია, სტუ, თბ.
8. Дьяконов В.П. (2002). От теории к практике. Вейвлеты, -Москва.
9. Daubechies I. (1992). Ten lectures on wavelets, CBMS-NSF conf. series in applied mathematics. SIAM Ed.

### NUMERICAL ANALYSIS OF A SURFACE OF SLIDING OF A LANDSLIDE

Prangishvili Archil, Obgadze Tamaz, Kuloshvili Naida

Georgian technical university

#### Summary

The existing classifications of landslides by depth, volume and by speeds are given in work. Are under construction mathematical model of dynamics of a landslide. The friction coefficient as normally distributed random variable on a sliding surface in an interval  $[0; 1]$  stochastic change of a bias of a surface of sliding in an interval, characteristic for this district, is also considered. On the basis of Mathcad the program allowing to make is developed wavelet approximation of a surface of sliding.

### ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ОПОЛЗНЯ

Прангишвили А., Обгадзе Т., Кулошвили Н.

Грузинский технический университет

#### Резюме

Рассматриваются существующие классификации оползней по глубине, объему и по скоростям. Строятся математическая модель динамики оползня. Рассматривается коэффициент трения, как нормально распределенная случайная величина по поверхности скольжения в промежутке  $[0; 1]$  и учитывается стохастическое изменение уклона поверхности скольжения в характерном для данной местности промежутке. На основе Mathcad разработана программа, позволяющая произвести вэйвлет аппроксимацию поверхности скольжения.