

მასალის რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა გაუმჯობესებული მეთოდით ცოცვადობის პროცესის მაგალითზე

ბიძინა აბესაძე¹, საბა კოპალიანი²

^{1,2}საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

რეზიუმე: წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია დრეკად-პლასტიკური თვისებების მქონე მასალების, რეოლოგიური ფუნქციების პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდიკა ცოცვადობის პროცესის მაგალითზე. მიდგომა დაფუძნებულია ე.წ. მემკვიდრეობის თეორიის გამოყენებაზე, რომლის ფარგლებშიც გრაფიკების შეთავსების მეთოდით განისაზღვრება მასალის რეოლოგიური ფუნქციების პარამეტრები ($A, \alpha \text{ და } \beta$) [1, 2]. არსებული დამკვიდრებული მიდგომით გრაფიკების შეთავსება ხდება ხელით დახაზული წირების ერთმანეთთან ვიზუალური დამთხვევის გზით, რაც ადამიანური ფაქტორის გათვალისწინებით მნიშვნელოვან ცდომილებებთან არის დაკავშირებული. წინამდებარე შრომაში [6] წარმოდგენილი განახლებული მეთოდიკა მოიცავს გრაფიკების ზუსტად აგებას სხვადასხვა კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით, ხოლო მათი შეთავსება ხდება უმცირეს კვადრატთა მეთოდის ანალოგიური მიდგომით.

კვლევის პროცესში გამოიყენება რეოლოგიური ფუნქციების თეორიული გრაფიკების და ცხრილის სახით გამოსახული მნიშვნელობების არსებული ბაზა [1], რომელიც მნიშვნელოვანია, თუმცა არასაკმარის ინფორმაციას შეიცავს. ამ ბაზის გაფართოების მიზნით შეიქმნა გარკვეული პროგრამები „Maple“-ს ბაზაზე და შემუშავდა მეთოდიკა რთული მათემატიკური გამოსახულებების, რიცხვითი მეთოდებით, მარტივად დათვლის მიზნით, კომპლექსურ სიბრტყეზე გადასვლის გზით.

არსებული კომპოზიტური მასალის ექსპერიმენტული კვლევის მონაცემების საფუძველზე გაუმჯობესებული შეთავსების მეთოდის გამოყენებით მოხდა გრაფიკების დამთხვევის სიზუსტის განმსაზღვრელი შემასწორებელი კოეფიციენტების გამოთვლა და განსხვავებების პროცენტული შეფასება.

საკვანძო სიტყვები: კომპოზიტური მასალა, რეოლოგია, ცოცვადობა, გავლენის ფუნქცია, დეფორმაცია.

შესავალი

დრეკად-პლასტიკური თვისებების მქონე მასალები, როგორცაა სხვადასხვა სახის პლასტიკები ან მათ ბაზაზე შექმნილი კომპოზიტური მასალები [3, 4, 5], დატვირტვების პირობებში ავლენენ დეფორმაციის რთულ სურათს, რაც გამოიხატება მათ რეოლოგიურ ხასიათში. მარტივ შემთხვევაში - ცოცვადობის და რელაქსაციის პროცესებში [1].

მემკვიდრეობის წრფივი თეორიის ფარგლებში, შემოდის გავლენის და რელაქსაციის ფუნქციები, რომელთა საშუალებითაც აღიწერება დეფორმაციის და დატვირტვების რეოლოგიური ხასიათი. მათგან გამორჩეულია ცოცვადობის პროცესი, რომელიც გულისხმობს მასალის დეფორმაციის დროში ცვლადობის აღწერას მუდმივი სიდიდის დატვირტვის შემთხვევაში და გამოისახება (1) დამოკიდებულებით:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_c}{E} \left[1 + \int_0^t K(t - \tau) d\tau \right], \quad (1)$$

სადაც σ_c მუდმივი დატვირთვაა, E – დრეკადობის მოდული, ხოლო $K(t - \tau)$ – გავლენის ფუნქცია.

(1) ინტეგრალური განტოლების გულის რამდენიმე ფორმა არსებობს. წარმოდგენილ კვლევაში გამოყენებულია მ. კოლტუნოვის მიერ [1, 2] განსაზღვრული გამოსახულება:

$$K(t - s) = \frac{e^{-\beta(t-s)}}{(t-s)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[A\Gamma(\alpha)]^n (t-s)^{n\alpha}}{\Gamma(\alpha n)} \quad (2)$$

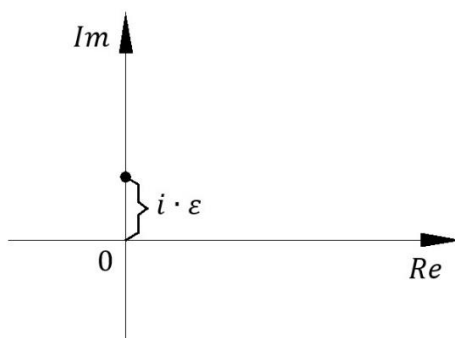
ფორმულა (2) შეიცავს სამ დამოუკიდებელ A , α და β პარამეტრს. რომელთა კონკრეტული მნიშვნელობების განსაზღვრა ნიშნავს კონკრეტული მასალის რეოლოგიური ფუნქციების პოვნას.

შემდგომში, (1) გამოსახულების ანალოგიურად, სხვადასხვა პროცესების აღწერისას გამოიკვეთება სიდიდე $\int_0^t K(t - \tau) d\tau$, რომელიც წარმოადგენს წმინდად თეორიულ ფუნქციას. შექმნილია გარკვეული ბაზა, სადაც კონკრეტული სხვადასხვა (A, α და β) პარამეტრებისთვის წარმოდგენილია თეორიული გრაფიკების ოჯახები და ფუნქციათა მნიშვნელობების გამომსახველი ცხრილები [1]. ეს ბაზა, მიუხედავად მონაცემების სიმრავლისა, არ არის სრულყოფილი. თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკა და პროგრამები იძლევა ამ ბაზის მნიშვნელოვნად გაფართოების საშუალებას. ამ პროცესში აქტიურად იქნა გამოყენებული პროგრამა „Maple“, მისი დიდი შესაძლებლობების მიუხედავად, შეიქმნა გარკვეული პრობლემა (1) გამოსახულებაში ინტეგრალის აღების თვალსაზრისით, რადგანაც ინტეგრალქვეშა გამოსახულება, რომელიც (2) ფორმულითაა მოცემული ერთ-ერთ საზღვარზე სუსტი სინგულარობის გამო ხდება განშლადობა, პირდაპირ რიცხვითი მეთოდებით დათვლის პროცესში. ასევე უსასრულო ჯამი თავის მხრივ შეიცავს ეილერის Γ ფუნქციების კომბინაციას, რომელიც მნიშვნელოვნად ართულებს გამოთვლებს. მოფიქრებული იქნა პროცედურა, რომელიც სინგულარობის თავიდან აცილების საშუალებას იძლევა, კომპლექსურ სიბრტყეზე გადასვლის გზით (სურ. 1), ასევე (1) გამოსახულებაში მარტივი გარდაქმნით დროთა სხვაობის ფუნქცია შეიძლება შეიცვალოს ერთი ცვლადის ფუნქციად. ეს გარდაქმნები წარმოდგენილია (3) და (4) ფორმულების სახით:

$$K(\vartheta) = \frac{e^{-\beta\vartheta}}{\vartheta} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[A\Gamma(\alpha)]^n \vartheta^{n\alpha}}{\Gamma(\alpha n)} \rightarrow K'(\vartheta) = \frac{e^{-\beta\vartheta}}{\vartheta - i \cdot \varepsilon} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[A\Gamma(\alpha)]^n \vartheta^{n\alpha}}{\Gamma(\alpha n)} \quad (3)$$

$$\int_0^t K(t - \tau) d\tau = \int_0^t K(\vartheta) d\vartheta = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_0^t K'(\vartheta) d\vartheta \quad (4)$$

რიცხვითი მეთოდებით დათვლებისას დამაკმაყოფილებელ რეზულტატს იძლევა $\varepsilon \sim 10^{-120}$ მიახლოება, რომლის დროსაც პროგრამულად დათვლის სისწრაფე და დათვლილი ინტეგრალის სიდიდის (მიღებული კომპლექსური რიცხვის ნამდვილი ნაწილი) ცდომილება ზუსტ შედეგთან მიმართებით გონივრულ ფარგლებშია. ძველი და გაუმჯობესებული მეთოდებით დათვლილი შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 1, 2, 3-ში.

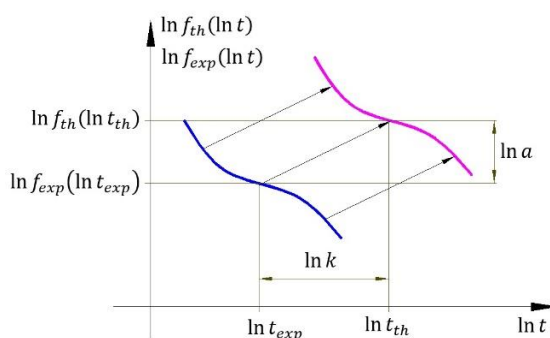


სურ. 1 კომპლექსურ სიბრტყეზე გადასვლა

1. ექსპერიმენტული და თეორიული მრუდების შეთავსების ზოგადი შემთხვევა

წარმოდგენილი კვლევის პროცესში ხდება ექსპერიმენტული და თეორიული მონაცემების ამსახველი გრაფიკების შეთავსება, რაც გულისხმობს მათ მაქსიმალურად ერთმანეთთან დამთხვევას. შეთავსება ხდება ლოგარითმულ სკალაზე, სადაც გრაფიკები გამოსახულია ერთი და იგივე მასშტაბში. ერთ-ერთი მრუდის მოძრაობით ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით ხდება მეორესთან დამთხვევა, ხოლო გადაადგილების პარამეტრები დამატებით მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევა განსახილველი პროცესის აღწერის შესახებ. თუ მაგალითად თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდები ანალიზურად განისაზღვრება, შესაბამისად, $f(t_{th})$ და $f(t_{exp})$ ფუნქციებით, მაშინ ლოგარითმულ სკალაზე მათი შეთავსებისას (სურ. 2) მივიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებას:

$$\ln[f_{exp}(\ln t_{exp})] = \ln[f_{th}(\ln t_{th} - \ln k)] + \ln a = \ln\left(a \cdot f_{th}\left(\ln \frac{t_{th}}{k}\right)\right) \quad (5)$$



სურ. 2 თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდების შეთავსება ლოგარითმულ სკალაზე

(5) გამოსახულებიდან მარტივად ჩანს კავშირი თეორიულ და ექსპერიმენტულ ფუნქციებს შორის:

$$f_{exp}(t_{exp}) = a \cdot f_{th}\left(\frac{t_{th}}{k}\right) \quad (6)$$

a და k სიდიდეები უშუალოდ განისაზღვრება გრაფიკებიდან. კონკრეტული ამოცანის პირობიდან გამომდინარე შესაძლებელია მოხდეს თეორიული მრუდის მოძრაობა აღწერილი დამოკიდებულებების ანალოგიურად.

გაუმჯობესებული მიდგომით გრაფიკების შეთავსების არსი მდგომარეობს იმაში რომ შეთავსების a და k პარამეტრები მაქსიმალურად ზუსტად განისაზღვროს არა უშუალოდ გრაფიკებიდან, არამედ ანალიზურად. უნდა მოხდეს კონკრეტული პროცესის ამსახველი თეორიული და ექსპერიმენტული ფუნქციების ანალიზური ჩაწერა. მიუხედავად იმისა, რომ თეორიული მრუდის ანალიზური სახე არის განსაზღვრული, მაგალითად (1) გამოსახულების სახით, მისი გამოყენება შემდგომი დათვლებისთვის არ არის მოხერხებული. ამიტომ სასურველია ის შეიცვალოს რაიმე n რიგის პოლინომის $P_n(t)$ სახით, რომლის კოეფიციენტები განისაზღვრება წინასწარ შერჩეულ $n + 1$ წერტილზე ფუნქციისა და პოლინომის დამთხვევის პირობიდან მიღებული განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შემდეგ:

$$P_n(t_i) = f_{th}(t_i) \text{ ან } P_n(\ln t_i) = \ln f_{th}(\ln t_i), i = 1 \dots n + 1 \quad (7)$$

თეორიულ ფუნქციასა და შესაბამის პოლინომის მაქსიმალურად დამთხვევისთვის სასურველია n იყოს დიდი, ხოლო t_i წერტილების საზღვრები მოექცეს განსახილველი ამოცანის მიხედვით მოცემულ დროის შუალედს გარეთ, რადგანაც წარმოდგენილი კვლევის ფარგლებში, კონკრეტული მაგალითისთვის, მოხდება თეორიული მრუდის მოძრაობა, რომელიც გლუვია და შესაძლებელია არგუმენტის წანაცვლება განსახილველი არის გარეთ ისე, რომ არ მოხდეს ექსტრაპოლაცია და ზუსტი მნიშვნელობებიდან გადახრა.

რაც შეეხება ექსპერიმენტულ მრუდს, ის უნდა აიგოს ექსპერიმენტულ წერტილებზე, რომელიც გარკვეული ცდომილებით არის გაბნეული. გასაშუალებული მრუდი უნდა აიგოს უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით, რომელიც აპროქსიმირდება m რიგის პოლინომზე $P_m(t)$. ამ შემთხვევაში სასურველია m იყოს მცირე რადგან მრუდი გამოვიდეს გლუვი და არ გადაიხაროს გაბნეულ ექსპერიმენტულ წერტილებზე. ვინაიდან ექსპერიმენტული მრუდი განსახილველი დროის შუალედის გარეთ ვერ გაგრძელდება ექსტრაპოლაციის გარეშე ამიტომ მხოლოდ შუალედის შიდა წერტილებზე უნდა მოვახდინოთ ოპერირება. სწორედ ამიტომ სასურველია გრაფიკების შეთავსების პროცესში ექსპერიმენტული მრუდი დარჩეს უძრავად.

ამის შემდეგ წინასწარ განსაზღვრულ N რაოდენობის წერტილისთვის უნდა შედგეს (5) გამოსახულების შესაბამისად შემდეგი გამოსახულება:

$$S_N = \sum_{i=1}^N [P_n(\ln t_i + \ln k) - \ln a - P_m(\ln t_i)]^2 \rightarrow \min \quad (8)$$

გრაფიკების იდეალური დამთხვევის შემთხვევაში ცხადია (8) გამოსახულება იქნება 0-ის ტოლი, მაგრამ პრაქტიკაში ასე არ მოხდება. წარმოდგენილი სტრატეგია მსგავსია უმცირეს კვადრატთა მეთოდის, იმისათვის, რომ (8) ჯამი გახდეს მინიმალური საჭიროა შესრულდეს პირობა:

$$\frac{\partial S_N}{\partial (\ln a)} = 0 \text{ და } \frac{\partial S_N}{\partial (\ln k)} = 0 \quad (9)$$

შედეგად მიიღება ორი განტოლება ორი უცნობით, რომლის ამონახსნის შემდეგ ცალსახად განისაზღვრება a და k სიდიდეები. (9) გამოსახულებით განსაზღვრული განტოლებები არის რთული, მაღალი ხარისხის პოლინომური ან ტრანსცენდენტული სახის. ანალიზურად მათი ამოხსნა რთულია ან შეუძლებელი, თუმცა თანამედროვე კომპიუტერული პროგრამებით, მაგალითად „Maple“, რიცხვითი მეთოდებით ამოხსნა სირთულეს არ წარმოადგენს.

2. ცოცვადობის მრუდების შეთავსება გაუმჯობესებული მეთოდით

განვიხილოთ მაგალითი, რომელიც მოიცავს კომპოზიტური მასალის ΠΒΠ (3 წლის) სამ სხვადასხვა მუდმივ გამჭიმავ ძაბვაზე ცოცვადობაზე გამოცდის შედეგების [1] საფუძველზე მისი რეოლოგიური პარამეტრების და შემასწორებელი კოეფიციენტების განსაზღვრას, გაუმჯობესებული მეთოდის გამოყენებით. ექსპერიმენტული გამოცდის შედეგები, ასევე ძველი და ახალი მეთოდით განსაზღვრული თეორიული ფუნქციების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში 1, 2, 3. თითოეული ძაბვისთვის ცოცვადობაზე გამოცდის შემდეგ მიღებულ ექსპერიმენტულ შედეგებზე დაყრდნობით, გრაფიკების ვიზუალურად შერჩევის გზით, განსაზღვრულია თეორიული ფუნქციების (გავლენის ფუნქცია) (A, α, β) პარამეტრები. მიჩნეულია რომ წარმოდგენილ შემთხვევაში თანხვედრა კარგია, თუმცა (4) მეთოდით დათვლილი მნიშვნელობები მცირედით განსხვავდება ძველი მეთოდით დათვლის მნიშვნელობებს. შესაბამისად დამატებით საჭიროა შემასწორებელი კოეფიციენტების განსაზღვრა, რომელსაც მოვახდენთ ნაშრომში აღწერილი მექანიზმით. ცოცვადობის პროცესის აღწერისას ვსარგებლობთ (1) გამოსახულებით, საიდანაც

$$\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0} = \int_0^t K(t - \tau) d\tau \quad (10)$$

სადაც, $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_c}{E}$ არის საწყისი დეფორმაცია.

ცხრ. 1 ΠΒΠ მასალის ცოცვადობაზე გამოცდის ექსპერიმენტის შედეგები $\sigma_c = 22$ კგძ/სმ² ძაბვის დროს

დრო t (სთ)	$\alpha = 0.075; \beta = 0.05; A = 0.035$ $\sigma_c = 22$ კგძ/სმ ²			
	$\varepsilon(t)$	$\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$	$\int_0^t K d\tau$ (ძველი მეთოდით)	$\int_0^t K d\tau$ (ახალი მეთოდით)
0	0.00385	0		
0.25	0.00617	0.6025	0.6192	0.7180
0.5	0.00639	0.6597	0.6852	0.7846
1.0	0.00701	0.8207	0.8361	0.8593
1.5	0.00752	0.6532	0.9616	0.9068
2.0	0.00763	0.9818	0.9937	0.9420
3.0	0.00777	1.0182	1.0355	0.9937
5.0	0.00789	1.0493	1.0626	1.0606
20.0	0.00797	1.0701	1.1157	1.2232
30.0	0.00874	1.1662	1.1958	1.2532
45.0	0.00842	1.1870	1.2101	1.2716
50.0	0.00844	1.1922	1.2173	1.2746

ცხრ. 2 PIBII მასალის ცოცვადობაზე გამოცდის
ექსპერიმენტის შედეგები $\sigma_c = 33$ კგძ/სძ² ძაბვის დროს

დრო t (სთ)	$\alpha = 0.10; \beta = 0.05; A = 0.047$ $\sigma_c = 33$ კგძ/სძ ²			
	$\varepsilon(t)$	$\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$	$\int_0^t K d\tau$ (ძველი მეთოდით)	$\int_0^t K d\tau$ (ახალი მეთოდით)
0	0.00577	0		
0.25	0.00960	0.6637	0.6961	0.6810
0.5	0.01014	0.7574	0.7828	0.7646
1.0	0.01072	0.8578	0.9206	0.8622
1.5	0.01103	0.9116	0.9516	0.9263
2.0	0.01166	1.0208	1.0353	0.9751
3.0	0.01202	1.0831	1.1068	1.0484
5.0	0.01229	1.1282	1.1477	1.1470
20.0	0.01335	1.3136	1.4228	1.4086
30.0	0.01372	1.4228	1.4455	1.4624
45.0	0.01395	1.4255	1.4432	1.4973
50.0	0.01461	1.4547	1.4846	1.5032

ცხრ. 3 PIBII მასალის ცოცვადობაზე გამოცდის
ექსპერიმენტის შედეგები $\sigma_c = 44$ კგძ/სძ² ძაბვის დროს

დრო t (სთ)	$\alpha = 0.10; \beta = 0.05; A = 0.050$ $\sigma_c = 44$ კგძ/სძ ²			
	$\varepsilon(t)$	$\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$	$\int_0^t K d\tau$ (ძველი მეთოდით)	$\int_0^t K d\tau$ (ახალი მეთოდით)
0	0.00770	0		
0.25	0.01340	0.7415	0.7579	0.7562
0.5	0.01408	0.8285	0.8309	0.8536
1.0	0.01484	0.9273	0.9312	0.9684
1.5	0.01497	0.9442	0.9553	1.0447
2.0	0.01550	1.0129	1.0216	1.1032
3.0	0.01600	1.0779	1.1887	1.1917
5.0	0.01640	1.1298	1.1429	1.3123
20.0	0.01764	1.2857	1.2910	1.6419
30.0	0.01830	1.4285	1.4586	1.7125
45.0	0.01909	1.4792	1.4819	1.7592
50.0	0.01939	1.5182	1.6136	1.7673

როგორც აღინიშნა, უნდა მოხდეს თეორიული და ექსპერიმენტული წერტილების აპროქსიმირება გარკვეული ხარისხის პოლინომებზე. ანალოგიური საკითხის განხილვისას წინა კვლევის ანალოგიურად ამ შემთხვევაშიც მოვახდინოთ თეორიული მრუდის აპროქსიმირება მე-7 რიგის პოლინომამდე ხოლო ექსპერიმენტული მრუდი მე-4 რიგამდე. უნდა შედგეს (8) გამოსახულებით განსაზღვრული ჯამი და ამოიხსნას (9) განტოლებათა სისტემა. სამივე ცხრილის მონაცემებზე დაყრდნობით. განისაზღვრა თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდების შეთავსებისას შემასწორებელი კოეფიციენტები, რომლებიც მოცემული ამოცანისთვის ითვლებოდა როგორც $a = 1$ და $k = 1$. გაუმჯობესებული მეთოდის გამოყენებით დათვლის შემდგომ ისინი ღებულობს მნიშვნელობებს:

$\sigma_c = 22$ კგ/სმ²-თვის $a = 0.8882$ და $k = 0.8153$, რაც ძველი მეთოდით დათვლის შედეგებისგან განსხვავდება, შესაბამისად, 11%-ით და 18%-ით.

$\sigma_c = 33$ კგ/სმ²-თვის $a = 0.9107$ და $k = 0.5873$, რაც ძველი მეთოდით დათვლის შედეგებისგან განსხვავდება, შესაბამისად, 9%-ით და 41%-ით.

$\sigma_c = 44$ კგ/სმ²-თვის $a = 0.8827$ და $k = 0.9440$, რაც ძველი მეთოდით დათვლის შედეგებისგან განსხვავდება, შესაბამისად, 12%-ით და 6%-ით.

დასკვნა

კომპოზიტური მასალების რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის და შემასწორებელი კოეფიციენტების პოვნის წარმოდგენილი მეთოდიკა, რომელიც გულისხმობს თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდების შეთავსების გაუმჯობესებულ ანალიზურ მეთოდს, იძლევა საშუალებას მნიშვნელოვნად გაიზარდოს გრაფიკების შეთავსების პარამეტრების განსაზღვრის სიზუსტე. სიზუსტის ხარისხი დამოკიდებულია აპროქსიმაციის პოლინომის რიგის სიდიდეზე. შესაბამისად რთულდება ანალიზური ამონახსნების პოვნაც, თუმცა ამოხსნა შესაძლებელია.

თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის და პროგრამების გამოყენებით რთული გამოთვლების ჩატარება მნიშვნელოვნად არის გაადვილებული, ამიტომ მსგავსი ანალიზური კვლევის მეთოდის გამოყენება გამართლებულია.

წარმოდგენილ ნაშრომში გამოთვლილია ПБП (3 წლის) კომპოზიტური მასალის ცოცვადობაზე გამოცდის შედეგების საფუძველზე შერჩეული გავლენის ფუნქციების შემასწორებელი კოეფიციენტებს შორის განსხვავება, დათვლის გაუმჯობესებული მეთოდის გამოყენებით. აღსანიშნავია, რომ წარმოდგენილი კვლევის მეთოდი არ მოიცავს მასალის რეოლოგიური თეორიული ფუნქციების პარამეტრების განსაზღვრას. პარამეტრების შერჩევა ხდება გრაფიკების ვიზუალურად დამთხვევის შედეგად.

მადლიერება: კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [YS-23-796, კომპოზიტური სივრცითი კონსტრუქციების გაანგარიშების ახალი მეთოდი, ალგორითმი და პროგრამა].

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - A. Dumbadze, "Mechanics of composite body", Tbilisi, 2015;
- [2] - B. Noton, APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN TECHNICS, Volume 3, Moscow "Mechanical Engineering" 1978;
- [3] - B. Abesadze. Comparative analysis of methods for stress calculation for composite skins of aircrafts // Dissertation work. 2019;
- [4] - Bidzina Abesadze. THE PURE BENDING TASK IN CASE OF COMPOSITE ROD BASED ON FOUR-ELEMENT MODEL. Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series (Scopus), 2020;
- [5] - Khmelidze T. Kipiani G. Composite constructions // Georgian Technical University. Tbilisi 2022;
- [6] - B. Abesadze, V. Kelikhashvili, An improved method for determining the parameters of the composite material rheological functions within the framework of the nonlinear theory of deformation // SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL, "BUILDING" №3(67), Tbilisi - 2023. ISSN 1512-3936.1

Determination of the rheological parameters of the material by an improved method on the example of the creep process

B. Abesadze¹, S. Kopaliani²

^{1,2}Georgian Aviation University

Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

Abstract

In this work, we discuss an improved methodology for determining the parameters of rheological functions in materials with elastic-plastic properties, using the creep process as an example. This approach is based on the theory of inheritance, where the parameters of the rheological functions are determined by combining graphs (A, α and β). Traditionally, these graphs are matched through visual alignment of hand-drawn circles, which is prone to significant human error. The updated methodology presented in this work involves the precise matching of graphs using various computer programs, and their matching is performed using the least squares approach method. During the research process, we utilized an existing database of theoretical graphs of rheological functions and values displayed in tabular form which, although important, contains insufficient information. To expand this database, programs were developed using "Maple," and a methodology was created for the straightforward calculation of complex mathematical problems with numerical methods, by transitioning to the complex plane. Based on experimental data from the existing composite material, the improved matching method was used to calculate correction coefficients that determine the accuracy of the graph matching, and the percentage differences were estimated.