კომპოზიტური მასალის რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდი

ბიძინა აბესაძე, ვაჟა კელიხაშვილი, საბა კოპალიანი

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103, თბილისი, საქართველო

ანოტაცია

ნაშრომში განხილულია დრეკად-პლასტიკური თვისებების მქონე კომპოზიტური მასალების, გავლენისა და რელაქსაციის ფუნქციების პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდიკა, არაწრფივი დეფორმაციის მაგალითზე. მიდგომა დაფუძნებულია ე.წ. მემკვიდრეობის თეორიის გამოყენებაზე. მასალის რეოლოგიური ფუნქციების პარამეტრების (A, α და β) განსაზღვრა დღეისათვის ხდება თეორიული და ექსპერიმენული გრაფიკების შეთავსების მეთოდით [1, 2]. ეს მეთოდი მოძველებულია და გარკვეულ უზუსტობებთანაა დაკავშირებული.

წარმოდგენილ განახლებულ მეთოდში, მასალის გავლენის და რელაქსაციის ფუნქციების პარამეტრების (A, α და β) შერჩევა, კვლევის მოცემული ეტაპისთვის ხდება არსებული მეთოდიკით, ფუნქციათა გრაფიკების უშუალო მსგავსების (შეთავსების) საფუძველზე. ხოლო, შემდგომში, ხდება თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდების აპროქსიმაცია ნებისმიერი ხარისხის პოლინომზე, უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით. ქვემოთ განხილულ მაგალითში ხდება მე-4 და მე-7 ხარისხის პოლინომებზე აპროქსიმაცია. თეორიული მრუდის შესაბამის პოლინომურ გაშლაში, ფუნქციის გრაფიკის მეტი სიგლუვის მოსაზრებიდან გამომდინარე, ხდება ორი დამატებითი პარამეტრის გათვალისწინება, რომელიც უზრუნველყოფს ამ მრუდის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ ღერძებზე გადაადგილებას, რომელიც მაქსიმალურად უნდა დაემთხვეს ექსპერიმენტულ პოლინომის შესაბამის გრაფიკს.

აღნიშნული პარამეტრების განსაზღვრა მოხდება უმცირეს კვადრატთა მეთოდის ანალოგიური პროცედურით. კერძოდ, ფუნქციათა არგუმენტების კონკრეტულ წერტილებში, თეორიული და ექსპერიმენტული მნიშვნელობების სხვაობების კვადრატების ჯამი უნდა იყოს მინიმალური. უნდა ამოიხსნას ორი ცვლადის ფუნქციის მინიმუმის პოვნის ამოცანა. შესაბამისი დათვლები ხდება კომპიუტერული პროგრამის „Maple“-ს გამოყენებით და მიიღება შესაბამისი ამონახსნები. კონკრეტული მაგალითის საფუძველზე ხდება უკვე არსებული და გაუმჯობესებული მეთოდით მიღებული შედეგების შედარება.

საკვანძო სიტყვები: *კომპოზიტური მასალა, რეოლოგია, რელაქსაცია, გავლენის ფუნქცია, დეფორმაცია*

შესავალი

დრეკად-პლასტიკური თვისებების მქონე მასალები, როგორიცაა სხვადასხვა სახის პლასტიკები ან მათ ბაზაზე შექმნილი კომპოზიტური მასალები [5, 6], დატვირთვების პირობებში ავლენენ დეფორმაციის რთულ სურათს, რაც გამოიხატება მათ რეოლოგიურ ხასიათში. მარტივ შემთხვევაში - ცოცვადობის და რელაქსაციის პროცესებში [1].

დრეკად-პლასტიკური მასალების რეოლოგიური თვისებების აღწერის არაერთი თეორია და მიდგომა არსებობს, მათგან გამოიყოფა მოდელების თეორია [3, 4] და მემკვიდრეობის ანუ ბოლცმანის თეორია [1, 2, 6]. წარმოდგენილ ნაშრომში ხდება ამ უკანასკნელის გამოყენება.

მემკვიდრეობის თეორიის ფარგლებში, შემოდის გავლენის და რელაქსაციის ფუნქციები, რომელთა საშუალებითაც აღიწერება დეფორმაციის და დატვირთვების რეოლოგიური ხასიათი. კონკრეტულ შემთხვევაში, ცოცვადობა და რელაქსაციის პროცესი აღიწერება (1) და (2) გამოსახულებებით:

ცოცვადობის შესაბამისი დეფორმაცია

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

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

რელაქსაციის პროცესი აღიწერება განტოლებით:

$$\sigma(t) = E\varepsilon_c\left(1 - \int_0^t T(t-\tau)d\tau\right), \tag{2}$$

სადაც ε_c დეფორმაციის მუდმივი მნიშვნელობაა, ხოლო $T(t-\tau)$ – რელაქსაციის სიჩქარის ფუნქცია [1].

(2) ინტეგრალური განტოლების გულის რამდენიმე ფორმა არსებობს. წარმოდგენილ კვლევაში გამოყენებულია ა. რჟანიცინის მიერ შემოთავაზებული $T(t-s) = \frac{Ae^{-\beta(t-s)}}{(t-s)^{1-\alpha}}$ ფუნქცია, ხოლო მ. კოლტუნოვის მიერ განისაზღვრა $K(t-s) = \frac{e^{-\beta(t-s)}}{(t-s)}\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{[A\Gamma(\alpha)]^n(t-s)^{n\alpha}}{\Gamma(\alpha n)}$ ფუნქცია [1, 2]. ორივე მათგანი შეიცავს სამ დამოუკიდებელ A, α და β პარამეტრს. რომელთა კონკრეტული მნიშვნელობების განსაზღვრა ნიშნავს კონკრეტული მასალის რეოლოგიური ფუნქციების პოვნას.

აღნიშნული პარამეტრების შერჩევის პროცედურა, არსებული მიდგომებით, დაფუძნებულია გრაფიკების შეთავსების მეთოდზე [1, 3]. ცოცვადობის წრფივი თეორიის ფარგლებში, როცა მოქნილობის ექსპერიმენტული მრუდები $I(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_c}$ ერთმანეთს ემთხვევა, ან თავსდება ვიწრო ზოლში, მაშინ (1) გამოსახულებიდან ხდება თეორიული და ექსპერიმენტული შემადგენლების განცალება

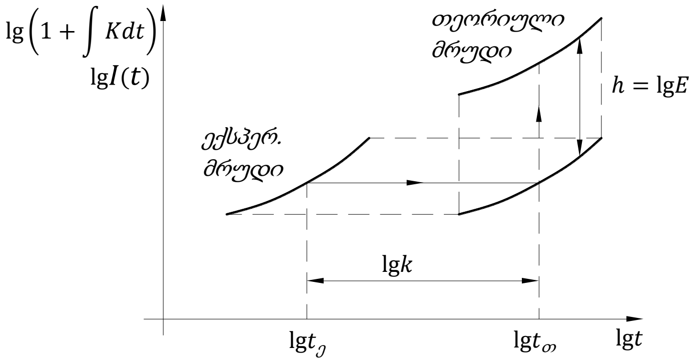
$$E \cdot I(t) = 1 + \int_0^t K(\tau)\,d\tau, \tag{3}$$

რომლის გალოგარითმებით მიიღება:

$$\mathrm{Lg}E + \lg\big(I(t)\big) = \lg\left[1 + \int_0^t K(\tau)\,d\tau\right], \tag{4}$$

სადაც ცალკე შესაკრებად გამოიყოფა მასალის დრეკადობის მოდული. გრაფიკების შეთავსების არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ლოგარითმულ სკალაზე აიგება ექსპერიმენტული $\lg\big(I(t)\big)$ და თეორიული $\lg\left[1 + \int_0^t K(\tau)\,d\tau\right]$ მრუდები. ექსპერიმენტული მრუდის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით მოძრაობისას ხდება ყველაზე მსგავსი თეორიული მრუდის შერჩევა, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება A, α და β პარამეტრები, ხოლო მრუდის გადაადგილების შესაბამისი მანძილებით განისაზღვრება: ა) ვერტილური მიმართულებით გადაადგილების h სიდიდით, განისაზღვრება მასალის დრეკადობის მოდული $\lg E = h \Rightarrow E = 10^h$ და ბ) ჰორიზომტალური გადაადგილებით $\lg t_{თ} - \lg t_{ე} = \lg\frac{t_{თ}}{t_{ე}} = \lg k$ განისაზღვრება თეორიულ

და ექსპერიმენტულ დროებს შორის განსხვავება [1, 3], $k = \frac{t_თ}{t_ე}$ (იხილეთ ნახ. 1). აღნიშნულ მეთოდში გამოყენებულია ათობით ლოგარითმულ სკალაზე (lg) გრაფიკების აგების და მათი ვიზუალური შედარების მეთოდი. შეიძლება გამოყენებული იქნას ნატურალური ლოგარითმული სკალაც (ln) (შემდგომში, ეს მიდგომა იქნება გამოყენებული).



ნახ. 1 გრაფიკების შეთავსების მეთოდის ტიპური სქემა

დეფორმაციის არაწრფივი თეორია, მრუდების მსგავსება

როცა დრეკად-ბლანტი სხეულების დეფორმაციისას მოქნილობის მრუდები $I(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_k}$ ვერ თავსდება ვიწრო ზოლში დამტვირთავი ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს, მაშინ ადგილი აქვს არაწრფივ დეფორმაციას. ასეთ შემთხვევაში არსებობს მასალის პარამეტრების განსაზღვრის რამდენიმე მეთოდი. ერთ-ერთი წარმოადგენს ცოცვადობის ან რელაქსაციის მრუდების მსგავსების შემთხვევას [1]. ამ დროს ხდება საბაზო მრუდის შერჩევა და მისი შესაბამისი თეორიული პარამეტრების განსაზღვრა, ხოლო სხვა დანარჩენ შემთხვევაში საბაზო მონაცემები გამრავლდება შესაბამის მსგავსების კოეფიციენტებზე.

შემდგომში, განხილულ მაგალითში წარმოდგენილია მასალის რელაქსაციაზე გამოცდის მონაცემების ანალიზი. არაწრფივი დეფორმაციის ფარგლებში, მუდმივი დეფორმაციის შესაბამისი, რელქსაციის პროცესის ამსახველი დამოკიდებულება მოიცემა სახით:

$$\sigma(t,\varepsilon_k) = \psi(\varepsilon_k)\left(1 - \int_0^t T(t-\tau)d\tau\right), \quad (5)$$

სადაც ε_k არის დეფორმაციის კონკრეტული მნიშვნელობა, ხოლო $\psi(\varepsilon_k) = æ_k \cdot æ_0$. თავის მხრივ, $æ_0$ არის $\sigma(t,\varepsilon_0)$ საბაზო მრუდის მსგავსების კოეფიციენტი $f(t) = 1 - \int_0^t T(t-\tau)d\tau$ თეორიულ მრუდთან, ხოლო $æ_k = \frac{\sigma(t,\varepsilon_k)}{\sigma(t,\varepsilon_0)} = \frac{\psi(\varepsilon_k)}{\psi(\varepsilon_0)}$ არის $\sigma(t,\varepsilon_k)$ ექსპერიმენტული მრუდის მსგავსების კოეფიციენტი $\sigma(t,\varepsilon_0)$ საბაზო მრუდთან [1].

საბაზო მრუდის მონაცემების საფუძველზე, მასალის თეორიული პარამეტრების შერჩევა ხდება ისეთივე გზით, როგორც წრფივი დეფორმაციის თეორიაში არის მოცემული - გრაფიკების შეთავსების მეთოდით. ლოგარითმულ (ln) სკალაზე აიგება თეორიული $f(t)$ და და ექსპერიმენტული $\sigma(t,\varepsilon_0)$ მრუდები. უკანასკნელის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური წანაცვლებით შეირჩევა ყველაზე მსგავსი თეორიული მრუდი, განისაზღვრება შესაბამისი A, α და β პარამეტრები. ექსპერიმენტული მრუდის ვერტიკალური წანაცვლების სიდიდე იქნება $æ_0$ მსგავსების კოეფიციენტის ლოგარითმის ტოლი $h = \ln(æ_0) \Rightarrow æ_0 = e^h$, ხოლო ჰორიზონტალური წანაცვლება განსაზღვრავს თეორიულ და ექსპერიმენტულ დროებს შორის განსხვავებას $k = \frac{t_თ}{t_ე}$.

მასალის პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდი

აღწერილი გრაფიკების შეთავსების მეთოდი დაფუძნებულია მრუდების ვიზუალურ შედარებაზე, რამაც შესაძლოა მნიშვნელოვანი ცდომილება გააჩინოს.

სასურველია დამუშავდეს რაიმე სხვა უფრო ზუსტი მეთოდიკა, რომელიც უზრუნველყოფს სიზუსტის მეტად გაზრდას. ასეთ მეთოდად ნაშრომში შემოთავაზებულია რიცხვითი მონაცემების დამუშავების ფორმა, რომელიც დაფუძნებულია უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებაზე. პირდაპირ ანალიზური მეთოდის გამოყენება, გავლენისა და რელაქსაციის ფუნქციების რთული მათემატიკური ფორმის გამო, დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული.

ქვემოთ წარმოდგენილ მაგალითში, მასალის პარამეტრების შერჩევა მოხდა გრაფიკების ვიზუალური მსგავსებით, ხოლო ექსპერიმენტული და თეორიული მრუდების ღერძების მიმართ წანაცვლების სიდიდეების განსაზღვრა მოხდა განახლებული მეთოდის საშუალებით, კომპიუტერული პროგრამის „Maple“-ს გამოყენებით. განსახილველ მაგალითში შემავალი ექსპერიმენტული მონაცემები აღებულია [1] ლიტერატურიდან.

განიხილება მასალა П-200 - ის კუმშვაზე არაწრფივი რელაქსირების შემთხვევა. ფიქსირებული ფარდობითი დეფორმაცია $\varepsilon_0 = 1.39$ %, ხოლო საწყისი ძაბვა $\sigma_0 = 0.088$ კგძ/მმ^2. რელაქსაციის ამსახველი ძაბვის დროში ცვლილების მონაცემები წარმოდგენილია ცხრ. 1-ში.

ცხრ. 1 П-200 მასალის კუმშვაზე

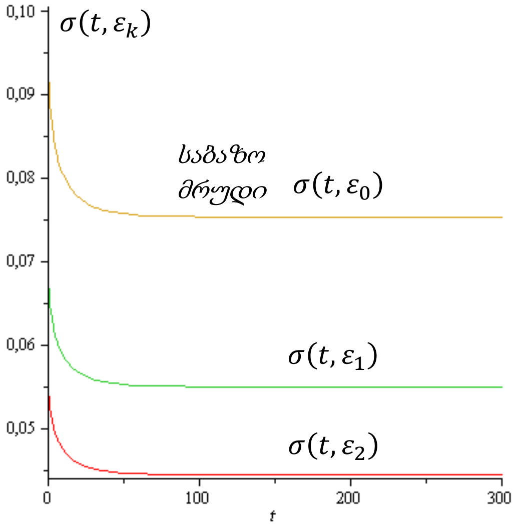
ცხრ. 1 არაწრფივ რელაქსაციაზე გამოცდის შედეგები

t წთ	$\sigma(t)$ კგძ/მმ^2	$\frac{\sigma(t)}{\varepsilon_k}$	$f(t) = 1 - \int T d\tau$
0	0.088	6.33	1
2	0.085	6.20	0.86360
4	0.083	5.97	0.83572
6	0.082	5.90	0.81837
8	0.081	5.83	0.80602
10	0.080	5.76	0.79667
20	0.078	5.61	0.77121
30	0.077	5.47	0.76067
50	0.076	5.47	0.75311
60	0.076	5.47	0.75177
90	0.075	5.39	0.75043
120	0.075	5.39	0.75020
300	0.075	5.39	0.75015

ნახ. 2 ზე წარმოდგენილია მასალის რელაქსაციის ამსახველი ექსპერიმენტული მრუდები. აირჩა საბაზო მრუდი, შემდგომ შედარდა და განისაზღვრა სხვა მრუდების მსგავსების კოეფიციენტი საბაზო მრუდთან მიმართებით: $\varepsilon_1 = 0{,}77$ %, $\text{æ}_1 = \frac{\sigma(t,\varepsilon_1)}{\sigma(t,\varepsilon_0)} = 0{,}73$;

$$\varepsilon_2 = 0{,}55\ \%,\ \text{æ}_2 = \frac{\sigma(t,\varepsilon_2)}{\sigma(t,\varepsilon_0)} = 0{,}59. \qquad (6)$$

თეორიული მრუდის შერჩევა ხდება შემდეგნაირად: ლოგარითმულ სკალაზე უნდა აიგოს ექსპერიმენტული საბაზო მრუდი, რომელიც შემდგომ უნდა დადარდეს თეორიულ მრუდებს, რომელიც წინასწარ მზა ფორმით არის მოცემული შესაბამის ცნობარებში. უნდა მოიძებნოს მაქსიმალური მსგავსება და, განსახილველ შემთხვევაში, განისაზღვროს, რელაქსაციის სიჩქარის თეორიული მრუდის პარამეტრები.

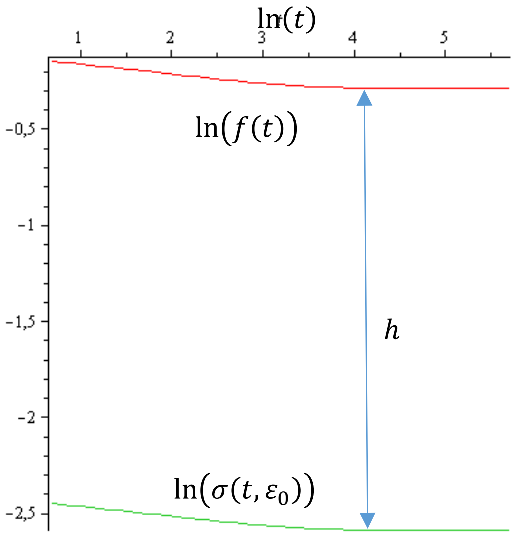


ნახ. 2 მასალა П-200-ის რელაქსაციაზე გამოცდის ექსპერიმენტული მრუდები

მოცემულ კონკრეტულ შემთხვევაში შეირჩა თეორიული მრუდი $f(t) = 1 - \int_0^t T(t-\tau)d\tau$ შემდეგი პარამეტრებით:

$$A = 0.034;\ \alpha = 0.3 \text{ და } \beta = 0.05 \tag{7}$$

ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია ლოგარითმულ სკალაზე გამოსახული ექსპერიმენტული საბაზო და თეორიული მრუდები.



ნახ. 3 ლოგარითმულ სკალაზე გამოსახული ექსპერიმენტული საბაზო
და თეორიული მრუდები

გრაფიკების შეთავსების პარამეტრები, რაც გულისხმობს ექსპერიმენტული მრუდის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით გადაადგილების შესაბამისი მანძილების პოვნას, განისაზღვრება ანალიზურად, განახლებული მეთოდით. მეთოდიკა დაფუძნებულია უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებაზე.

ექსპერიმენტული მონაცემები წარმოდგენილია დისკრეტული წერტილების სახით, რომელზეც უნდა გაივლოს უწყვეტი მრუდი. ამ შემთხვევაში გამოყენებულია მე-4 რიგის პოლინომი, ხოლო ფუნქცია შედგენილია $\ln(\sigma(t,\varepsilon_0)) \cong P_4(t)$ ფორმით. განსაზღვრულია შესაბამისი პოლინომიალური კოეფიციენტები.

მიუხედავად იმისა, რომ თეორიული ფუნქციის ანალიზური ფორმა ცნობილია, შემდგომი გამოთვლების გამარტივების მიზნით, მოხდა ამ ფუნქციის წარმოდგენაც პოლინომური ფორმით, მხოლოდ ამ შემთხვევაში მე-7 რიგამდე $\ln(f(t)) \cong P_7(t)$, განისაზღვრა შესაბამისი პოლინომიალური კოეფიციენტებიც.

თეორიული და ექსპერიმენტული გრაფიკების შეთავსება გულისხმობს, რომ უნდა შესრულდეს შემდეგი პირობა:

$$\sigma(t_ე, \varepsilon_0) \cong æ_0 \cdot f(k \cdot t_ე). \tag{8}$$

იმის გამო, რომ თეორიული მრუდი უფრო მეტად გლუვია, ვიდრე ექსპერიმენტული, ამიტომ ანალიზური თვალსაზრისით, ნაკლები ცდომილების მიღების გამო, ხდება თეორიული მრუდის მოძრაობა ღერძების გასწვრივ, ხოლო ექსპერიმენტული მრუდი უძრავად რჩება. ლოგარითმულ სკალაზე, ასეთი დამაკავშირებელი განტოლება მიიღებს სახეს:

$$P_7(\ln t_ე + \ln p) - h \cong P_4(\ln t_ე) \tag{9}$$

ამის შემდგომ ამოიხსნა, უმცირეს კვადრატთა მეთოდის ანალოგიურად, ექსტრემუმის (მინიმუმის) პოვნის ამოცანა შემდეგი გამოსახულებისთვის:

$$S_n = \sum_{i=1}^{n} \left[P_7(\ln t_{ეi} + \ln p) - h - P_4(\ln t_{ეi})\right]^2, \tag{10}$$

განსახილველი არის $n = 10$ წერტილისთვის. რიცხვითი მეთოდებით, კომპიუტერული პროგრამის „Maple“-ს საშუალებით ამოიხსნა განტოლებები:

$$\frac{\partial S_n}{\partial(\ln p)} = 0 \text{ და } \frac{\partial S_n}{\partial h} = 0. \tag{11}$$

(11) განტოლებათა სისტემას აქვს ერთი ნამდვილი ამონახსნი, რომელიც მოიცემა სახით: $h = 2.2981$ და $\ln p = 0.0698$. (8) გამოსახულებასთან შედარების შემდეგ გვექნება: $\ln æ_0 = -h = -2.2981$ და $\ln k = \ln p = 0.0698$, საიდანაც:

$$æ_0 = e^{-2.2981} = 0.10045 \text{ და } k = \frac{t_თ}{t_ე} = e^{0.0698} = 1.07225 \tag{12}$$

აღსანიშნავია, რომ [1] ლიტერატურაში მოცემული მეთოდით დაანგარიშებული მონაცემების მიხედვით $æ_0 = 0.098$, ხოლო k-ს მნიშვნელობა თავიდანვე მიჩნეულია 1-ის ტოლად. წარმოდგენილ განახლებულ მეთოდში უფრო დიდი სიზუსტის მიღწევა არის შესაძლებელი, ანალიზური დათვლების სირთულის მიუხედავად.

(12)-ით განსაზღვრული k-ს მნიშვნელობის შესაბამისად, შეიძლება განისაზღვროს მასალის რელაქსაციის სიჩქარის ფუნქციის ექსპერიმენტული პარამეტრებიც, კერძოდ: $\alpha_ე = \alpha_თ = \alpha = 0.3$; $\beta_ე = k \cdot \beta_თ = 0.05361$ და $A_ე = k^{\alpha-1} \cdot A_თ = 0.03238$, ხოლო თეორიული დრო $t_თ = k \cdot t_ე = 1.07225 \cdot t_ე$. П-200 მასალის რელაქსაციის განტოლება მიიღებს შემდეგ საბოლოო ფორმას:

$$\sigma(t_ე, \varepsilon_k) = \psi(\varepsilon_k)\left(1 - \int_0^{1.07225 \cdot t_ე} 0.03238 \cdot e^{-0.05361 \cdot (t_ე - \tau)} \cdot (t_ე - \tau)^{-0.7} d\tau\right), \tag{13}$$

სადაც $\psi(\varepsilon_0) = æ_0 = 0.10045$ კგძ/მმ^2; $\psi(\varepsilon_1) = æ_1 \cdot æ_0 = 0.07333$ კგძ/მმ^2 და $\psi(\varepsilon_2) = æ_2 \cdot æ_0 = 0.05937$ კგძ/მმ^2.

შეიძლება განისაზღვროს ასევე მასალის დრეკადობის მოდულებიც, შესაბამისი ფიქსირებული დეფორმაციების დროს: $E = \frac{\sigma(0,\varepsilon_k)}{\varepsilon_k}$, გვექნება:

$$E_0 = \frac{0.10045}{0.0139} = 7.227 \text{კგძ/მმ}^2;\ E_1 = \frac{0.07333}{0.0077} = 9.523 \text{ კგძ/მმ}^2 \text{ და } E_3 = \frac{0{,}05937}{0{,}0059} = 10{,}063 \text{ კგძ/მმ}^2. \tag{14}$$

წარმოდგენილმა დათვლის განახლებულმა მეთოდმა აჩვენა რომ П-200 მასალის მექანიკური მახასიათებლები მცირედით უკეთესია ადრე გამოყენებულ დათვლის მეთოდებით მიღებულ შედეგებზე.

დასკვნები

კომპოზიტური მასალების პარამეტრების განსაზღვრის 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.

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

წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია მასალის არაწრფივ რელაქსაციაზე გამოცდის მაგალითი, თუმცა დათვლის ეს მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას ექსპერიმენტული და თეორიული გრაფიკების შეთავსების კონცეფციაზე დაფუძვნებულ ნებისმიერი ამოცანის გადასაწყვეტად, როგორიცაა: წრფივი და არაწრფივი ცოცვადობა; პუასონის კოეფიციენტის განსაზღვრა; ტემპერატურისა და დროის ანალოგიის განხილვა თუ სხვა ამოცანები.

აღსანიშნავია, რომ წარმოდგენილი კვლევის მეთოდი არ მოიცავს მასალის რეოლოგიური თეორიული ფუნქციების პარამეტრების განსაზღვრას. პარამეტრების შერჩევა ხდება გრაფიკების ვიზუალურად დამთხვევის შედეგად. სამომავლოდ ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი სამუშაოებია ჩასატარებელი, რათა გაზრდილი იყოს პარამეტრების განსაზღვრის სიზუსტე.

როგორც განხილული მაგალითიდან ჩანს, დათვლის განახლებული მეთოდის გამოყენების შემდეგ, არსებულ მეთოდებთან შედარებით, დაზუსტდა П-200 მასალის ექსპერიმენტული რელაქსაციის ფუნქციის სახე და გამოჩნდა, რომ მას აქვს უკეთესი მექანიკური მახასიათებლები.

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.

An Updated Method for Determining the Rheological Parameters of Composite material

Bidzina Abesadze, Vaja Kelikhashvili, Saba Kopaliani

Georgian Aviation University, 16 Ketevan Dedopali Ave. 0103, Tbilisi, Georgia

Abstract

The paper discusses the improved methodology for determining the parameters of the influence and relaxation functions of composite materials with elastic-plastic properties, on the example of nonlinear deformation. The approach is based on the so-called on the application of the heredity theory. Due to the existence of a complex mathematical apparatus, the parameters of the rheological functions of the material (A, α and β) today, it is determined by combining theoretical and experimental graphs [1, 2]. This method is outdated and associated with certain inaccuracies. In particular, the determination of the strength characteristics of a specific material and the coefficient of theoretical and experimental time displacement gives a significant error during further calculations.

In the presented improved method, parameters of material influence and relaxation functions (A, α and β) the selection for the given phase of the research is done using the existing methodology, based on the simple similarity (combination) of the graphs of the functions. Also, subsequently, theoretical and experimental curves are approximated to a polynomial of any degree, using the least squares method. In the example discussed below, approximations are made to 4th and 7th degree polynomials. In the corresponding polynomial expansion of the theoretical curve, based on the consideration of greater smoothness of the graph of the function, two additional parameters are calculated, which ensure the displacement of this curve on the horizontal and vertical axes, which should coincide as much as possible with the corresponding graph of the experimental polynomial.

The mentioned parameters will be determined by a procedure similar to the least squares method. In particular, the sum of the squares of the differences between the theoretical and experimental values at specific points of the functions arguments should be minimal. The task of finding the minimum of a function of two variables should be solved. The corresponding calculations are made using the computer program "Maple" and the corresponding solutions are obtained. Based on a specific example, the results obtained by the existing and improved method are compared.

Keywords: *composite, deformation, relaxation, influence function, nonlinear theory.*