

## თხელკედლიანი კონსტრუქციების ანგარიში დადლილობასა და ხანგამძლეობაზე ANSYS საპროგრამო კომპლექსის გამოყენებით

ს. ტეფნაძე<sup>1</sup>, ი. ლოლაძე<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო<sup>1</sup>

**რეზიუმე:** საყოველთაოდ ცნობილია, რომ საავიაციო კონსტრუქციების ხანგამძლეობის საკითხების გადაწყვეტა ერთ-ერთი ურთულესი საკითხია, მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული საკითხის შესწავლას მიძღვნილი აქვს არაერთი სამეცნიერო სტატია თუ მონოგრაფია, სადღეისოდ არ არსებობს სრულყოფილი მეთოდი, რომლის შედეგადაც საფრენ აპარატებს ზუსტად განესაზღვრება ფრენა-საათი ან კალენდარული დრო, სწორედ ამიტომ მიმართავენ საფრენ აპარატებზე ფიზიკური ექსპერიმენტის ჩატარებას განმეორებით სტატიკურ დატვირთვებზე, რაც ფინანსურად და დროის თვალსაზრისით საკმაოდ ძვირადღირებულია. აღნიშნულ ნაშრომში გადმოცემულია არამარტო დადლილობისა და ხანგამძლეობის ზოგადი საკითხები, არამედ რიცხვითი ექსპერიმენტის სახით განხილულია კონკრეტული კონსტრუქციის ანგარიში ხანგამძლეობაზე, ციკლური დატვირთვების პირობებში შეფასებულია ყველა ის პარამეტრი რომელიც განსაზღვრავს მის მუშაუნარიანობას დროის გარკვეულ პერიოდში. სტატიაში განხილულია დადლილობის ფენომენი და რა ძირითადი ფაქტორები ახდენენ გავლენას მასზე.

**საკვანძო სიტყვები:** ძაბვა, კონცენტრატორი, სიხისტე, სასრული ელემენტი.

### ძირითადი ნაწილი

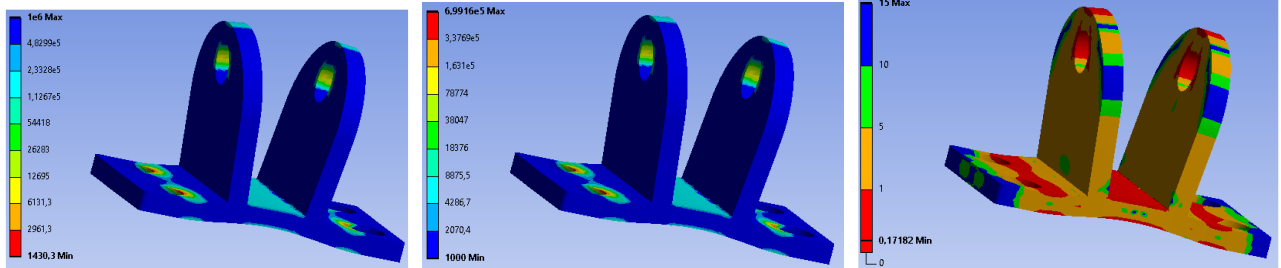
კონსტრუქციათა და მათი ელემენტების უდიდესი ნაწილი განიცდის დატვირთვებს, რომლებიც ცვალებადია დროში. დროზე დამოკიდებული ცვლადი დატვირთვებისაგან გამოწვეული კონსტრუქციათა დეფორმირებული ფორმა მცირედით განსხვავდება სტატიკური დატვირთვების გავლენით გამოწვეული კონსტრუქციათა დეფორმირებული ფორმისაგან. ასეთი სახის დატვირთვებს ეწოდება კვაზისტატიკური დატვირთვები. ყველაზე ფართოდ გავრცელებული ასეთი სახის დატვირთვებია სიდიდით ცვლადი და დროში გამეორებადი დატვირთვები. ასეთ დატვირთვებს ეწოდება ციკლური დატვირთვები. მანქანა-დანადგარებისა და სხვადასხვა სახის კონსტრუქციათა მუშაობისას ციკლური (ასი ათასობით, მილიონობით ან, თუნდაც, მილიარდობით ციკლი) დატვირთვების პირობებში ხანგრძლივი დროის განმავლობაში საკმაოდ ხშირად გვხვდება მათი უეცარი რღვევა, ამასთან შესამჩნევი ნარჩენი დეფორმაციები არ აღინიშნება და ძაბვათა ტენზორი არსებითად ნაკლებია ვიდრე სტატიკური სიმტკიცის შემთხვევაში. ეს ფენომენი ფიქსირდება, როგორც მყიფე მასალების შემთხვევებში, ისევე პლასტიკურ მასალებშიც, ამასთან სტატიკური დატვირთვების შემთხვევაში პლასტიკურ მასალებში რღვევის პროცესის თანმხლები

პროცესია მცირე პლასტიკური (ნარჩენი) დეფორმაციები. კონსტრუქციის ელემენტების მოულოდნელ რღვევას, რომელიც გამოწვეულია დატვირთვითა მრავალჯერადი გამეორებით, ეწოდება მასალის დაღლილობა (ასეთი სახის რღვევები ხდება ისეთ ობიექტებზე როგორცაა: თვითმფრინავები, ხიდები, შენობა-ნაგებობები, და სხვ). მასალის უნარს წინ აღუდგეს ციკლური დატვირთვებით გამოწვეულ რღვევას, ეწოდება დაღლილობისადმი წინაღობა [3]. დაღლილობა, როგორც მოვლენა, იყოფა ორ სახეობად: მცირეციკლურ და მრავალციკლურ დაღლილობად. მცირეციკლური დაღლილობა არის მასალის დაღლილობა, რომლის დროსაც დაღლილობისგან დაშლა ან რღვევა მიმდინარეობს დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციისას. მრავალციკლური დაღლილობა არის მასალის დაღლილობა, რომლის ძირითად პარამეტრს, რომელიც განსაზღვრავს კონსტრუქციის მასალის დაღლილობისადმი წინაღობას, წარმოადგენს გამძლეობის ზღვარი. ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე მიღებულია დამოკიდებულებები [3], რომლებიც აკავშირებს გამძლეობის ზღვარს ღუნვისას  $\sigma_{-1}$ , ძაბვების მნიშვნელობებთან გაჭიმვა - კუმშვის  $\sigma_{-1}^p$  და გრეხვის  $\tau_{-1}$ , დროს. მცირედ და საშუალოლეგირებული ფოლადებისთვის  $\sigma_{-1}^p = (0,7 \div 0,9)\sigma_{-1}$ ,  $\tau_{-1} = (0,5 \div 0,6)\sigma_{-1}$  ალუმინის შენადნობისათვის  $\sigma_{-1}^p = (0,85 \div 0,95)\sigma_{-1}$ ,  $\tau_{-1} = (0,55 \div 0,65)\sigma_{-1}$ . შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები: ძაბვითა ციკლის ამპლიტუდა -  $\sigma_a$ , ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა -  $\sigma_m$ , ხოლო ძაბვის ზღვრული მნიშვნელობა -  $\sigma_b$ . ძაბვის ზღვრული ამპლიტუდების დიაგრამის აღსაწერად [4]-ში შემოთავაზებულია სხვადასხვა თანაფარდობები. ქვემოთ მოყვანილია უფრო ხშირად გამოყენებადი თანაფარდობები, რომელთაგან ზოგიერთი გამოიყენება მცირეციკლური დატვირთვების შემთხვევაში და აღინიშნება E-N წირით (დეფორმაცია - ციკლების რაოდენობა) (მოროუ და სმიტ - უოტსონ - ტოპპერის დამოკიდებულებები), ხოლო მრავალციკლური დატვირთვების შემთხვევაში S-N წირი (გუდმან, ჰერბერ, ზოდერბერგის დამოკიდებულებები). გუდმანის დამოკიდებულება გამოიყენება მყიფე მასალებისათვის  $\sigma_a = \sigma_{-1} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_B}\right)$ ; ჰერბერის დამოკიდებულება გამოიყენება პლასტიკური მასალებისათვის  $\sigma_a = \sigma_{-1} \left(1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_B}\right)^2\right)$ ; ზოდერბერგის დამოკიდებულება  $\sigma_a = \sigma_{-1} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_T}\right)$ ; მოროუს დამოკიდებულება  $\sigma_a = \sigma_{-1} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f}\right)$ ; სმიტ - უოტსონ - ტოპპერის დამოკიდებულება  $\sigma_a = \sigma_{-1} \sqrt{\frac{2}{1-R}}$ ; სერენსენის დამოკიდებულება:  $\sigma_a = \sigma_{-1} - \psi_\sigma \sigma_m$  და  $\tau_a = \tau_{-1} - \psi_\tau \tau_m$ , სადაც  $\sigma_b$  სიმტკიცის ზღვარია გაჭიმვისას;  $\sigma_T$  - დენადობის ზღვარი;  $\sigma_{-1}$  - გამძლეობის ზღვარი სიმეტრიული ციკლისას;  $\sigma_f$  - დაღლილობის სიმტკიცე; R - ასიმეტრიის კოეფიციენტი.  $\psi_\sigma$  წარმოადგენს ძაბვის ციკლის ასიმეტრიის მგრძობიარობის კოეფიციენტს, ამასთან  $\psi_\sigma$  გაჭიმვისა და ღუნვისას ნახშირბადოვანი ფოლადებისათვის იცვლება (0,1÷0,2) ზღვრებში, ხოლო ლეგირებული ფოლადებისა და მსუბუქი შენადნობებისათვის (0,15÷0,3) შუალედშია. რეალური კონსტრუქციები, რომლებიც განიცდის ცვლად დატვირთვებს, გეომეტრიული ზომებით არსებითად განსხვავდება საექსპერიმენტო ნიმუშებისაგან, ასევე სისუფთავის კლასიც განსხვავებულია და ნაკეთობა შეიძლება განიცდიდეს ძაბვითა კონცენტრაციას.

ზემოთ ჩამოთვლილი ნებისმიერი ფაქტორი გავლენას იქონიებს ნაკეთობის კონსტრუქციის გამძლეობის ზღვარზე, ამიტომ აღნიშნული ფაქტორების გასათვალისწინებლად შემოტანილია გარდაქმნის (კონვერსიის) კოეფიციენტი  $K$ , რომელსაც ეწოდება გამძლეობის ზღვრის შემცირების კოეფიციენტი, ე. ი.  $K$  წარმოადგენს სტანდარტული ნიმუშის გამძლეობის ზღვრის  $\sigma_{-1}$  -ის ფარდობას ობიექტის გამძლეობის ზღვართან  $\sigma_{-1D}$  ერთი და იმავე ციკლის ასიმეტრიის პირობებში. მაშინ ობიექტის (კონსტრუქციის) გამძლეობის ზღვარი შესაძლებელია განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით  $\sigma_{-1D} = \frac{\sigma_{-1}}{K}$ . გამძლეობის ზღვრის შემცირების კოეფიციენტი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით [3],  $K = \left( \frac{K_{d\sigma}}{K_{F\sigma}} + 1 \right) \cdot \frac{1}{K_v}$ . მოცემულ თანაფარდობაში გათვალისწინებულია ძაბვის კონცენტრაციის გავლენა, ნაკეთობათა ზომების გავლენა, ზედაპირის სისუფთავის კლასი და ზედაპირული გამტკიცება, სადაც  $K_{d\sigma}$  წარმოადგენს ძაბვის კონცენტრაციის ეფექტურობის კოეფიციენტს,  $K_{F\sigma}$  წარმოადგენს განივი კვეთის აბსოლუტური ზომის გავლენის კოეფიციენტს,  $K_{F\sigma}$  წარმოადგენს ზედაპირის სისუფთავის გავლენის კოეფიციენტს, ხოლო  $K_v$  არის ზედაპირული განმტკიცების კოეფიციენტი. როგორც ცნობილია ნიმუშების ზომების ზრდასთან ერთად (მასშტაბის ფაქტორი) მცირდება გამძლეობის ზღვარი, ამ მოვლენას უწოდებენ მასშტაბის ეფექტს ან მასშტაბის ფაქტორს. აღნიშნული მოვლენის დასახასიათებლად შემოაქვთ  $K_{d\sigma}$  პარამეტრი, რომელსაც ეწოდება განივი კვეთის აბსოლუტური ზომების გავლენის კოეფიციენტი, და რომელიც განიმარტება როგორც  $d$  დიამეტრის მქონე გლუვი ნიმუშის გამძლეობის ზღვრის  $\sigma_{-1d}$ -ს ფარდობა სტანდარტული გლუვი ნიმუშის გამძლეობის  $\sigma_{-1}$  ზღვართან [1].

გამძლეობის ზღვარზე ზედაპირის მდგომარეობის გავლენის დასახასიათებლად შემოტანილია  $K_{F\sigma}$ - კოეფიციენტი, რომელსაც უწოდებენ ზედაპირის სიმქისის გავლენის კოეფიციენტს და რომელიც წარმოადგენს მოცემული სიმქისის მქონე ნიმუშის გამძლეობის ზღვრის  $\sigma_{-1F}$  ფარდობას ნიმუშის გამძლეობის ზღვართან [3].

ზედაპირის განმტკიცების გავლენის შეფასებისათვის შემოაქვთ  $K_v$  კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს ზედაპირული განმტკიცების გავლენის კოეფიციენტს. იგი ტოლია განმტკიცებული ნიმუშის გამძლეობის ზღვრის  $\sigma_{-1v}$  ფარდობისა განუმტკიცებელი ზედაპირის გამძლეობის ზღვართან  $\sigma_{-1}$  [1].  $K_v = \frac{\sigma_{-1v}}{\sigma_{-1}}$ . ზოგადად  $K_v$  კოეფიციენტის ექსპერიმენტული მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში. აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით განვიხილოთ ფოლადისგან დამზადებული კრონშტეინი, რომელიც დამაგრებულია ოთხი ჭანჭიკით ხოლო თითოეულ ყურზე მოსული დატვირთვა ტოლი იყოს  $F_z = 500$ კგმ. სტატიაში არ შევხებით ზოგადი დამაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობის ანალიზს, განვიხილოთ მხოლოდ ის მახასიათებლები, რომლებიც ეხება რესურსს.



ნახ. 1 კონსტრუქციის სიცოცხლის ხანგრძლიობა

ნახ. 2 დაზიანება, მტყუნება

ნახ.3 მარაგის კოეფიციენტი

### დასკვნა

ყოველივე ზემოთ მოყვანილი ფაქტორების გათვალისწინებით კონკრეტულ მაგალითზე შესწავლილი იქნა კრონშტეინის დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობა და ის მახასიათებლები, რომლებიც გავლენას ახდენენ რესურსზე კერძოდ: კონსტრუქციის სიცოცხლის ხანგრძლიობა, დაზიანება და უსაფრთხოების კოეფიციენტი. ნახ.1, ნახ.2 და ნახ.3 ნათლად ჩანს საშიში უბნები და შესაბამისი სიდიდეების რიცხვითი მნიშვნელობები.

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - ს. ბლიაძე, გ. ყიფიანი, ა. გოგოლიძე, რ. გოშაძე, კონსტრუქციების დადლილობაზე ანალიზი კომპლექსური პროგრამა ANSYS-ის მეშვეობით. „საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2017 წ., 232 გ;
- [2] - ГОСТ 23.207-78. Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения. – М. : Изд-во стандартов, 1981. - 48 с;
- [3] - ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. - М. : Изд-во стандартов, 1982. – 81;
- [4] - С.Р. Игнатович, М.В. Карускевич, Т.П. Маслак, С.С. Юцкевич. Ресурс и долговечность авиационной техники:учеб. Пособ./К.: НАУ, 2015.-164 с;
- [5] - Ewing J.A., Humfrey J.C. The fracture of metals under repeated alternations of stresses // Phil. Trans. Roy. Soc. of London A. – 1903. – v. 200. – N 326. - p. 241 – 250.

## **Analysis of fatigue and durability of thin-walled Structures using the ANSYS software package**

S. Tepnadze<sup>1</sup>, I. Loladze<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Georgian Aviation University

Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

### **Abstract**

It is widely known that solving the issues of durability of aircraft structures is one of the most difficult issues, despite the fact that a number of scientific articles or monographs are devoted to the study of this issue, an ideal method still does not exist. As a result, it is very difficult to accurately determine the number of flights or the calendar period on an airplane. That is why they resort to conducting physical experiments on aircraft under multiple static loads, which is very significant in financial and time terms. This article not only presents general issues of fatigue and durability, but also reports on the durability of a specific structure as a numerical experiment, evaluating all the parameters that determine its performance over a certain period of time under cyclic loads. A specific example shows the service life, damage and safety factor of the bracket.