

ვიბრო-აკუსტიკური მოვლენების შესწავლა საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის მოდერნიზებულ აეროდინამიკურ მილზე

ბიჭიკო მაზანიშვილი, ვაჟა კელიხაშვილი, ავთანდილ სვიანაძე, ნიკა ტაბატაძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, თბილისი, 0103, საქართველო

ანოტაცია

სტატიაში გამოკვლეულია აეროდინამიკურ მილში გამოსაცდელი ობიექტის ვიბრო-აკუსტიკური პროცესები, რომელიც საფრენი აპარატის პირველადი გამოცდებისას მუდმივად იჩენს თავს. აღნიშნული პროცესების შესწავლისთვის გამოყენებულია ორ არხიანი ოსცილოგრაფი და სხვადასხვა ტიპის თანამედროვე (MEMS) სენსორები, რომელთა საშუალებით შესწავლილია სხვადასხვა ტიპის ვიბრო-აკუსტიკური სიგნალები, მათზე განხორციელებულია ვიზუალური დაკვირვება, ჩატარებულია ანალიზი და ლოგირება.

საკვანძო სიტყვები: აეროდინამიკური მილი, ვიბრო-აკუსტიკური დიაგნოსტიკა, ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, ფლატერ-ეფექტი.

სსუ-ის მოდერნიზებული აეროდინამიკური მილის მონაცემთა შეგროვების კომპიუტერული სისტემის საშუალებით გამოსაცდელ აეროდინამიკურ (ად) მოდელებზე შესაძლებელია საკმაოდ მაღალი სიზუსტით გაიზომოს:

- ძალები და მომენტები X, Y, Z დერძების მიმართულებით
- წნევებისა და გაუხშობების მნიშვნელობები ად მოდელის 12 წერტილში
- აეროდინამიკური გარსდენის ფოტო და ვიდეო მასალა და კიდევ მრავალი სხვა პარამეტრი.



ნახ.1 კომპიუტერული გაზომვის სისტემით აღჭურვილი სსუ აეროდინამიკური მილი

ამასთან ერთად, საფრენი აპარატების პროექტირებისას და შემდგომი გამოცდებისას ხშირად თავს იჩენს არასასურველი ვიბრაციული თუ აკუსტიკური

მოვლენები, რომელთა საფუძვლიანი შესწავლა საშუალებას იძლევა გამოვლენილ იქნას აღნიშნული პრობლემები და თავიდან იქნას აცილებული არასასურველი შედეგები.

მოდელების აეროდინამიკური პარამეტრების გაზომვასთან ერთად ვიბრო-აკუსტიკური ამოცანების გადაწყვეტა აეროდინამიკური მილის ფუნქციურ შესაძლებლობებს კიდევ უფრო უნივერსალურს გახდის და გაიზრდება მასზე სამეცნიერო ამოცანათა გადაწყვეტის პოტენციური შესაძლებლობები. გამოსაკვლევ ამოცანათა შესაძლო ჩამონათვალში შედის:

1. ციკლური ხაიათის მექანიკური და აეროდინამიკური დატვირთვებით გამოწვეული ვიბრაციები;
2. ფლატერ-ფექტების ამოცანების გამოკვლევები როგორც საფრენი აპარატების ასევე სამშენებლო ნაგებობების მოდელებზე.
3. რეზონანსული მოვლენების და სხვა მსგავსი ტიპური ამოცანების გამოკვლევები ტექნიკის მრავალ სფეროში და სხვა.

ასეთი სახის პრობლემები წარმატებით შეიძლება შესწავლილ იქნას, როგორც დღეისათვის არსებული კომპიუტერული სიმულაციების გამოყენებით: ANSYS, Solidworks და სხვა პროგრამულ უზრუნველყოფათა გამოყენებით, ასევე ვიბროაკუსტიკური დიაგნოსტიკის აპარატურის, სენსორებისა და შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით უშუალოდ გამოსაცდელ ად მოდელებზე.

ტექნიკის სფეროში მრავლად გვხვდება მსოფლიოს მოწინავე ფირმების მიერ დამუშავებული ვიბრო-აკუსტიკური, სწრაფი დიაგნოსტიკის მეთოდები და შესაბამისი სამეცნიერო-კვლევითი აპარატურა. მათ თან ახლავს სპეციალური ვიბრო-აკუსტიკური დიაგნოსტიკის პროგრამული უზრუნველყოფა. გამოსაკვლევი ტექნიკის შესაბამისად ანალიზისა და დიაგნოსტიკის პროგრამები სრულად მოიცავს ამ სფეროში შემავალ მოწყობილობებისა და დანადგარების ვიბრო-აკუსტიკური კვლევების მონაცემთა ბაზებს, სერიული აგრეგატების, ელექტროძრავების, საკისრების და სხვა მოწყობილობათა ანუ ე.წ. „ეტალონების“ გამოცდების შედეგების ვიბრაციული პორტრეტების ბიბლიოთეკას.

ყველა ამ კომპონენტთა დახმარებით ადვილად ხერხდება დანადგარ მოწყობილობათა დაუმლელად და დაუზიანებლად უწყესივრობების წარმოშობის მიზეზთა დროული ანალიზი და დეფექტების აღმოფხვრა. ცნობილია მაგალითად, რომ დიაგნოსტიკის ასეთი მეთოდებით 7-ჯერ უფრო სწრაფად ხდება ტურბორეაქტიული ძრავების უწყესივრობების აღმოჩენა ვიდრე სხვა საშუალებებით. ვიბროაკუსტიკური მეთოდების სწორედ ასეთმა შესაძლებლობებმა განაპირობა მათი მრავალჯერადი გამოყენება საავიაციო ტექნიკის ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

გარდა დაგეგმილი ტექნიკური მომსახურების დროს ჩატარებული ვიბრო-აკუსტიკური დიაგნოსტიკისა, თანამედროვე ავიალაინერები აღჭურვილია კომპიუტე-

რებით, სადაც ფრენის მთელი ხანგრძლივობის განმავლობაში, ყველა სხვა საჭირო პარამეტრების გაზომვასთან ერთად უკვე რეალიზებულია ვიბროაკუსტიკური დიაგნოსტიკის და საფრთხეების მოახლოების შეტყობინების სისტემები. მაგალითისთვის გამოდგება **Boeing 787** და **Airbus A380** -ზე დანერგილი შვეიცარული ფირმა **MEGGITT**-ის ძრავას ვიბროაკუსტიკური დიაგნოსტიკის სისტემა **EVM**. ამავე ფირმის სისტემებია გამოყენებული **Goodrich (Sikorsky)** და **Eurocopter** ვერტმფრენებზე.

ასეთი მიდგომა ახანგრძლივებს საფრენი აპარატების შემადგენელი კვანძებისა და აგრეგატების საექსპლუატაციო რესურსს და რა თქმა უნდა იგი პირველ რიგში გამიზნულია ფრენის უსაფრთხოების ასამაღლებლად.

სსუ ადმ-ზე ფართე სპექტრის ვიბრო-აკუსტიკური სახის ამოცანების გადასაწყვეტად და სამეცნიერო კვლევების ჩასატარებლად გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი აეროდინამიკური პარამეტრებისა: ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, მოდელზე მოქმედი X, Y, Z ძალების და მომენტებისა და სხვა, საჭიროა გამოსაკვლევი ობიექტის მუშაობის ვიბრაციული სურათის ცოდნა. ინტერნეტის საშუალებით შესაძლებელია როგორც სასურველი აპარატურის, ასევე პროგრამული უზრუნველყოფის შერჩევა. ზემოთ დასახული მიზნებისთვის შეირჩა:

- უნივერსალური, მცირე გაბარიტების მქონე ვიბრო-აკუსტიკური ელექტრონული მოდული **MAX-4466** ელექტრეტული სენსორით, მუშა დიაპაზონით 20Hz-20kHz და სიხშირეთა გატარების ზოლით 600kHz. მოდული საშუალებას იძლევა რხევების ფართო დიაპაზონში მოგვცეს გაძლიერებული და მაღალი სიზუსტის სიგნალები მცირედი გარეშე ხმაურით. იგი მცირე გაბარიტების გამო შესაძლებელია დამონტაჟდეს როგორც უშუალოდ გამოსაცდელ ობიექტზე, ასევე მის გარეთ.



ნახ.2: ვიბრო-აკუსტიკური ელექტრეტული სენსორი **MAX-4466**

- ვიბრო-აკუსტიკური მოდულიდან გამომავალი სიგნალის რეგისტრაციისა და მისი შემდგომი ანალიზისთვის შერჩეულ იქნა 7“ მონიტორიანი, ორარხიანი ელექტრონული ციფრული ოსცილოსკოპი **OWON SDS1102** მეხსიერების ბლოკით, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ვიბრო-აკუსტიკური ან სხვა

სწრაფადცვლადი პროცესების დეტექტირება და ოსცილოსკოპის ეკრანზე წარმოდგენა.

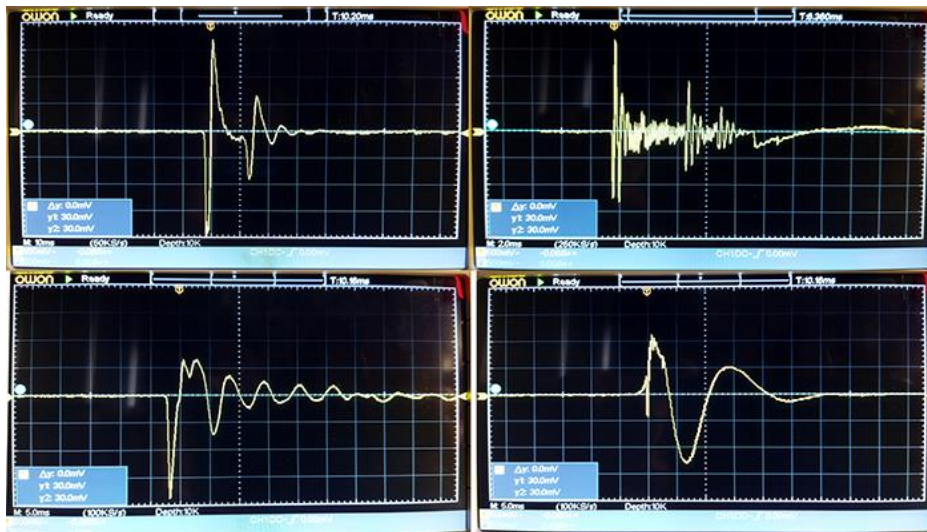


ნახ.3: ელექტრონული ციფრული ოსცილოსკოპი **OWON SDS1102**

ოსცილოსკოპით ხდება ვიბრო-აკუსტიკურ სიგნალზე ვიზუალური დაკვირვება, ანალიზი და ლოგირება.

- ვიბრაციული მოვლენის შესატყვისი გამომავალი სიგნალის დასამუშავებლად და გასაშიფრად თვით ოსცილოსკოპს გააჩნია ვიბროაკუსტიკური ანალიზის თანმხლები პროგრამული უზრუნველყოფა რომელსაც შეუძლია ჩაწერილი ვიბროაკუსტიკური სიგნალის ფურიეს მწკრივებად სწრაფი დაშლა და სიხშირეებად დაყოფა FFT (Fast Fourier transforms).
- ოსცილოსკოპზე შესაძლებელია როგორც პერიოდული ასევე ერთჯერადი იმპულსური მოვლენების ჩაწერა და მისი შემდგომი ანალიზი. მასზე არსებული USB პორტის საშუალებით შესაძლებელია მონაცემთა ჩაწერა როგორც USB ფლეშ-მეხსიერებაში, ასევე გადაგზავნა პერსონალურ კომპიუტერზე მისი შემდგომი დამუშავების მიზნით.

ქვემოთ, მაგალითისთვის ნაჩვენებია ვიბრო-აკუსტიკური ელექტრეტული **MAX-4466** სენსორით ციფრულ ოსცილოსკოპ **OWON SDS1102**-ზე ჩაწერილი **სხვადასხვა მასალათა დარტყმის შედეგად მიღებული ვიბროაკუსტიკური სიგნალების სემპლების ჩანაწერის მაგალითები.**



ნახ.4: ელექტრონულ ციფრულ ოსცილოსკოპ OWON SDS1102-ზე ჩაწერილი ვიბროაუსტიკური სიგნალების სემპლებების მაგალითები

პირველ ეტაპზე, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი შესაძლებლობებისა, ინტერნეტში წარმოდგენილი ვიბრო-აკუსტიკური პროცესების სპექტრული ანალიზის **თავისუფალი მოხმარების პროგრამებით** შესაძლებელია მრავალი სხვადასხვა სახის საკმაოდ რთული ამოცანების და ტექნიკური სისტემების ვიბრაციული პარამეტრების განსაზღვრა და უწყესირობათა დიაგნოზის დასმა. ეს პროგრამები გამიზნულია როგორც პერსონალური კომპიუტერებისთვის ასევე iPhone და Android-ის ტიპის სმარტფონებზე გამოყენებისთვის. მაგალითისთვის გამოდგება:

- VibrationAnalysis - Smart Vibration Meter - (<https://apkpure.com/vibration-analysis-smart-vibration-meter/com.a4uteam.vibrationmeter>;).
- Vibration analyzer – ARGUS; (<https://www.sandsindia.com/vibration-analyzer/>) - საკმაოდ ახალი და მოხერხებული ანდროიდის ბაზაზე აგებული ვიბროაკუსტიკური დიაგნოსტიკის სისტემა, სადაც კარგადაა გამოყენებული თანამედროვე სმარტფონის შესაძლებლობები.



ნახ.4: ვიბროანალიზატორი Vibration analyzer – ARGUS და მისი გამოყენების სფეროები

ვიბროანალიზატორი არის მინიატურული, წყალმდედგობის IP65 დაცვის კლასიანი, სამღერძიანი აჩქარების სენსორით და პროგრამული უზრუნველყოფით, რომელიც მუშაობს სმარტფონის საშუალებით: ზომავს თითქმის ყველა სახის ვიბროპარამეტრს და აკეთებს სპექტრულ FFT ანალიზს.

უფრო რთული და მაღალი დონის სამეცნიერო-კვლევების ჩატარების აუცილებლობის შემთხვევაში მოხდება პროექტის შესაბამისი უფრო ძვირფასი და ზუსტი სენსორების, მაღალი დონის აპარატურის და სათანადო ფასიანი პროგრამული უზრუნველყოფის მოძიება და მათი გამოყენება, მაგ: „GRAS Sound & Vibration“ ან სხვ.

გამოყენებული ლიტერატურა:

[1] Engine Health Monitoring Systems; vibro-meter®-Meggitt SA

https://meggittsensing.com/wp-content/uploads/2017/02/Aero-EVM-EHM-Systems_v1-0_11-08.pdf

[2] Monitoring System of Vibroacoustic Parameters of a Working Zone

<https://www.ijast.org/issues/vm02is02/article30.pdf>

Диагностика самолетов

<https://avia.pro/blog/diagnostika-samoletov>

Method of Vibration Diagnostics of Aircraft Mechanical Components in Civil Aviation.

A.A. San'ko, A.L. Starichenkov .

https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n5_22.pdf

[3] Vibroacoustic Analysis In The Assessment Of The Technical Condition Of The Aircraft

Airframe Composite Elements

<http://www.diagnosticska.net.pl/pdf-135098-65605?filename=Vibroacoustic%20analysis%20in.pdf>

[4] Vibration Control Analysis of Aircraft Wing by Using Smart Material

<https://core.ac.uk/download/pdf/234643531.pdf>

[5] Теория и методы мониторинга и диагностики

https://omgtu.ru/general_information/faculties/radio_engineering_department/department_quot_radio_devices_and_diagnostic_systems_quot/educational-materials/Theory_and_methods_of_monitoring_and_diagnostics/Теория%20и%20методы%20мониторинга%20и%20диагностики%20ЛЕКЦИИ%202018-11-28-83.pdf

[6] Методы и средства диагностирования авиационной техники

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj8yervvb76AhWBhP0HHUkuA_YQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fspbbuga.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F12%2FMetodi_i_sredstva_dagnostirovaniya.doc&usg=AOvVaw3MD0sE9pm6Kssf8P4y3OFL

[7] Wind Tunnel Testing for Vibration Analysis of High

[8] Rise Building Due to Wind load

[9] Wind Tunnel Testing for Vibration Analysis of High Rise Building Due to Wind load

https://www.researchgate.net/publication/337365403_Wind_Tunnel_Testing_for_Vibration_Analysis_of_High_Rise_Building_Due_to_Wind_load

[10] Тиц С.Н. Контроль наличия повреждений авиационных конструкций из композиционных материалов

<https://ms.b-ok.asia/book/3258676/4ee64c>

[11] Vibration Meter & Analyzer

https://www.google.com/search?q=Vibration+Meter+%26+Analyzer&tbm=isch&ved=2ahUKEwia4pDijsL6AhXmh_0HHVGnCc0Q2-cCegQIABAA&oq=Vibration+Meter+%26+Analyzer&gs_lcp=CgNpbWcQDFAAWABggBVoAHAAeACAAX-IAX-SAQMwLjGYAQcGaqGqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=Z9A5Y9qSMuaP9u8P0c6q6Ao&bih=939&biw=1842&client=opera

[12] OWON SDS1000 2CH SERIES DIGITAL OSCILLOSCOPE

http://www.owon.com.hk/list_Digital_Oscilloscopes?seek=1102

[13] GRAS; Aerospace & Defense; GRAS Sound & Vibration

<https://www.grasacoustics.com/industries/aerospace-defense>

Abstract

The article investigates the vibro-acoustic processes of the test object in the wind tunnel, which constantly occurs during the initial tests of the aircraft. Two-channel oscilloscope and different types of modern (MEMS) sensors are used for the study of the mentioned processes, with the help of which different types of vibro-acoustic signals are studied, they are visually observed, analyzed and logged.

Key words: aerodynamic pipe, vibro-acoustic diagnostics, air flow speed, flutter effect.