



საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გეგმი ავციური

ტურბულენტური აეროდინამიკური ნაკადების მათემატიკური მოდელირება
ექსტრემალური ბუნებრივი მოვლენების
შესწავლის მიზნით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „საფრენი აპარატების დაპროექტება“

შიფრი - 0715

თბილისი, 2020 წელი

ნაშრომი შესრულებულია საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის საინჟინრო ფაკულტეტზე.

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით [PhDF2016_182]

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: გელა ყიფიანი

საქართველოს მეცნიერებისა და ტექნიკის
დარგის სახელმწიფო პრემიის ლაურეატი,
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი.

რეცენზენტები:

ავთანდილ აფხაიძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის
საინჟინრო ფაკულტეტის პროფესორი

ვარდან (ზადრი) ცუცქირიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
მათემატიკის დეპარტამენტის პროფესორი

დაცვა შედგება 2020 წლის _____ საათზე, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, სსუ-ს I კორპუსი, საკონფერენციო დარბაზი.

მისამართი: 0103, თბილისი, ქეთევან წამებულის გამზირი N:16.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება: საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში.

ავტორეფერატის - უნივერსიტეტის ვებგვერდზე www.ssu.edu.ge

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული

მდივანი, პროფესორი

ა. აფხაიძე

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა: თანამედროვე ავიაციის განვითარებისათვის და საავიაციო ინდუსტრიის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის უმნიშვნელოვანეს ამოცანას წარმოადგენს ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების პროგნოზირება და მოულოდნელ ცვლილებებზე ადეკვატური რეაგირება. ატმოსფერული ტურბულენტობა, სტატიკური ელექტრობა (მეხის დაცემის შესაძლებლობა), გრიგალები და ქარის ძლიერი ძვრა წარმოადგენენ ფრენის უსაფრთხოებისათვის სერიოზულ პრობლემას. ამასთან ერთად, იმის გამო რომ ჰაერის ნაკადს აქვს უნარი, სწრაფად შეიცვალოს მიმართულება, ქარის ძვრა, პროგნოზირების თვალსაზრისით ყველაზე რთულ ფაქტორს წარმოადგენს, რაც სათანადოდ აისახება იმაში, რომ ავიაშემთხვევათა დიდი ნაწილი, სწორედ ამ მოვლენასთან არის დაკავშირებული. ქარის ძვრა, ანუ სიჩქარეთა გრადიენტი, უმეტეს შემთხვევაში, დაკავშირებულია ატმოსფეროში სხვადასხვა მასშტაბის ბრუნვითი მოძრაობის და გრიგალების წარმოშობასთან, რომელთა ფიზიკური ბუნება ბოლომდე შესწავლილი არ არის. მათ განეკუთვნებიან ასევე კოლოსალური დამანგრეველი ენერჯის მქონე ატმოსფეროს ექსტრემალური გრიგალური მოვლენები და ტორნადოები. შესაბამისად, აქტუალურია საკითხი, რა არის თეორიული საფუძველი მსგავსი საოცარი აეროდინამიკური ბუნებრივი მოვლენებისა.

იმისათვის რომ პასუხი გაეცეს ამ შეკითხვას, საჭიროა გავიხსენოთ თუ რა რთულ ხასიათს ატარებენ ატმოსფერული მოვლენები. ძალიან დიდი მასშტაბებისა და საკმაოდ მაღალი სიჩქარეების გამო, ატმოსფერული ნაკადები, უმეტეს შემთხვევაში ტურბულენტურ ხასიათს ატარებენ. ტურბულენტობა კი, ბუნების ერთ-ერთი ამოუცნობი ფენომენია. თითქმის საუკუნენახევარია კაცობრიობა ცდილობს ამოხსნას რეინოლდსის მათემატიკური პრობლემა.

მეორეს მხრივ, ატმოსფერული ჰაერი მრავალკომპონენტია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ნაკადების მექანიკური მოძრაობის პარალელურად, შესაძლოა ადგილი ჰქონდეს, ფაზურ გარდაქმნებსაც.

შესაბამისად, თეორიული კვლევები იმისათვის, რომ პასუხი გაეცეს დასმულ შეკითხვას ძალზედ აქტუალურია.

ნაშრომის მიზანი: წინამდებარე ნაშრომი, ემყარება რა აეროდინამიკის სფეროში არსებულ ფუნდამენტურ გამოკვლევებს და უკანასკნელ პერიოდში, ტურბულენტობის შესწავლის მიმართულებით, საქართველოში მიღებულ უახლეს თეორიულ შედეგებს, მიზნად ისახავს, შეიქმნას საავიაციო ტრანსპორტის ფუნქციონირების პროცესში ექსტრემალური ბუნებრივი პროცესების ანგარიშისა და პროგნოზირებისათვის მისაღები მეთოდოლოგია და საფრენი აპარატების კონსტრუირებისა და ოპტიმიზაციისათვის, ტურბულენტური ნაკადების მოდელირებისა და შესწავლისათვის განკუთვნილი სრულყოფილი მოდელი. შესაბამისად, ერთის მხრივ, ნაშრომი ხელს უწყობს ხსენებული თეორიული მიმართულების განვითარებას, მეორეს მხრივ კი, მათზე დაყრდნობით, ცდილობს, აჩვენოს ფიზიკური ბუნება იმ პროცესებისა, რომლებიც მიმდინარეობენ ატმოსფეროში. ეს კი, იმავდროულად, აქტუალურს ხდის თეორიულ გამოკვლევას პრაქტიკული თვალსაზრისით. შესაბამისად, სამუშაო მოიცავს ორ ძირითად მიზანს:

1. შეიქმნას ატმოსფეროს არამდგრადობის შეფასებისა და ავიაშემთხვევათა პრევენციის მიზნით, მეთოდოლოგია, რომელიც შესაძლებელს გახდის განსაზღვრული იქნას, საფრენი აპარატის მოწყობილობათა მეშვეობით, ატმოსფეროში სახიფათო ზონების წარმოშობის ალბათობა ფრენის მოცემულ სიმაღლეზე ატმოსფეროს პარამეტრების (წნევა, ტემპერატურა, ღრუბლიანობის ხარისხი) და მიწის ზედაპირზე ატმოსფერული წნევის ლოკალური მნიშვნელობის საფუძველზე. შესწავლილი იქნას ფაზური გარდაქმნების გავლენა ატმოსფერული პროცესების დინამიკაზე ტორნადოს ტიპის გრიგალურ მოვლენებში. შეიქმნას საინჟინრო გაანგარიშებებისათვის მისაღები, შედარებით მარტივი მათემატიკური მოდელი მსგავსი ტიპის მოვლენათა შეფასებისა და პროგნოზირებისათვის .
2. ჩატარდეს ნავიე-სტოქსის განტოლებათა სისტემის ინტეგრების დროს მიღებული ტრადიციული მიდგომების ანალიზი და გამოიკვეთოს ტურბულენტობის პრობლემის წარმოშობის მიზეზები. მოხდეს ანალიზი საქართველოში მიღებული ტურბულენტობის ახალი მოდელისა, რომელიც დაფუძნებულია ნავიე-სტოქსის განტოლებათა ზუსტი ინტეგრირებით მიღებულ ახალ განტოლებათა სისტემაზე, რომელიც არ შეიცავს არანაირ ემპირიულ კოეფიციენტს და დამატებით დაშვებებს.

შესაბამისად, თეორიულად გაანალიზდეს ექსტრემალური ხასიათის ატმოსფერული მოვლენების დროს დამანგრეველი ენერგიის წარმოშობის თეორიული წინაპირობები.

მეცნიერული სიახლე: წარმოდგენილ სადოქტორო ნაშრომში, საავიაციო ტრანსპორტის და საფრენი აპარატების სრულყოფილი ფუნქციონირების მიზნით, ავტორის მიერ შექმნილია ატმოსფეროს სტიქიური მოვლენების ანგარიშისა და პროგნოზირებისათვის ორიგინალური მეთოდოლოგია. ტურბულენტური სიბლანტის ამსახველი ახალი გამოსახულებების ანალიზის საფუძველზე, ნაჩვენებია, რომ ეფექტური სიბლანტე ტურბულენტურ ნაკადებში, ზოგიერთ რეჟიმებზე, ლოკალურ არეებში, შესაძლოა გახდეს უარყოფითი, რაც გამოიწვევს დიდი მოძრაობების გაძლიერებას მცირე მოძრაობების (მცირე გრიგალების) ენერგიის ხარჯზე. შესრულებულია ერთგანზომილებიანი ნაკადების ანალიზი ფურიეს მწკრივების გამოყენებით და ნაჩვენებია, რომ ტურბულენტური რხევების მთავარი სიხშირე ნაკადის გასწვრივ უცვლელია, შექმნილია ტორნადოს პარამეტრების ანგარიშისათვის მისაღები სქემატიზირებული მოდელი. ჩატარებულია მიმდინარე პროცესების გაანგარიშება და ძირითადი მახასიათებლების განსაზღვრა. ნაჩვენებია, რომ, ფაზური გარდაქმნების მონაცვლეობას ნაკადში, ასევე შესაძლოა მოჰყვეს ტორნადოს ენერგიის გაზრდა ატმოსფერული ჰაერის სითბოს ხარჯზე. დასაბუთებულია სრულიად ახალი, ორიგინალური მოდელი საფრენი აპარატების მოდელირების მიზნით ტურბულენტური ნაკადების გაანგარიშებისათვის, რომელიც არ ემყარება რაიმე სახის დამატებითი ემპირიული კოეფიციენტების გამოყენებას.

მეთოდოლოგია - როგორც ატმოსფეროს სტიქიური მოვლენების პროგნოზირების მეთოდოლოგია, ისე საფრენი აპარატების მოდელირებისათვის შექმნილი მათემატიკური მოდელი, მთლიანად ეფუძნებოდა კლასიკური აეროდინამიკის, უწყვეტი ტანის მექანიკის და თერმოდინამიკის ფუნდამენტურ პრინციპებს და ამ პრინციპების გამოყენებით შემუშავებულ თეორიულ კონცეფციებს, კონკრეტულად, ნავიე-სტოქსის განტოლებების ინტეგრებით მიღებულ ფუნდამენტურ განტოლებათა სისტემას და ციკლური პროცესების თერმოდინამიკური ანალიზის მეთოდებს. აღნიშნული განპირობებულია

იმით, რომ მსგავსი მოვლენების პარამეტრების ექსპერიმენტალური შესწავლა ძალზედ შეზღუდულია.

მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება: ნაშრომში მიღებული მეცნიერული შედეგები საშუალებას იძლევიან მივუახლოვდეთ ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების ფიზიკურ არსს, რაც ქმნის საფუძველს იმისათვის, რომ, განვითარდეს მეთოდოლოგიური საფუძვლები ატმოსფეროს სტიქიური ბუნებრივი მოვლენების პროგნოზირებისა და პრევენციისათვის. შესაბამისად, იგი ემსახურება ისეთი კვლევითი პროგრამების შექმნას, რომელიც დააინტერესებს ავიაციის, აეროკოსმოსური, ატმოსფეროს ფიზიკის, ჰიდროდინამიკის, ენერგეტიკის და ა.შ. პრობლემებზე მომუშავე წამყვან სამეცნიერო და კვლევით ცენტრებს.

შედეგების უტყუარობა განპირობებულია იმით რომ ატმოსფეროში მიმდინარე ექსტრემალური პროცესების შესწავლის მიზნით გამოყენებულია თეორიული მეთოდები, რომლებიც ემყარებიან არა რაიმე დაშვებებს და ემპირიულ სიდიდეებს, არამედ კლასიკური თერმოდინამიკის, უწყვეტი ტანის მექანიკის და ტენზორული აღრიცხვის ფუნდამენტურ პრინციპებს. აღნიშნულ მეთოდებზე დაყრდნობით, გრიგალური ნაკადის პარამეტრების ანგარიშისთვის შექმნილი მოდელის გამოყენებით მიღებული შედეგები ხასიათდება სხვადასხვა ავტორთა ექსპერიმენტულ მონაცემებთან დამაკმაყოფილებელი თანადადამთხვევით.

ნაშრომის აპრობაცია: დოქტორის აკადემიური ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა:

-საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-9 ღია სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე (თბილისი, 25-26 მაისი 2015 წ.)

-საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-10 საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე (თბილისი, 25-26 მაისი 2016 წ.)

-საქართველოს მათემატიკოსთა კავშირისა და საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის VII გაერთიანებულ საერთაშორისო კონფერენციაზე „უწყვეტ გარემოთა მექანიკა და ანალიზის მონათესავე საკითხები“ (ბათუმი, 5-9 სექტემბერი 2016 წ.)

-ერევნის ნაციონალურ არქიტექტურულ-სამშენებლო უნივერსიტეტში მე-8 საერთაშორისო კონფერენციაზე „მშენებლობისა და არქიტექტურის პრობლემები“ (ერევანი, სომხეთი 26-28 ოქტომბერი 2016 წ.)

-საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-11 საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე (თბილისი, 25-26 მაისი 2017 წ.)

-საერთაშორისო კონფერენცია „დიფერენციალი და დიფერენციალურ განტოლებათა გამოყენება“ (პორტუგალია, ამადორა, 5-9 ივნისი, 2017 წელი)

პუბლიკაციები. დოქტორის აკადემიური ხარისხის სადისერტაციო თემაზე გამოქვეყნებულია 7 სამეცნიერო ნაშრომი და 7 მოხსენებათა თეზისი.

ნაშრომის მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, 6 თავის, დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურისა . იგი შეიცავს, 165 გვერდს, მათ შორის 22 ნახაზს 2 ცხრილს. ლიტერატურა მოიცავს 52 დასახელებას.

ნაშრომის შინაარსი

ნაშრომის თეორიული საფუძვლები ემყარება იმ გარემოებას, რომ საავიაციო ტრანსპორტის და ზოგადად საფრენი აპარატების სრულფასოვანი ფუნქციონირების მიზნით გამოყენებული მეთოდოლოგია უნდა ასახავდეს ისეთ ურთულეს მოვლენებს, როგორცაა ტურბულენტობა და მრავალკომპონენტური სისტემაში (ღრუბლიანი ჰაერი) ფაზური გარდაქმნების არსებობა. შესაბამისად, ნაშრომის **პირველი თავი** ეთმობა ტურბულენტობის ურთულესი თეორიული პრობლემის წარმოშობის მიზეზების გამოვლენას და გადაწყვეტის გზების ძიებას. ამ მიზნით, ნაჩვენებია რომ ნავიე-სტოქსის განტოლებათა დროში ინტეგრების დროს, რეინოლდსის მეთოდით, უგულებელყოფილია პარამეტრების რხევის პერიოდის, ანუ დროითი მასშტაბების ცვალებადობა სივრცეში. ნაჩვენებია, რომ თუკი დროითი (ან სიხშირის), მასშტაბები

სივრცეში ცვალებადია, მაშინ ნავიე-სტოქსის განტოლებათა ინტეგრებას არ მივყავართ რეინოლდსის განტოლებებამდე. აღნიშნული სხვაობა ატარებს უდიდეს ინფორმაციას ტურბულენტობის თეორიული პრობლემის გადაწყვეტისათვის. ამ მიზნით, ხსენებული თეორიული მიმართულება ემყარება დროითი მასშტაბების შემოღებას (ნაცვლად გავრცელებული ხაზოვანი მასშტაბებისა)

იმის გამო, რომ ნაშრომში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა დროით მასშტაბებს, სამუშაოს ერთ-ერთ მთავარ მიზანს წარმოადგენს ამ მასშტაბების ცვალებადობის ხასიათის შესწავლა. ამ მიზნით, ავტორმა სპეციალურად შეისწავლა ეს საკითხი ერთგანზომილებიანი პულსირებადი ნაკადის მაგალითზე. ამისათვის, დროში პერიოდულად ცვალებადი ნაკადი წარმოდგენილია ფურიეს მწკრივის სახით. ასეთი სახის მწკრივის ინტეგრების გზით მიიღება მასის ნაკადის გასაშუალებული მნიშვნელობა, რომელიც ერთნაირი უნდა იყოს ნაკადის ნებისმიერ კვეთში. აღნიშნული პირობა კი კმაყოფილდება მხოლოდ მაშინ, თუკი რხევის პერიოდი ნებისმიერ კვეთში ერთნაირია. ამ გზით, ნაჩვენებია, რომ ერთგანზომილებიანი მასის ნაკადის გასწვრივ დროითი მასშტაბი უცვლელია.

სივრცითი ნაკადების ანალიზის დროს ავტორი ემყარება მასის და ენერჯიის გასაშუალებული ნაკადების შენახვის კანონს.

$$\operatorname{div} \bar{g} = 0, \tag{1}$$

$$\operatorname{div} \bar{e}_\Sigma = 0, \tag{2}$$

მეორეს მხრივ, ეს გამოსახულებები არ მიიღება, თუკი მოვახდენთ მასის და ენერჯიის შენახვის დიფერენციალურ განტოლებათა ინტეგრებას. კერძოდ, ასეთ შემთხვევაში, ვღებულობთ:

$$\operatorname{div} \bar{g} = \bar{g} A, \tag{3}$$

$$\operatorname{div} \bar{e}_\Sigma = \bar{e}_\Sigma A, \tag{4}$$

შესაბამისად, ვღებულობთ ორ მნიშვნელოვან სკალარულ განტოლებას დროითი მასშტაბების გრადიენტების A განსაზღვრისათვის:

$$\overline{g}A = 0, \quad (5)$$

$$\overline{e}_z A = 0, \quad (6)$$

მესამე სკალარული განტოლება ამ ვექტორის განსაზღვრისათვის განისაზღვრება მათემატიკური იგივეობების ინტეგრების გზით.

ნაშრომის მეორე თავში მოცემულია უწყვეტი ტანის მექანიკის განტოლებათა ანალიზი სკალარული პარამეტრების ათვლის სისტემისაგან დამოუკიდებლობის ფუნდამენტურ საფუძველზე. მოცემულია ნებისმიერი სკალარული პარამეტრის სრული და კარმო წარმოებულები როგორც უძრავ (ან მუდმივი სიჩქარით მოძრავ) ინერციულ სისტემებში, ისე ნებისმიერი კანონით მოძრავ, არაინერციულ სისტემებში. შესაბამისად, იმის გათვალისწინებით, რომ სკალარული პარამეტრები და მათი სრული წარმოებულები დროში არ არიან დამოკიდებული ათვლის სისტემაზე, მიღებულია ფუნდამენტური განტოლებები რომლებსაც ძალიან მნიშვნელოვანი როლის შესრულება შეუძლიათ ტურბულენტობის პრობლემის გადასწყვეტად. კერძოდ, ნაჩვენებია, რომ ნებისმიერი სკალარული პარამეტრისათვის S სამართლიანია გამოსახულება:

$$\overline{wgradS} = 0 \quad (7)$$

სადაც w სიჩქარის პულსაციური მდგენელია.

შესაბამისად, თუკი ნებისმიერი სკალარული პარამეტრის სახით განიხილება ტურბულენტობის კინეტიკური ენერჯია, ნაკადის წნევა P , ტემპერატურა T , სიმკვრივე ρ ან ენტროპია s ადგილი ექნებათ შემდეგ ტოლობებს:

$$\overline{(w\nabla)w^2} = 0; \quad \overline{(w\nabla)P} = 0; \quad \overline{(w\nabla)T} = 0; \quad \overline{(w\nabla)\rho} = 0; \quad \overline{(w\nabla)s} = 0. \quad (8)$$

აღნიშნული კორელაციები ძალზედ მნიშვნელოვანია დიფერენციალურ განტოლებათა გასაშუალების პროცესისათვის.

ნაშრომის მესამე თავში განხილულია ცნობილი მათემატიკური იგივეობები სკალარული პარამეტრების მყისიერი მნიშვნელობებისათვის და შესრულებულია მათი დროითი ინტეგრება რაც იძლევა საინტერესო დამატებით ინფორმაციას ნაკადის პარამეტრებს შორის კავშირის შესახებ.

მაგალითისათვის, საინტერესო ინფორმაციის მატარებელია იგივეობა:

$$\rho \frac{dS}{dt} = \frac{\partial \rho S}{\partial t} + \text{div}[S\rho W] \quad (9)$$

თუკი აღნიშნულ გამოსახულებაში სიმკვრივეს და სიჩქარეს წარმოვადგენთ როგორც საშუალო მნიშვნელობისა და პულსაციური მდგენელის ჯამს და მოვახდენთ მის ინტეგრებას, ზემოთ მითითებული განტოლებების გათვალისწინებით, მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას ნებისმიერი სკალარული პარამეტრისათვის

$$\begin{aligned} & \overline{\text{div}[\rho S w]} + \overline{\text{div}[S' \rho' w]} = , \\ & = \overline{\rho' \partial S / \partial t} + \overline{V \rho' \text{grad} S} + \overline{\rho' w \text{grad} S} + \overline{S \rho' (AV)} + (\overline{AS}) \overline{\rho' w} - \overline{\text{div}[S \rho' V]} - (\overline{\rho' w}) \text{grad} \overline{S} \end{aligned} \quad (10)$$

მიღებულ გამოსახულებას აქვს რამდენიმე მნიშვნელოვანი შედეგი. თუკი განვიხილავთ უკუმშვად გარემოს ($\rho' = 0$) მივიღებთ:

$$\overline{\text{div}[S w]} = 0, \quad (11)$$

შესაბამისად, თუკი სკალარული პარამეტრების ნაცვლად განვიხილავთ ნაკადის მდგომარეობის პარამეტრებს და კინეტიკურ ენერგიას, მივიღებთ:

$$\overline{\text{div}(\rho w^2 w)} = 0, \quad (12)$$

$$\overline{\text{div}(P' w)} = 0, \quad (13)$$

$$\overline{\text{div}(T' w)} = 0, \quad (14)$$

ამ გამოსახულებებს ასევე ძალიან მნიშვნელოვანი როლის თამაში შეუძლიათ ტურბულენტობის პრობლემის ამოხსნის საქმეში.

არანაკლებ მნიშვნელოვანი ინფორმაციის მიღება შეგვიძლია, თუკი სკალარული პარამეტრის სახით განვიხილავთ მყისი სიმკვრივის თანაფარდობას საშუალო სიმკვრივესთან:

$$S = \rho / \bar{\rho} = 1 + \rho' / \bar{\rho}, \quad (15)$$

$$S' = \rho' / \bar{\rho} = a_\rho, \quad (16)$$

$$\bar{S} = 1 \quad (17)$$

ასეთ შემთხვევაში, ვღებულობთ:

$$\bar{\rho} V \text{grad}(\bar{a}_\rho^2 / 2) = [\bar{a}_\rho^2 - 1] \text{div}[\bar{\rho} A_\rho] - \text{div}[\bar{\rho}'^2 w / \bar{\rho}], \quad (18)$$

ან, თუკი გავითვალისწინებთ, რომ ბოლო წევრი შეიცავს მესამე ხარისხის მცირე სიდიდეს:

$$\bar{\rho} V \text{grad}(\bar{a}_\rho^2 / 2) \approx [\bar{a}_\rho^2 - 1] \text{div}[\bar{\rho} A_\rho], \quad (19)$$

სადაც, ვექტორი:

$$A_\rho = \bar{\rho}' w / \bar{\rho} \quad (20)$$

ითვალისწინებს კორელაციას სიჩქარისა და სიმკვრივის პულსაციებს შორის.

როგორც ვხედავთ, მიღებულია გამოსახულება სიმკვრივის პულსაციის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობისათვის, რაც ძალზედ მნიშვნელოვანია კუმშვად გარემოში და გაზებში მიმდინარე ტურბულენტური პროცესების ანალიზისათვის.

ტურბულენტობის პრობლემის გადასაჭრელად არანაკლებ საინტერესო ინფორმაციას იძლევა იგივეობა, რომელიც სამართლიანია უკუმშვადი გარემოსათვის:

$$W \text{grad} w^2 = \text{div}[w^2 W] \quad (21)$$

თუკი სიჩქარეს წარმოვადგენთ როგორც საშუალო მნიშვნელობის და პულსაციის ჯამს $W = V + w$ მაშინ იგივეობის ინტეგრების გზით მივიღებთ:

$$\overline{div[V\tau(w, w)]} = 0 \quad (22)$$

ან

$$Vdiv[\tau_{T\Sigma}] = -\tau_{T\Sigma}D(V) \quad (23)$$

უკანასკნელი გამოსახულება საშუალებას იძლევა განსაზღვრული იქნას ტურბულენტობის გენერაციის სიჩქარე და ტურბულენტური სიბლანტის კოეფიციენტი.

ნაშრომში გაანალიზებულ მესამე მათემატიკურ იგივეობას წარმოადგენს გამოსახულება, რომელიც სამართლიანია კუმშვადი გარემოსათვის:

$$\rho \frac{\partial W}{\partial t} + \rho div[\tau(W, W)] - \rho Wdiv W = \frac{\partial \rho W}{\partial t} + div[\rho \tau(W, W)] \quad (24)$$

ამ გამოსახულების ინტეგრება გვაძლევს:

$$\overline{\rho' w grad \tau_0} = 0 \quad (25)$$

ან

$$A_\rho A = 0 \quad (26)$$

როგორც ვხედავთ, ვექტორი $A_\rho A = 0$ და სიხშირის გრადიენტი ერთმანეთის მართობულად არიან განთავსებული. მეორეს მხრივ, მასისა და ენერჯის შენახვის დიფერენციალურ განტოლებათა ინტეგრების საფუძველზე ვღებულობთ:

$$\overline{gA} = 0, \overline{e_\Sigma A} = 0 \quad (27)$$

აღნიშნული სამი პირობა შეიძლება დაკმაყოფილდეს ორ შემთხვევაში:

1 $A = 0$ რაც იმას მიშნავს რომ რხევათა მთავარი სიხშირე სივრცეში ერთნაირია, რაც დასაშვებია აბსოლიტურად ხისტი უკუმშვადი გარემოსათვის.

2 ვექტორი A ერთდროულად მართობია სამი ვექტორის. ეს კი შეიძლება მოხდეს მხოლოდ მაშინ, თუკი სამივე ვექტორი ერთ სიბრტყეშია განთავსებული ,

ვექტორების ასეთი სივრცითი კონფიგურაცია საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ ვექტორი A შეიძლება ვეძებოთ გამოსახულებიდან:

$$A = C_{A1}(\overline{e_\Sigma} \times V), \quad (28)$$

ხოლო A_p ვექტორისათვის სამართლიანია გამოსახულება:

$$A_p \times V = C_{A2}(\overline{e_\Sigma} \times V), \quad (29)$$

ამგვარად, მათემატიკური ანალიზის გზით დასაბუთებულია ჩვენს მიერ შემოღებული ორი ახალი ვექტორის თვისობრივი კავშირი მასის და ენერჯის ნაკადების ვექტორებთან. ეს კი საშუალებას იძლევა გაცხადდეს რომ კუმშვადი გარემოსათვის პრობლემა საბოლოოდ გადაწყდება, როდესაც დამატებითი თეორიული ან ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე მოიძებნება სკალარული სიდიდეები C_{A1} და C_{A2} .

ნაშრომის მეოთხე თავში მოცემულია ენერჯის შენახვის დიფერენციალური განტოლების ანალიზი, რომელიც ემყარება ზემოთ მითითებულ შედეგებს. კერძოდ ნაჩვენებია, რომ უკუმშვადი სითხეებისათვის ეს განტოლება იღებს სახეს:

$$\text{div}[\rho V h^* + e_{\mu V} + e_{\mu w} + \bar{q}] = 0 \quad (30)$$

კუმშვადი გარემოსათვის ეს განტოლება, ზოგად შემთხვევაში, შედარებით რთულია.

$$\begin{aligned} & \text{div}\{\rho V h^* + e_{\mu V} + e_{\mu w} + \bar{q} + \rho V \tau(\overline{w, w}) + c_V V \overline{\rho T'} + \tau(V, V) \overline{\rho' w}\} + \\ & + \text{div}\{c_V T \overline{\rho' w} + c_V \overline{\rho T' w} + \overline{P' w} + (V^2 / 2) \overline{\rho' w}\} = 0, \end{aligned} \quad (31)$$

ამასათან ერთად, ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ, მაშინაც კი, როცა პროცესები აშკარა დისიპაციით და ენტროპიის მკვეთრი ცვალებადობით მიმდინარეობს, დამოკიდებულება ნაკადის პარამეტრების პულსაციურ გადახრებს შორის მაღალი სიზუსტით შეიძლება ჩაითვალოს ადიაბატურად. ამიტომ, პულსაციების კორელაციებს შორის არსებობს შემდეგი სახის დამოკიდებულებები:

$$\overline{P'w} = k(\overline{P/\rho})\overline{\rho'w}, \quad (32)$$

$$\overline{T'w} = (k-1)(\overline{T/\rho})\overline{\rho'w}, \quad (33)$$

$$\overline{T'\rho'} = (k-1)(\overline{T/\rho})\overline{\rho'^2}, \quad (34)$$

სადაც k ადიაბატის მაჩვენებელია.

ნაშრომის მეხუთე თავში მოცემულია განტოლებათა ჩაკეტილი სისტემა, რომელიც საშუალებას იძლევა მოხდეს ტურბულენტური ნაკადების გაანგარიშება საფრენი აპარატების მოდელირების მიზნით. მოძრაობის განტოლების ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ ნაკადის მყისიერი სიჩქარე, ზოგად შემთხვევაში, უნდა ვეძებოთ როგორც საშუალო სიჩქარის და პულსაციების მინიმუმ ორი ოჯახის ჯამი:

$$W = U + v = V + \nu + \phi V + \vartheta \quad (35)$$

სადაც ϕV და ϑ ასახავენ თანამდევ გრძივ და განივ პულსაციებს, რომლებიც ხასიათდებიან სრულიად განსხვავებული ამპლიტუდურ სიხშირითი მახასიათებლებით და ამიტომ არ გააჩნიათ კორელაცია რეინოლდსის ტურბულენტურ პულსაციებთან ν . შესაბამისად, მიღებულია აირის ტურბულენტური ნაკადის დინების ამსახველი დიფერენციალურ განტოლებათა ახალი სისტემა საფრენი აპარატების მოდელირებისათვის, რომელიც შეიცავს შემდეგ განტოლებებს:

უწყვეტობის განტოლება:

$$\text{div}[\rho V] = 0. \quad (36)$$

მდგომარეობის გასაშუალებული განტოლება:

$$\bar{P} = R\bar{\rho}\bar{T}[1 + (n - 1)a_\rho^2]. \quad (37)$$

სადაც პოლიტროპის მაჩვენებელი იანგარიშება ფორმულით

$$n = k + \frac{0,143 \frac{v\bar{\phi}(v)}{a_\rho f_0 c_v T}}{\quad} \quad (38)$$

უკანასკნელი გამოსახულების მარჯვენა ნაწილში მოლეკულური სიბლანტისა და დისიპაციური ფუნქციის ნამრავლი წარმოადგენს დისიპაციის სიჩქარეს. თავის მხრივ ეს სიდიდე განისაზღვრება კოლმოგოროვის ფუნდამენტური თეორიის გამოყენებით, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს ტურბულენტური სიბლანტის კოეფიციენტს, ტურბულენტობის კინეტიკურ ენერგიას და დისიპაციას:

$$v_T = 0.0225(\bar{v}^2)^2 / \varepsilon. \quad (39)$$

განტოლებათა მოყვანილი სისტემის ერთ-ერთი განმასხვავებელი თავისებურებაა სიმკვრივის რხევის საშუალო კვადრატული ამპლიტუდა, რომლის განსაზღვრისათვის მიღებულია გამოსახულება:

$$\bar{\rho}Vgrad(\bar{a}_\rho^2 / 2) \approx [\bar{a}_\rho^2 - 1]div[\bar{\rho}A_\rho]. \quad (40)$$

აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით, ენერგიის გასაშუალებული დიფერენციალური განტოლება წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$div\{\rho V h_\tau^* + e_{\mu\nu} + e_{\mu\nu} + \bar{q} + \rho V \tau(\bar{v}, \bar{v}) + a_\rho^2 R \bar{T} \bar{\rho} V - 0,5 a_\rho^2 \bar{\rho} V^2 V + \lambda \bar{T} A\} + \\ - 0,5 div\{[nc_p \bar{T} + n(n-1)a_\rho^2 R \bar{T} + 0,5 V^2] a_\rho^2 \bar{\rho} V\} = 0, \quad (41)$$

$$h_\tau^* = c_v \bar{T}[1 + (n-1)a_\rho^2] + \bar{P} / \bar{\rho} + V^2 / 2 + \bar{v}^2 / 2, \quad (42)$$

ამასთან, განტოლებაში ასახული ბლანტი ძალების ენერგიის ვექტორი განისაზღვრება განტოლებიდან:

$$\bar{e}_{\mu\nu} = -\mu grad[(\bar{v}^2 / 2) + \Gamma / \rho f_v] + \nu div \tau_T - \mu div[2\Gamma \tau(V, V) / \rho f_v V^2] + \\ + \mu[(\bar{v}^2 / 2) + \Gamma / \rho f_v] A - \nu \tau_T A + \mu[2\Gamma \tau(V, V) / \rho f_v V^2] A. \quad (43)$$

სადაც ტურბულენტობის გენერაციის სიჩქარე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Gamma = 2\rho\nu_T D(V)^2. \quad (44)$$

როგორც აღინიშნა, წინამდებარე ნაშრომში ტურბულენტობა განიხილება როგორც ჯამი რეგულარული (რეინოლდსისეული) პულსაციებისა და დაბალსიხშირული სპონტანური პულსაციებისა, რომლებიც ასახავენ ნაკადში კოჰერენტული სტრუქტურების პერიოდულ წარმოშობას.

შესაბამისად, რეგულარული პულსაციების კინეტიკური ენერგია განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$\begin{aligned} \rho V \overline{\text{grad} v^2} / 2 = \tau_T D(V) - \rho \varepsilon + \mu \nabla^2 (\overline{v^2} / 2) - v \text{div} \text{div} \tau_T - 0,5 a_p^2 V \text{grad} P + \\ + \text{div} [\mu A V^2 - \mu A \overline{v^2} + 2v A \tau_T - \lambda \overline{T} A] + [V \tau_T] A - \mu A^2 V^2 \end{aligned} \quad (45)$$

ხოლო თანამდევი პულსაციების კინეტიკური ენერგია განისაზღვრება განტოლებიდან

$$\text{div} [\rho V \overline{u^2} / 2] = \mu \nabla^2 (\overline{u^2} / 2) + \text{div} [\mu \text{div} \tau(\overline{u}, \overline{u}) + \mu A \overline{v^2} / 2 + \mu A \tau(\overline{v}, \overline{v}) + \lambda \overline{T} A] - \text{div} [\rho V \tau(\overline{u}, \overline{u})]. \quad (46)$$

სრული ანალოგიით, ტურბულენტური ძაბვების ტენზორი განისაზღვრება როგორც ორნაირი ტურბულენტური სიბლანტის კოეფიციენტის ფუნქცია:

$$\tau_{Tu} = \frac{2\mu_T + \rho \overline{u^2} \alpha(\rho)}{1 - \alpha(\rho) \text{div} V} D(V) - \frac{1}{3} \frac{\rho \overline{u^2} + 2\mu_T \text{div} V}{1 - \alpha(\rho) \text{div} V} I \quad (47)$$

ამასთან ერთად, ზოგად შემთხვევაში, აღნიშნული სიბლანტის კოეფიციენტები განისაზღვრებიან როგორც მოლეკულური სიბლანტისა და სიხშირის გრადიენტების ფუნქცია

$$\mu_T = -\mu \text{div} \{ [\text{div}(V^2 A)] [VD(V)] / [2D(V)^2] \} / \{ [VD(V)] A \} \quad (48)$$

$$\mu_{Tu} = [\text{div}(\mu V^2 A) - \mu A^2 V^2] / [2D(V)^2], \quad (49)$$

ჯამური ტურბულენტური ძაბვების გათვალისწინებით, წინამდებარე მოდელი ემყარება მოძრაობის განტოლებას შემდეგი სახით:

$$\overline{\rho}(VV)V = -\text{div}[PI + \rho \tau(\overline{v}, \overline{v}) + \rho \tau(\overline{u}, \overline{u}) + \tau(A_\rho, V) + \tau(V, A_\rho) + (2/3)\mu \text{div}(V)I - 2\mu D(V)] \quad (50)$$

როგორც ვხედავთ, როგორც ტურბულენტური ძაბვების, ისე სხვა ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრისას, უმთავრეს ფაქტორს წარმოადგენს სიხშირის გრადიენტი.

ზოგად შემთხვევაში, ამ სიდიდის განსაზღვრისათვის გამოიყენება ვექტორული განტოლება.

$$\operatorname{div}[\rho\tau(\overline{u,u})] = F(A,V) \rightarrow 0 \quad , \quad (51)$$

$$F(A,V) = \operatorname{div}\mu[\tau(V,A) + \tau(A,V)] - [P + (2/3)\mu\operatorname{div}V]A - [\rho\tau(\overline{v,v}) - 2\mu D(V)]A - \mu A^2V \quad , \quad (52)$$

ამასთან ერთად, იმის გათვალისწინებით, რომ სიხშირის გრადიენტი ყოველთვის მიმართულია სიჩქარის ვექტორის მართობულად, (ნაკადის განივი მიმართულებით), აღნიშნული სიდიდის ცვალებადობისათვის, კუეტის დინების დეტალური ანალიზის საფუძველზე მიღებულია სრულიად კონკრეტული გამოსახულება სიხშირის გრადიენტების ცვალებადობისათვის.

ამგვარად, მოყვანილია განტოლებათა ჩაკეტილი სისტემა, რომლის გამოყენებაც საფრენი აპარატების მოდელირებისათვის საჭიროებს სასაზღვრო პირობების დასმას. კერძოდ, ეს პირობებია:

- საჰაერო ხომალდის ზედაპირზე ჰაერის სიჩქარე ტოლია აპარატის სიჩქარის.
- საფრენი აპარატიდან რამდენიმე ათეული მეტრის დაშორებით მოცემულია ჰაერის პარამეტრები, კერძოდ ატმოსფერული წნევა, ტემპერატურა, სიმკვრივე, ჰაერის სიჩქარე (ასევე ქარის ძვრა) და ატმოსფერული ტურბულენტობა, თუკი აპარატი დაფრინავს რთულ მეტეო პირობებში.

მოყვანილ სისტემა არის საფუძველი მაქსიმალურად სრულყოფილი კომპიუტერული მათემატიკური მოდელის შექმნისა, ვინაიდან იგი არ ემყარება ემპირიულ კოეფიციენტებს.

ამავე თავში მოცემულია ტორნადოებში მიმდინარე პროცესების ანალიზი შემოთავაზებულ განტოლებათა სისტემის ანალიზის საფუძველზე. ნაჩვენებია, რომ,

გარკვეულ რეჟიმებზე, ტურბულენტური სიბლაზნტის კოეფიციენტმა შეიძლება მიიღოს ნულოვანი და უარყოფითი მნიშვნელობები.

ნაშრომის მეექვსე თავში ნაჩვენებია, რომ სტიქიური ხასიათის მქონე ატმოსფერული მოვლენების დამანგრეველი ენერგია განპირობებული შეიძლება იყოს როგორც ტურბულენტობით, ისე ატმოსფეროში, როგორც მრავალფაზიან სისტემაში მიმდინარე ფაზური გარდაქმნებით. ამასთან ერთად, რთული თერმოდინამიკური სისტემები, რომლებიც შეიცავენ როგორც გაზისებრ, ისე თხევად და მყარ ფაზას, ხასიათდებიან ისეთი თვისებებით, რომლებიც არაა დამახასიათებელი მარტივი, ერთფაზიანი სისტემებისათვის.

აღნიშნულის დემონსტრაციის მიზნით, სამუშაოს ამ ნაწილში ნაჩვენებია, რომ, თუკი აჩქარებულ და გაუხშობულ გაზის ნაკადში შევაფრქვევთ განსხვავებული ნივთიერების სითხეს და, ამის შემდეგ, ნაკადს დავამუხრუჭებთ ისეთ დანადგარში (დიფუზორში), რომელშიც გაზი აღიდგენს წნევას, ხოლო სითხე მოასწრებს აორთქლებას, მაშინ დანადგარიდან გარემოში გამოტყორცნილ გაზს ექნება დაბალი ტემპერატურა და მაღალი კინეტიკური ენერგია, რომელიც შეგვიძლია სასარგებლო მიზნებისათვის გამოვიყენოთ.

ეს პროცესი შეიძლება მიჩნეულ იქნას როგორც ერთ-ერთი შესაძლო ახსნა ღრუბლიან ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების დამანგრეველი ენერგიისა.

მოყვანილია გაანგარიშება და პრინციპიალური სქემა დანადგარისა, რომელიც აგებულია ტორნადოს მოქმედების პრინციპზე.

პროცესების სქემატიზაციის გზით, შემუშავებულია საინჟინრო გაანგარიშებებისათვის გამოსადეგი მოდელი, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელია განისაზღვროს გრიგალური მოძრაობის ენერგია, შეფასდეს ატმოსფეროს მდგრადობა მისი ლოკალური პარანეტრების საფუძველზე და მოხდეს საავიაციო შემთხვევათა თავიდან აცილება საჰაერო ხომალდის მოძრაობის მიმართულების დროულად კორექტირების გზით.

ძირითადი დასკვნები:

ჩატარებულ გამოკვლევათა შედეგები საშუალებას იძლევა გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

1. ფრენის დადგენილ სიმაღლეზე, ატმოსფეროს მდგომარეობის პარამეტრები (ჰაერის ღრუბლიანობის ხარისხი ან წყლის ხვედრითი რაოდენობა 1 კგ. ჰაერში, ატმოსფერული წნევა და ტემპერატურა) და წნევა მიწის ზედაპირზე საშუალებას იძლევიან შეფასდეს, ატმოსფეროს მდგრადობის კრიტერიუმისა და სპეციალური საბორტო კომპიუტერის საშუალებით, რამდენად არამდგრადია ატმოსფერო სივრცის იმ ადგილას, სადაც თვითმფრინავი იმყოფება. შესაბამისად, ნაშრომში შემოთავაზებული მეთოდის საფუძველზე შესაძლებელია შეიქმნას ღრუბლიან ატმოსფეროში საშიში არამდგრადი ზონების დამდგენი სპეციალური სისტემა.
2. საჰაერო ტრანსპორტის უსაფრთხო ფუნქციონირებისა და ფრენის პირობების სრულფასოვანი პროგნოზირების მიზნით, პროგნოზირების მეთოდოლოგიაში გათვალისწინებული უნდა იქნას, რომ, როდესაც უწყვეტი გარემო განიხილება როგორც რთული თერმოდინამიკური სისტემა, რომელიც, გარდა სითბოტევადობისა, ხასიათდება ენერჯის აკუმულირების დამატებითი მექანიზმებით (ენერჯის აკუმულირება ტურბულენტობის ენერჯიაში ან ფაზურ გარდაქმნებში) მაშინ, ასეთ სისტემაში, ციკლური პროცესების გარკვეული, უწყვეტი მონაცვლეობით, შესაძლებელია მექანიკური ენერჯის გენერირება გარემომცველი სივრცის თბური ენერჯის ხარჯზე, რაც შესაძლოა განხილული იქნას, როგორც გრიგალებისა და ტორნადოს ტიპის ატმოსფერული მოვლენების დამანგრეველი ეფექტის თეორიული საფუძველი.
3. საფრენი აპარატების სრულყოფის მიზნით გამოყენებული ფუნდამენტური განტოლებების ანალიზი, დროითი მასშტაბების ცვალებადობის გათვალისწინებით ადასტურებს, რომ, ბრუნვითი და სპირალური დინებების დროს, როდესაც $VgradV^2 \rightarrow 0$ ტურბულენტური სიბლანტის გამოსახულება განიცდის რადიკალურ ცვლილებას, რაც იწვევს დინების სრულ რესტრუქტურირებას ან ბიფურკაციებს. ამასთან არსებობს რეჟიმები, როდესაც

ტურბულენტობის სიბლანტის კოეფიციენტი დებულობს როგორ ნულოვან, ისე უარყოფით მნიშვნელობებს.

4. ფურიეს მწკრივების გამოყენებით გაზის ერთგანზომილებიანი პულსირებადი ნაკადების ანალიზი ადასტურებს, რომ ნაკადის გასწვრივ რხევათა მთავარი სიხშირე (ან დროითი მასშტაბი) უცვლელია, შესაბამისად, სრულიად განსხვავებული მეთოდოლოგიური მიდგომით, დადასტურებულია მართებულობა დროით მასშტაბებზე დაფუძნებული ტურბულენტობის ახალი თეორიისა, რომელიც გამოიყენება ნაშრომში დასმული პრობლემების თეორიული ანალიზის დროს.
5. ტორნადოში მიმდინარე პროცესების თერმოდინამიკური ანალიზით, დადასტურებულია რომ, თუკი ატმოსფეროს ზედა ფენებში, დაბალი ტემპერატურის პირობებში, ხდება ნისლის აორთქლება და ჰაერისაგან სითბოს შთანთქმა, ხოლო ქვედა ფენებში, შედარებით მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში, ხდება ორთქლის კონდენსაცია და მაღალ ფენებში შთანთქმული სითბოს გამოყოფა ატმოსფეროს დაბალ ფენებში, მაშინ, ასეთი სახის ციკლური პროცესები უზრუნველყოფენ მექანიკური ენერჯის გენერაციას ატმოსფერული სითბოს ხარჯზე, რაც შესაძლოა განხილული იქნას როგორც ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზი ატმოსფერული გრიგალების დამანგრეველი ეფექტისა. ის გარემოება, რომ, კლასიკური ტორნადოები ფიქსირდება მხოლოდ ორფაზიან, ღრუბლიან გარემოში, დასტურია იმისა, რომ ფაზური გარდაქმნები თამაშობენ გადამწყვეტ როლს ტორნადოს ენერგეტიკულ სტაბილურობაში.

6. ორფაზიან გარემოში, ფაზური გარდაქმნების გათვალისწინებით ჩატარებული, როგორც თერმოდინამიკური, ისე აეროდინამიკური გაანგარიშებები ადასტურებენ, რომ, ავტორის მიერ შემუშავებული ინტეგრალური თერმოდინამიკური და აეროდინამიკური მეთოდები, გრიგალური ნაკადების პარამეტრების გასაანგარიშებლად, საშუალებას იძლევიან, ატმოსფერული ტურბულენტობის და ატმოსფერული წნევის საგრძნობი ცვალებადობის შემთხვევაში, დაფიქსირებული იქნას ფუძიტას

შკალაში ასახული მაღალი სიჩქარეები და ენერგეტიკული მახასიათებლები. შესაბამისად, მიღებულია მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას იძლევა, სინოპტიკური პარამეტრების გადახრების საფუძველზე, მოხდეს როგორც ექსტრემალური ბუნებრივი მოვლენებით გამოწვეული დამანგრეველი ეფექტის გაანგარიშება, ისე ფრენის პროცესში ატმოსფეროს მდგრადობის შეფასება, რაც ძალზედ მნიშვნელოვანია ავიაციის უსაფრთხო ფუნქციონირებისათვის.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:

1. აფციაური გეგი. ტორნადოს შეფასების და პროგნოზირების ინტეგრალური მეთოდი//საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-9 ღია სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მოხსენებათა თეზისები, თბილისი. 2015. 25-26 მაისი. გვ 26-27.

2. აფციაური გეგი. ტორნადოში მიმდინარე პროცესების ანალიტიკური შეფასება//საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა 10-ე ღია სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მოხსენებათა თეზისები. 2016. 25-26 მაისი. გვ 10-11.

3. აფციაური გეგი. ტურბულენტური აეროდინამიკური ნაკადების მათემატიკური მოდელირება//საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის

სტუდენტთა 11-ე ღია სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მოხსენებათა თეზისები. 2017. 25-26 მაისი. გვ 9-10.

4. Aptsiauri A., Aptsiauri G. - Principle of frequency gradients and energy conservation laws for the integrated flux as a basis for solving the problem of turbulence. //International Scientific Journal of IFToMM "Problems of Mechanics", № 2(63), Tbilisi 2016, pp. 50-55

5. Aptsiauri A., Aptsiauri G.- SECRET OF TORNADO, RETRIBUTION OF NATURE AND BASIS FOR ENERGETICS OF FUTURE//SCIENTIFIC JOURNAL OF IFToMM "PROBLEMS OF MECHANICS" 4(65) Tbilisi 2016

6. Aptsiauri G. - CONSERVATION OF TIME SCALE FOR ONE-DIMENSIONAL PULSATING FLOW//“TRANSACTIONS OF A. RAZMADZE MATHEMATICAL INSTITUTE” Volume 171. Issue 3, Tbilisi 2017, pp 253-256

7. Aptsiauri G. Integral method for evaluation and prediction of tornado//SCIENTIFIC JOURNAL OF IFToMM "PROBLEMS OF MECHANICS" № 1(58) Tbilisi 2015 pp 51-59

8. Aptsiauri A., Aptsiauri G. - NEGLECT OF TIME SCALE - THE MAIN ASSUMPTION, THAT LEADS TO THE PROBLEM OF TURBULENCE

9. Aptsiauri A., Aptsiauri G., Kipiani G. - THE NEW SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR TURBULENT FLOW MODELING –International Conference on Differential & Difference Equations and Applications, June 5-9, 2017 Amadora, Portugal

10. Aptsiauri G. - THE POSSIBILITY OF TORNADO ANALYSIS. 55-60, № 1(11)2016

11. Aptsiauri G. - Design of buildings with consideration of atmospheric natural phenomena//Collection Of Abstracts Of 9th Internarional Conference Contemporary Problems Of Architecture And Construction. Batumi - Georgia, September 13-18, 2017. Page 152.

12. Aptsiauri Gegi The Algoritm of Mathematical Modeling of Turbulent Spatial Flows//Continuum Mechanics And Related Problems Of Analysis. Book of Abstracts. September 5-9, 2016, Batumi, Georgia. Page 78.

13. Aptsiauri, A. Aptsiauri, PARTICULARITIES OF INTEGRATING THE PERIODIC

FUNCTIONS IN THE PRESENCE OF THE TIMESCALE GRADIENTS AND
TURBULENCEISSUES Transactions of A.Razmadze Mathematical Institute Vol. 173 (2019),
3–8 pp.

14. Kipiani Gela, Aptsiauri Gegi, Zambakhidze Leri, Churchelauri Zviad, Paresishvili Akaki, Okropiridze Goga. Stability of thin-walled spatial systems with discontinuous parameters//Contemporary problems of architecture and construction. Proceedings of 8th International Conference Contemporary Problems of Architecture and construction. Yerevan - Armenia, October 26-28, 2016. pp. 171-173.

Abstract

The project is aimed at studying the physical nature of one of the unknown natural phenomena such as tornado, and verifying a view that in addition to gravitational energy, there is also occurring conversion of thermal energy to kinetic energy (origination of an additional chimney effect) that in some cases counters to the classical laws of thermodynamics. The matter is relevant, since a number of experimental works confirm that during the rotational (spiral) motion, the chimney effects are really originated. The same effects can be also fixed when considering the complex thermodynamic systems.

The project is to study theoretically the processes occurring inside tornados through the numerical modeling, with consideration for the complex turbulent processes occurring inside the flow, based on those modern theoretical achievements, which allow for solving the very complex problem of turbulence, and for studying the numerous interesting phenomena associated with the second law of thermodynamics, in those conditions, when inside the system

there occur the phase transformations or internal circulation of other types of energies takes place.

The project is of importance because it allows for calculating properly, predicting and preventing the devastating effects caused by natural phenomena.