

ვერტმფრენის ტიპის უპილოტო საფრენი აპარატის პროექტი

ბეჟან ჯიქია¹, ცეზარი გაბამე²

^{1,2} საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, 0103 თბილისი, საქართველო

რეზიუმე: ნაშრომში განხილულია ტანდემური სქემის მქონე უპილოტო ვერტმფრენის კონცეფცია, მისი ტექნიკური და კონსტრუქციული თავისებურებები. აღნიშნული სქემა გამოირჩევა სტაბილურობით, გაზრდილი ამწეობით და ბრუნვითი მომენტის შიდა ბალანსით, რაც საშუალებას იძლევა შეიქმნას კომპაქტური, ენერგოეფექტური და მრავალფუნქციური საფრენი სისტემა. აპარატის მოდულური არქიტექტურა, კომპოზიტური მასალების გამოყენება და ელექტროძრავზე დაფუძნებული სისტემა უზრუნველყოფს საიმედო და დაბალხმაურიან მუშაობას. ტანდემური სქემის უპილოტო საფრენი ვერტმფრენი (UAV) ოპტიმალურია ლოგისტიკური, სამაშველო და სადაზვერვო ამოცანების შესრულებისთვის რთულ რელიეფსა და მეტეოროლოგიურ პირობებში. ჩატარებული ანალიზი ადასტურებს, რომ ტანდემური სქემის ინტეგრაცია უპილოტო სისტემებში წარმოადგენს პერსპექტიულ მიმართულებას თანამედროვე ავიაკონსტრუქციების განვითარებაში.

საკვანძო სიტყვები: ტანდემური სქემა, უპილოტო საფრენი აპარატი, ტვირთამწეობა, კომპლექსური მართვა.

შესავალი

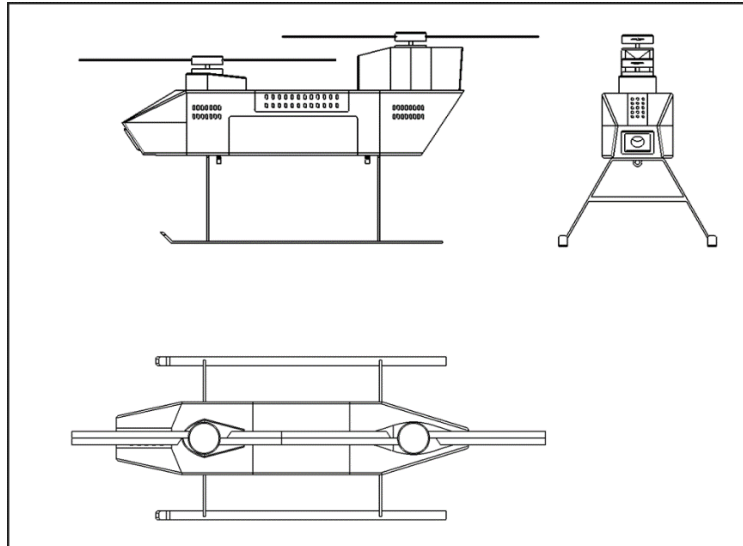
თანამედროვე ავიაკონსტრუქციების განვითარების ტენდენცია მჭიდროდ არის დაკავშირებული უპილოტო საფრენი აპარატების გავრცელებასთან. სხვადასხვა კლასის დრონები წარმატებით გამოიყენება როგორც სამოქალაქო, ისე სამხედრო სფეროებში. მიუხედავად ამისა, ტვირთის გადაზიდვის, სამიებო-სამაშველო და რთულ მეტეოროლოგიურ პირობებში გამოყენებისათვის, საჭირო ხდება უფრო გამძლე და მძლავრი აპარატების შექმნა, რომლებიც უპირატესობას მიანიჭებენ ვერტმფრენულ სქემას ფიქსირებული ფრთის აპარატებთან შედარებით.

ტანდემური სქემის ვერტმფრენები გამოირჩევიან განსაკუთრებული სტაბილურობით და მაღალი ამწეობით, რაც მათ იდეალურ კანდიდატებად აქცევს სატრანსპორტო და ლოგისტიკური ამოცანების შესასრულებლად. ამ კონცეფციის ინტეგრაცია უპილოტო საფრენ პლატფორმაში ქმნის ტექნოლოგიურ შესაძლებლობას, შეიქმნას კომპაქტური, მრავალფუნქციური და ენერგოეფექტური საფრენი სისტემა.

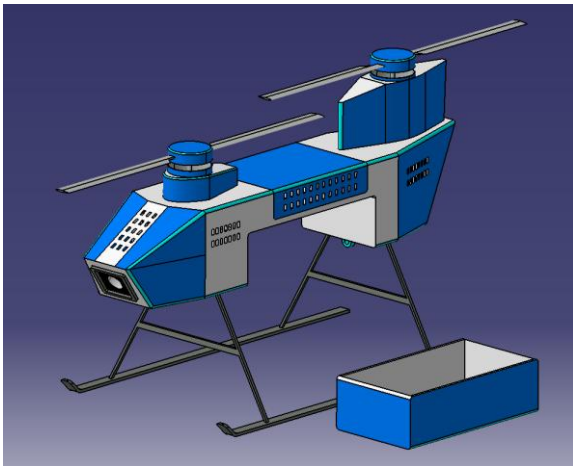
წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია ტანდემური სქემის მქონე უპილოტო ვერტმფრენის ტექნიკური და კონსტრუქციული თავისებურებების ანალიზი, მისი გამოყენების სფეროების განსაზღვრა და ოპტიმალური დიზაინის შესწავლა, რომელიც უზრუნველყოფს ეფექტურ მუშაობას სხვადასხვა ოპერაციულ პირობებში [1, 2, 3, 4, 5].

ძირითადი ნაწილი

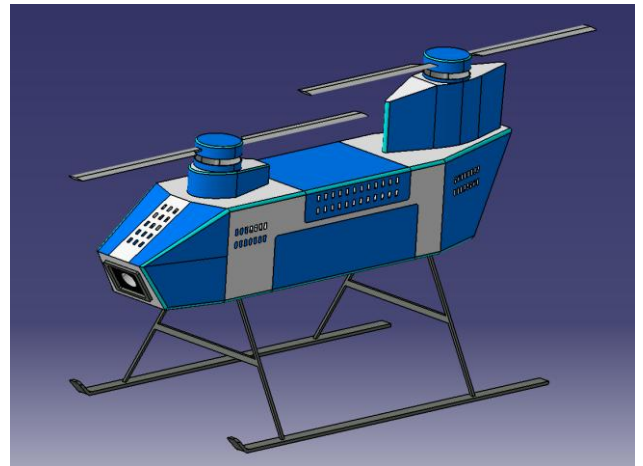
ვერტმფრენის ტანდემური სქემა (სურ.1 ა), ბ) გ)) წარმოადგენს ვერტმფრენის კონფიგურაციას, რომელშიც ორი მთავარი როტორი განლაგებულია გასწვრივ — წინა და უკანა ნაწილში. ორივე როტორი თანაბრად მონაწილეობს ამწევი ძალის წარმოქმნაში და, რაც მთავარია, ერთმანეთის ბრუნვითი მომენტის კომპენსაციას ახდენს, რის გამოც არ არის საჭირო ცალკე კუდის როტორი [6, 7].



ა)



ბ)



გ)

სურ.1 ტანდემური სქემის უპილოტო საფრენი ვერტმფრენი (UAV)

ამგვარი სქემის ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლებია:

სტაბილურობა და ბრუნვის მომენტის ბალანსი: ორი ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მბრუნავი როტორი უზრუნველყოფს ბრუნვითი მომენტის შინაგან ბალანსს. შედეგად, აპარატი უფრო სტაბილურად რეაგირებს მართვის ბრძანებებზე და საჭიროებს ნაკლებ ძალისხმევას სტაბილიზაციისთვის [8].

გაზრდილი ამწეობა: ორივე როტორი ქმნის ამწევ ძალას, რაც საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ტვირთამწეობა ძრავების იმავე სიმძლავრის პირობებში. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია უპილოტო აპარატისთვის, რომელიც განკუთვნილია ლოგისტიკური ან სამაშველო დანიშნულებისთვის.

გრძობი განლაგების უპირატესობა: როტორების განლაგება გრძობი ღერძზე უზრუნველყოფს უკეთეს წონის განაწილებას და მინიმუმამდე ამცირებს ასიმეტრიულ აეროდინამიკურ ძალებს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სწრაფი მოძრაობის ან ძლიერ ქარის პირობებში.

სტრუქტურული სიმარტივე სიჩქარის მიმართ: ტანდემური სქემა უკეთესად ეგუება ფრენის მაღალი სიჩქარის რეჟიმებს, ვინაიდან არ მოქმედებს ასიმეტრიული ძალის ეფექტი (რაც იწვევს ფლატერს კოაქსიალურ ან მონოროტორულ სქემებში).

ნაკლოვანებები, რომლებიც ასოცირდება ამ სქემასთან, მოიცავს:

გამძნელებული მექანიკური სინქრონიზაცია: ორივე როტორის მართვა და სინქრონიზაცია მოითხოვს უფრო რთულ გადაცემათა მექანიზმს ან ცალკე ელექტროძრავებს დამოუკიდებელი კონტროლით.

ზომათა ზრდა: აპარატის სიგრძე იზრდება როტორების განლაგების გამო, რაც აფერხებს მის გარკვეულ გამოყენებას, განსაკუთრებით მცირე სივრცეებში.

მართვის კომპლექსურობა: მართვის სისტემას საჭიროება დახვეწილი ალგორითმები ბრუნვის კოორდინაციისთვის, რაც რეალურ დროში დინამიკურ გათვლებს და მაღალი სიზუსტის სენსორებს მოითხოვს.

საერთო ჯამში, ტანდემური სქემა წარმოადგენს კომპრომისს ტვირთამწეობასა და სტრუქტურულ კომპლექსურობას შორის, რაც მას კონკურენტუნარიან ალტერნატივად აქცევს განსაკუთრებით იმ პირობებში, სადაც ტვირთის მოცულობა და სტაბილურობა პრიორიტეტულია [6].

ტანდემური სქემის უპილოტო ვერტმფრენის შექმნისას პრიორიტეტულად განიხილება ფუნქციური საიმედოობა, სტაბილურობა და მოდულურობა. აპარატის კონსტრუქცია ეფუძნება პრინციპს — მაქსიმალური ეფექტურობა მინიმალურ ზომებსა და წონაში.

უპილოტო ვერტმფრენი მოიცავს ორ მთავარ როტორს, რომლებიც განლაგებულია ტანდემურად ფიუზელაჟის წინა და უკანა ნაწილში. თითოეული როტორი იმართება დამოუკიდებელი ძრავით ან საერთო ენერგოაგრეგატით გადაცემათა მექანიზმების მეშვეობით. ასეთი განლაგება უზრუნველყოფს ბრუნვითი მომენტის შიდა ბალანსს და ფრენის დინამიკის გამართლებას.

ვერტმფრენის ძალური დანადგარი არის ელექტრული ძრავა რომელიც უზრუნველყოფს დაბალ ხმაურსა და მცირე ტექნიკურ მომსახურებას.

უპილოტო აპარატი აღჭურვილია ინტეგრირებული ბორტული კონტროლერით, რომელიც ახდენს მართვის პროგრამული უზრუნველყოფას რეალურ დროში მონაცემების ანალიზს და არეგულირებს როტორების ბრუნვის სიჩქარეს, რითაც უზრუნველყოფს ფრენის სტაბილურობას და ტვირთის სწორად გადატანას დადგენილი მარშრუტით.

ფიზიკური დამზადებულია მსუბუქი კომპოზიტური მასალებისგან (მაგ. კარბონის ბოჭკო), რაც ამცირებს საერთო წონას და ზრდის სიმტკიცეს.

ვერტმფრენის სტრუქტურა შედგება შემდეგი ძირითადი ელემენტებისგან:

- როტორული სისტემა (წინა და უკანა);
- ძრავის/ბატარეის განყოფილება;
- ელექტრონული მოდულების ბლოკი;
- ტვირთის პლატფორმა და სპეციალური საკიდები.

დიზაინი მოფიქრებულია ისე, რომ მოხდეს მისი სწრაფი ტექნიკური მომსახურება და მოდულების შეცვლა იყოს მაქსიმალურად ეფექტური.

ტანდემური სქემის უპილოტო ვერტმფრენის კონსტრუქცია და ტექნიკური პარამეტრები ქმნის ფართო შესაძლებლობებს სხვადასხვა დარგში მის ინტეგრირებისთვის. მაღალი ამწეობა, სტაბილურობა და ფრენის შედარებით ხანგრძლივი დრო, მნიშვნელოვან უპირატესობას ანიჭებს მას ტრადიციულ ერთხრახნიან (ანუ კლასიკული სქემა) ან კვადროკოპტერის ტიპის აპარატებთან შედარებით.

უპილოტო ტანდემური ვერტმფრენი ოპტიმალურია ტვირთის გადაზიდვისთვის ისეთ ლოკაციებზე, სადაც ჩვეულებრივი სატრანსპორტო საშუალებები ვერ აღწევენ:

- მთიანი და რთული რელიეფის ზონები;
- პლატფორმები ზღვაზე (ნავთობმომპოვებელი ობიექტები);
- პოსტკატასტროფული ზონები (მიწისძვრები, წყალდიდობები).

მოწყობილობა შეიძლება აღიჭურვოს სტანდარტიზებული კონტეინერების დამჭერით ან მორგებული ტვირთგადამტანი სისტემით. ეს ხელს უწყობს მიწოდების სისწრაფესა და სიზუსტეს, განსაკუთრებით ჰუმანიტარულ ოპერაციებში, სადაც კრიტიკულია დროში მოქმედება.

ტანდემური სქემის სტაბილურობა და მობილურობა საშუალებას იძლევა ვერტმფრენი გამოიყენონ:

- დაზარალებულების სამიებლად და სამედიცინო ტვირთის გადაზიდვისთვის;
- დამწვარი ან დაზინძურებული ტერიტორიების ზედამხედველობისთვის;
- სამეთვალყურეო კამერებისა და სენსორების ტრანსპორტირებისთვის.

მოწყობილობის მაღალი მანევრულობა და ავტონომია მნიშვნელოვნად ზრდის რეაგირების ეფექტიანობას გადაუდებელ სიტუაციებში.

სამოქალაქო სფეროში იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას:

- ინფრასტრუქტურის მონიტორინგისთვის (ხიდები, ელექტროგადამცემი ხაზები, რკინიგზა);
- სოფლის მეურნეობაში (მცენარეთა მონიტორინგი, სასუქის დისტრიბუცია);
- ქალაქის ლოგისტიკაში (მაგ. პაკეტების სწრაფი მიწოდება დასახლებულ რაიონებში).

ტანდემური სქემის მქონე უპილოტო აპარატს გააჩნია შემდეგი პრაქტიკული უპირატესობები: მაღალი წონის ტვირთის გადაზიდვის უნარი მცირე ზომისა და წონის პირობებში, ფართო პლატფორმა ტვირთის მარტივად დასამაგრებლად, დაბალი ფრენის სიჩქარე სიზუსტის შესანარჩუნებლად (ჰაერში ერთ ადგილას გაჩერებისას) და ფუნქციონირება რთულ მეტეოროლოგიურ პირობებში, სადაც მსუბუქი დრონები მწყობრიდან გამოდის.

ტანდემური სქემის უპილოტო ვერტმფრენის კონცეფცია წარმოადგენს პერსპექტიულ მიმართულებას თანამედროვე ავიაკონსტრუქციების განვითარების პროცესში. აღნიშნული სქემის გამოყენება საშუალებას იძლევა ერთდროულად გაიზარდოს ტვირთამწეობა, სტაბილურობა და მანევრულობა, რაც მნიშვნელოვან უპირატესობას ქმნის სამოქალაქო დანიშნულების მისიის შესრულებისას.

მოწყობილობის მოდულური არქიტექტურა, მრავალფეროვანი ენერგოსისტემების ინტეგრირების შესაძლებლობა და ავტონომიური მართვის ალგორითმები უზრუნველყოფს მაღალი საიმედოობისა და ეფექტიანობის პლატფორმას. ლოგისტიკური ამოცანების შესრულებისას ტანდემური სქემა საშუალებას იძლევა დაფარვის მომსახურების არეალი გაიზარდოს, ხოლო დანახარჯები შემცირდეს, განსაკუთრებით რთულად მისადგომ რეგიონებში.

შესწავლილი მონაცემები აჩვენებს, რომ ტანდემური სქემის ინტეგრაცია უპილოტო სისტემებში შეიძლება გახდეს მნიშვნელოვანი ეტაპი ისეთი აპარატების შექმნისათვის, რომლებიც გამოირჩევა როგორც გამძლეობითა და ენერგოეფექტურობით, ასევე ფუნქციური მოქნილობით.

მომავალში შესაძლებელია ამ სისტემების კიდევ უფრო დახვეწა, მათ შორის, აეროდინამიკური ფორმების ოპტიმიზაცია, ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია მართვის სისტემაში და მასობრივი წარმოებისთვის ადაპტირება [8].

დასკვნა

ტანდემური სქემის მქონე უპილოტო ვერტმფრენის პროექტი აჩვენებს, რომ აღნიშნული კონფიგურაცია ეფექტურად აერთიანებს მაღალი ტვირთამწეობის, სტაბილურობისა და მანევრულობის უპირატესობებს კომპაქტურ ზომებთან და ენერგოეფექტურობასთან ერთად. ასეთი სისტემები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი გახდება იმ სფეროებში, სადაც საჭიროა ზუსტი ტვირთმიწოდება, სწრაფი რეაგირება და საიმედო მუშაობა რთულ გარემოში. პერსპექტივაში, პროექტის განვითარება შეიძლება მოიცავდეს აეროდინამიკური ფორმების ოპტიმიზაციას, ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაციას საბორტო მართვის სისტემაში და მოდელების მასობრივი წარმოებისთვის ადაპტაციას. ეს ნაბიჯები გააძლიერებს ტექნოლოგიურ პოტენციალს და ხელს შეუწყობს ქვეყნის საავიაციო ინჟინერიის სფეროს პროგრესს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ტექნიკური უნივერსიტეტი. (2022). აეროდინამიკის საფუძვლები და პრაქტიკული ინჟინერია. თბილისი: ტექნიკური გამომცემლობა;
2. საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი. (2023). უპილოტო საფრენი აპარატების ტექნოლოგიების მიმოხილვა. თბილისი;
3. Romasevich, V. F., and Samoilov, G. A. *Practical Aerodynamics of Helicopters*. Moscow: Military Publishing House, 1980;
4. McCormick, B. W. (1995). *Aerodynamics of V/STOL Flight*. Dover Publications.
5. Leishman, J. G. (2006). *Principles of Helicopter Aerodynamics* (2nd ed.). Cambridge University Press;
6. Padfield, G. D. (2007). *Helicopter Flight Dynamics: The Theory and Application of Flying Qualities and Simulation Modelling*. Wiley;
7. Johnson, W. (2013). *Helicopter Theory*. Dover Publications;
8. Anderson, J. D. (2017). *Introduction to Flight*. McGraw-Hill Education.

Project of a Helicopter-Type Unmanned Aerial Vehicle

Bezhan Jikia¹, Tsezar Gabadze²

^{1,2}Georgian Aviation University

16 Ketevan Dedopali Avenue, 0103 Tbilisi, Georgia

Abstract: *The presented work focuses on the design and analysis of a tandem-rotor unmanned helicopter. The paper highlights the aerodynamic and structural advantages of the tandem configuration, which offers high lifting capacity, improved stability, and enhanced maneuverability compared to conventional rotorcraft or quadcopter systems. The proposed UAV employs lightweight composite materials and an electric propulsion system to achieve energy efficiency and low noise. Equipped with an integrated flight control unit and modular payload system, it is designed for logistics, rescue, and surveillance operations in complex environments. The study concludes that the tandem configuration can significantly improve the operational flexibility and reliability of unmanned aerial platforms in both civilian and defense applications.*

Keywords: *tandem configuration, unmanned aerial vehicle, payload capacity, integrated control system.*