

ჰაერის ტემპერატურისა და ტენიანობის გავლენა თვითმფრინავის საფრენოსნო მახასიათებლებზე

ავთანდილ აფხაიძე¹, მანანა მამსირაშვილი¹

¹საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი ქეთევან დედოფლის გამზირი, 16, თბილისი, 0103,

საქართველო

რეზიუმე

ნაშრომში განიხილება თვითმფრინავების ასაფრენ-დასაფრენი მახასიათებლების მნიშვნელობებზე ატმოსფერული წნევის, ჰაერის ტენიანობისა და ტემპერატურის მნიშვნელობათა ცვლილებების გავლენა. კლიმატური მონაცემების მიხედვით გაანალიზებულია ჰაერის საშუალო ტემპერატურის გადახრა სტანდარტული ატმოსფერული მნიშვნელობიდან თბილისის საერთაშორისო აეროპორტის ტერიტორიულ ნაწილში, ფრენის ემელონებისა და სეზონების მიხედვით.

საკვანძო სიტყვები

საპილოტაჟო-სანავიგაციო ხელსაწყო, ბარომეტრული სიმაღლისმზომი, ბარომეტრული სიმაღლისმზომის მეთოდური ცდომილება, სტანდარტული ატმოსფერო (სა), კლიმატური მონაცემები, ტემპერატურის (ფარდობითი ტენიანობის) ვირტუალური დანამატი, ბარომეტრული სიმაღლის მეთოდური შესწორება.

შესავალი

თვითმფრინავების ფრენის უსაფრთხოება დიდადაა დამოკიდებული მათი საფრენოსნო მახასიათებლების სწორ გათვლაზე არსებულ მეტეოროლოგიურ პირობებში /3,4/. ასეთი გათვლების სიზუსტე დიდ როლს ასრულებს აფრენისა და დაფრენის პროცესებში. როგორც ცნობილია, თვითმფრინავის ასაფრენ-დასაფრენი ზოლიდან მოწყვეტის სიჩქარე, დაფრენის სიჩქარე, აფრენის წინა და დაფრენის შემდეგი განარბენის სიგრძე გამოიანგარიშება მშრალი ჰაერისათვის /1,2/. ამ უკანასკნელის სიმკვრივე დამოკიდებულია ატმოსფერულ წნევასა და ტემპერატურაზე. მიწისპირა ფენაში კი ჰაერი ყოველთვის შეიცავს წყლის ორთქლს. ამიტომ მისი სიმკვრივე დამოკიდებულია აგრეთვე წყლის

მოლეკულების კონცენტრაციაზე ანუ ტენიანობაზე.

გარდა ამისა აღსანიშნავია, რომ საჰაერო ტრანსპორტის უსაფრთხო ფრენების უზრუნველყოფა წარმოადგენს შედარებით რთულ და მრავალმხრივ პრობლემას, რომელიც მრავალ ასპექტებს მოიცავს. კერძოდ: საჰაერო ხომალდის ფუნქციონირების საიმედოობას; საპილოტაჟო-სანავიგაციო სისტემების საიმედოობას; კავშირგაბმულობის საშუალებათა საიმედოობას; ეკიპაჟის ფუნქციურ ეფექტურობას და სხვა. ბარომეტრული სიმაღლისმზომი წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად საპილოტაჟო-სანავიგაციო ხელსაწყოს, რომლითაც იზომება ფრენის სიმაღლე /5/. მისი მოქმედების პრინციპი ეფუძნება სტატიკური წნევის გაზომვას ატმოსფეროში მგრძნობიარე ბარომეტრ-ანეროიდით, რომლის შკალა დაპროგრამირებულია ბარომეტრული

ფორმულის მიხედვით სტანდარტული ატმოსფეროს (სა) მიხედვით. მაგრამ სიმაღლისა და წნევის მნიშვნელობების კავშირი ყოველთვის ერთგვაროვანი არაა. სიმაღლის ჭეშმარიტი მნიშვნელობები დამოკიდებულია არა მარტო წნევაზე, არამედ მის ქვემოთ არსებული ჰაერის სვეტის ტემპერატურაზეც. ამიტომ დაფრენის ბარომეტრული სიმაღლის გაზომვისას აუცილებელია მეთოდური შესწორების შემოტანა, რომელიც დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. აქედან გამომდინარე, წარმოდგენილი ნაშრომის ერთ-ერთი მიზანია ხსენებული ხელსაწყოს მეთოდური შესწორების ცვალებადობის ანალიზი.

ბარომეტრული სიმაღლის მზომის მეთოდური შესწორების შეფასება

ცნობილია, რომ ფრენის სიმაღლის განსაზღვრისათვის სარგებლობენ ბარომეტრული ფორმულით /6/:

$$H = RmS \cdot T_{saS} \cdot \ln \frac{P_0}{P_H} \quad (1)$$

სადაც H - ფრენის სიმაღლე;

R_{saS} - მშრალი ჰაერის დაყვანილი გაზური მუდმივა;

T_{saS} - ჰაერის სვეტის საშუალო ტემპერატურა K (კელვინებში) ზღვის დონიდან ფრენის სიმაღლემდე;

P_0 - წნევა ზღვის დონეზე (ვწყ. სვ. მმ);

P_H - წნევა ფრენის სიმაღლეზე.

ფრენის სტანდარტული ბარომეტრული სიმაღლის განსაზღვრისას $P_0 = 760$ მმ ვწყ. სვ., ხოლო P_H -ს გააჩნია მუდმივი მნიშვნელობა ფრენის ეშელონზე (სიმაღლეზე). ამ შემთხვევაში გაზომვადი სიმაღლის მნიშვნელობა დამოკიდებული იქნება მხოლოდ ჰაერის სვეტის საშუალო ტემპერატურაზე. ვინაიდან ტემპერატურის რეალური განაწილება სიმაღლის მიხედვით და შესაბამისად T_{saS} -ის მნიშვნელობა ყოველთვის განსხვავდება სტანდარტული ატმოსფეროს პირობებისაგან, ფორმულა (1) იძლევა შესაბამის ცდომილებას H -ის განსაზღვრისას.

ხელსაწყოს მეთოდური ცდომილების მნიშვნელობის შესაფასებლად ავიღოთ ლოგარითმული დიფერენციალი (1) ფორმულის მარჯვენა და მარცხენა მხარეებიდან, ამასთან

ჩავთვალოთ P_0 და P_H მნიშვნელობები მუდმივებად. მაშინ საბოლოოდ შეიძლება დავწეროთ:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta T_{saS}}{T_{saS}} \quad (2)$$

თუ ტროპოსფეროსა და ქვედა სტრატოსფეროსთვის სტანდარტულ ატმოსფეროში ჩავთვლით, რომ $T_{saS} = 250$ K, მაშინ (2) განტოლება შეიძლება წარმოვადგინოთ სახით

$$\frac{\Delta H}{H} = 0,4 T_{saS} \% \quad (3)$$

სადაც T_{saS} - ჰაერის სვეტის საშუალო ტემპერატურის სა მნიშვნელობიდან გადახრის მნიშვნელობა.

(3) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ ბარომეტრული სიმაღლის მზომით ფრენის სიმაღლის გაზომვისას მეთოდური ცდომილება არაა მუდმივი და იცვლება ფრენის სიმაღლის H და ჰაერის სვეტის საშუალო ტემპერატურის სა-

დან გადახრის მნიშვნელობათა მიხედვით. მართლაც, $\frac{\Delta H}{H}$ -ის გაზომვისას ფარდობითი

ცდომილება $\Delta T_{saS} = 2,5^\circ$ -ზე შეადგენს 1%, ხოლო $\Delta T_{saS} = 10^\circ$ -ზე ტოლია 4%-ის.

ცხრილი 1-ში წარმოდგენილია ბარომეტრული სიმაღლის მზომის აბსოლუტური მეთოდური ცდომილებები სხვადასხვა სიმაღლეებზე ფრენისას და მათი დამოკიდებულება ΔT_{saS} და ΔH -ის მნიშვნელობებზე.

$\Delta T_{საშ}$ მნიშვნე ლობა	$\Delta H, \%$ მნიშვნე ლობა	ფრენის სიმაღლე H, მ						
		900	1500	3000	5100	7200	9000	12000
1,0	0,4	4	6	12	20	29	36	48
2,5	1	9	15	30	51	72	90	120
5,0	2	18	30	60	102	144	180	240
10,0	4	36	60	120	204	288	360	480
15,0	6	54	90	180	306	432	540	720
20,0	8	72	120	240	408	576	720	960
25,0	10	90	150	300	310	720	900	1200

ცხრილი 1. ბარომეტრული სიმაღლის მზომის აბსოლუტური მეთოდური ცდომილებები

მონაცემთა ანალიზიდან ჩანს, რომ ფრენის სიმაღლის გაზომვებისას აბსოლუტური მეთოდური ცდომილებები დამოკიდებულია ფრენის ეშელონის სიმაღლეზე. 9 კმ ფრენის ეშელონზე და ზემოთ ცდომილებამ შეიძლება მიაღწიოს 900 მ და მეტს. ჩავწერთ ფორმულა (1) სტანდარტული და რეალური ატმოსფეროსათვის

$$H_{xe \parallel s} = R_{mS} \cdot T_{saS} \cdot \ln \frac{P_0}{P_H} \quad (4)$$

$$H_{WeS} = R_{mS} \cdot T_{saS,f} \cdot \ln \frac{P_0}{P_H} \quad (5)$$

სადაც H_{WeS} - სიმაღლე, რომელსაც აჩვენებს სიმაღლის მზომი;

$H_{ჰემ}$ - ჰემმარიტი ბარომეტრული სიმაღლე;

$T_{საშ}$ - ჰაერის სვეტის საშუალო ტემპერატურა სტანდარტულ ატმოსფეროში;

$T_{საშ,ფ}$ - ფაქტიური საშუალო ტემპერატურა. თუ გავყოფთ (5) განტოლებას (4)-ზე, მივიღებთ

$$H_{WeSm} = H_{xe \parallel s} \frac{\Delta T_{saS,f}}{\Delta T_{saS}} \quad (6)$$

(6) ფორმულის ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ

ა) წლის თბილ პერიოდში და აგრეთვე თბილ ჰაერის მასებში, როცა $T_{საშ,ფ} > T_{საშ}$, სიმაღლის მზომი აჩვენებს შემცირებულ სიმაღლეს ე. ი.

$H_{ჰემ} > H_{WeS}$;

ბ) წლის ცივ პერიოდში და ცივ ჰაერის მასებში, როცა $T_{საშ,ფ} < T_{საშ}$, სიმაღლის მზომი მაჩვენებლები აღემატებიან ფაქტიურ სიმაღლეებს. ე. ი. $H_{ჰემ} < H_{WeS}$.

ჰაერის სვეტისა და სტანდარტული ატმოსფეროს ტემპერატურათა განსხვავებების ანალიზის შედეგები თბილისის აეროპორტის რაიონში

სამუშაოს შესრულების პროცესში ჩვენს მიერ გამოთვლილი იქნა ჰაერის სვეტის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური ტემპერატურების გადახრები სტანდარტული ატმოსფეროს მიხედვით გამოთვლილი შესაბამისი მნიშვნელობებიდან. ამისათვის გამოვიყენეთ კლიმატური მონაცემები თბილისის აეროპორტის რაიონისათვის. ისინი მიეკუთვნებოდნენ წლის ცივ (იანვარი) და თბილ (ივლისი) პერიოდებს. გამოთვლების შედეგები მოყვანილია ცხრილ 2-ში, რომელთა ანალიზით მივედით შემდეგ დასკვნებამდე:

1. აბსოლუტური მნიშვნელობებით ტემპერატურათა გადახრებით სიმაღლის მიხედვით იცვლებიან შედარებით მცირე საზღვრებში; განსხვავებები მათ შორის შეადგენენ 2-5⁰, ამასთან ისინი

შედარებით მცირე სიდიდებით ხასიათდებიან ზამთრის პერიოდში.

2. ჰაერის სვეტის ტემპერატურათა მნიშვნელობების შორის განსხვავებები $T_{საშ.გ}$ და $T_{საშ}$ თბილისის აეროპორტის

რაიონის თავზე ზამთარში ყველა სიმაღლეებზე ფიქსირდება უარყოფითი ($-9,5^{\circ}$ -დან $-11,4^{\circ}$ -მდე), ე.ი. $T_{საშ.გ} < T_{საშ}$; ხოლო ზაფხულში დადებითი ($9,3^{\circ}$ -დან $13,5^{\circ}$ -მდე), ე. ი. $T_{საშ.გ} > T_{საშ}$.

სეზონი, თვე	ტემპერატურის მახასიათ.	სიმაღლე H, კმ					
		1	2	3	5	7	9
იანვარი	საშუალო	-11,4	-10,9	-9,9	-11,2	-9,1	-9,5
	მაქსიმალური	1,8	2,5	4,5	2,3	4,7	2,7
	მინიმალური	-25,7	-24,5	-25,3	-26,7	-22,8	-22,3
ივლისი	საშუალო	10,8	10,7	10,3	9,3	12,4	13,5
	მაქსიმალური	23,3	22,0	22,0	19,8	23,7	24,7
	მინიმალური	1,3	1,5	1,5	0,7	-0,3	-0,3

ცხრილი 2. $T_{საშ.გ}$ და $T_{საშ}$ ტემპერატურებს შორის განსხვავებები თბილისის აეროპორტის რაიონში

3. სხვადასხვა სიმაღლეებზე საშუალო ტემპერატურული გადახრის მნიშვნელობა არ აღემატება ზამთარში -12°C , ზაფხულში $+14^{\circ}\text{C}$, (ანუ $T_{საშ.გ} - T_{საშ}$ სხვაობის მნიშვნელობა);
 - მაქსიმალური ტემპერატურის მიხედვით ის იცვლება $+1^{\circ}\text{C}$ -დან $+5^{\circ}\text{C}$ -მდე ზამთარში და ზაფხულში $+19^{\circ}\text{C}$ -დან $+25^{\circ}\text{C}$ -მდე.
 - მინიმალური ტემპერატურის მიხედვით გადახრა ხასიათდება საზღვრებით ზამთარში -22°C -დან $+27^{\circ}\text{C}$ -მდე და ზაფხულში -2°C -დან $+2^{\circ}\text{C}$ -მდე.

ჰაერის საშუალო ტემპერატურის სტანდარტულიდან გადახრების შესაბამისად, რომლებიც აქ მოვიყვანეთ, ადგილი ექნება ბარომეტრული სიმაღლის მზომის მეთოდური შესწორების ცვლილებებსაც, რომელთა გამოთვლა პრობლემას არ წარმოადგენს.

ჰაერის ტენიანობის გავლენა თვითმფრინავის საფრენოსნო მახასიათებლებზე

განვიხილოთ ახლა ჰაერის ტენიანობის გავლენა თვითმფრინავის ასაფრენ-დასაფრენი ზოლიდან მოწყვეტის სიჩქარეზე (v_a), აფრენისწინა განარბენზე (L_a), დაფრენის სიჩქარესა ($v_{ფ}$) და დაფრენის შემდეგ განარბენზე ($L_{ფ}$).

მოწყვეტის სიჩქარეების შესადარებლად მშრალი და ნოტიო ჰაერის შემთხვევებისათვის, სათანადო გარდაქმნებით შეიძლება მივიღოთ ფორმულა

$$\frac{v_{m,not}}{v_{m,s}} = \sqrt{\frac{\rho_{m,s}}{\rho_{not}}}$$

ვინაიდან მუდმივი წნევის პირობებში ადგილი აქვს ტოლობას

$$\frac{\rho_{m,s}}{\rho_{not}} = \frac{T_3}{T}$$

ამიტომ შეიძლება დაწეროთ

$$\frac{L_{d.m.not}}{L_{d.m.S}} = \frac{T_3}{T} \quad (10)$$

$$\frac{v_{m.not}}{v_{m.S}} = \sqrt{\frac{T_{m.S}}{T_{not}}} \quad (7)$$

გამოთვლებმა გვაჩვენებს, რომ ჰაერის ტენიანობის გავლენით მოწყვეტის სიჩქარე შეიძლება გაიზარდოს 1,4 %-ით მშრალ ჰაერთან შედარებით სხვა უცვლელი პირობების შემთხვევაში.

მოწყვეტის სიჩქარის ცვლილებას, თავის მხრივ, იწვევს აფრენისწინა განარბენის L_a მნიშვნელოვან ცვლილებას. ვინაიდან v_a დამოკიდებულია ჰაერის ტენიანობაზე, ამიტომ L_a მნიშვნელობაც აგრეთვე დამოკიდებული უნდა იყოს მასზე. განარბენის სიგრძის დამოკიდებულება ვირტუალურ ტემპერატურაზე (7)-ის გათვალისწინებით შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგნაირად:

$$\frac{L_{am.not}}{L_{am.S}} = \frac{v_{m.not}}{v_{m.S}} = \frac{T_3}{T} \quad (8)$$

გამოთვლებმა გვაჩვენებს, რომ ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელობისათვის $+20^{\circ}\text{C}$ -დან $+40^{\circ}\text{C}$ -მდე და ფარდობითი ტენიანობისათვის 50%-დან 100%-მდე, სხვა თანაბარ პირობებში, განარბენის მნიშვნელობა ტენიანობის გამო იზრდება მშრალ ჰაერთან შედარებით 0,4% - 2,8% - ით. მაგალითად, თუ ბოინგ 737 ტიპის თვითმფრინავისათვის შესაბამისი ასაფრენი მასით, ფრთაუკანების 20° -ით გადახრისას აფრენისწინა განარბენი სტანდარტულ პირობებში შეადგენს 1270 მ და მხოლოდ ჰაერის ტენიანობის ცვლილების გამო $+40^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურისას ის შეიძლება გაიზარდოს 35-38 მეტრით. ჰაერის ტენიანობის გავლენით იცვლება თვითმფრინავის დაფრენის მახასიათებლებიც. დაფრენის სიჩქარისა და დაფრენის შემდეგი განარბენის მნიშვნელობების შესადარებლად მშრალი და ტენიანი ჰაერის პირობებში შეიძლება გამოვიყენოთ შესაბამისად შემდეგი თანაფარდობანი:

$$\frac{v_{d.m.not}}{v_{d.m.S}} = \sqrt{\frac{T_{m.S}}{T_{not}}} \quad (9)$$

(9), (10) ფორმულები ანალოგიურია (7), (8) ფორმულების. აქედან გამომდინარეობს, რომ ჰაერის ტენიანობის გავლენა ერთნაირია მოწყვეტისა და დაფრენის სიჩქარეებზე, ისევე როგორც აფრენისწინა და დაფრენის შემდეგ განარბენზე.

დასკვნა

ამრიგად, ჩატარებული კვლევების შედეგებზე დაყრდნობით შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნა:

1. ბარომეტრული სიმაღლის ზუსტი განსაზღვრისათვის ფრენის პროცესში ეკიპაჟს უნდა გააჩნდეს ინფორმაცია ჰაერის ტემპერატურის შესახებ მიწისპირას და ფრენის სიმაღლეზე. მიწისპირიდან ფრენის სიმაღლემდე ჰაერის სვეტის საშუალო ტემპერატურის 1°C -იან ცდომილებას მივყავართ სიმაღლის გაზომვისას 0,4% - იან ცდომილებამდე. ამ შემთხვევაში 5100 მ-იანი ეშელონისთვის ცდომილება იქნება 20 მეტრი, ხოლო 12000 მ ეშელონისთვის 48 მეტრი.
2. ჰაერის ტემპერატურის გაზომვის სიზუსტეზე დამოკიდებული ბარომეტრული სიმაღლის განსაზღვრის სიზუსტე და შესაბამისად, ფრენის უსაფრთხოებაც.
3. თვითმფრინავების ასაფრენ-დასაფრენი მახასიათებლების გამოთვლისას აუცილებლად უნდა იქნეს გათვალისწინებული ჰაერის სინოტივე, როცა მისი ფარდობითი ტენიანობა აღემატება 50%-ს, ხოლო ტემპერატურა აჭარბებს 25%-ს.
4. ჰაერის ტენიანობის გათვალისწინება ყველაზე ხელსაყრელია ვირტუალური ტემპერატურის გამოყენებით. ეს საშუალებას იძლევა გამოთვლებში გამოვიყენოთ ფორმულები, გრაფიკები და ცხრილური მონაცემები მშრალი ჰაერისათვის, რომლებიც რეკომენდებულია თვითმფრინავების

საფრენოსნო ექსპლუატაციის სახელმძღვანელოებში და ამ დროს შეიცვალოს მხოლოდ ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელობა ვირტუალური ტემპერატურით.

ლიტერატურა

1. А.А.Апхаидзе, Влияние температуры воздуха на показания барометрического высотомера «Воздушный транспорт», Тбилиси, 2013. с. 8-13.
2. А.М. Баранов. облака и безопасность полётов. Л. Гидрометеориздат. 1983. с.231.
3. А.М. Баранов, С. С. Солонин, Авиационная метеорология. Л. Гидрометеориздат. 1975. с. 223.
4. Л.Т. Матвеев, Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометеориздат. 1976. с. 318.
5. О.И. Михайлов. И.М. Козлов, Ф.С. Гергель, Авиационные приборы. М. «Машиностроение». 1977. с. 9-25.
6. В.И. Осадший, Г.А. Чернышев, Воздушная навигация. М. «Транспорт». 1969. с. 203-213.

Influence of air temperature and humidity on aircraft flight performance

Abstract

The article considers the influence of changes in the values of atmospheric pressure, humidity and air temperature in the values of aircraft take-off and landing characteristics. The deviation of average air temperature from the normative atmospheric value in the territorial part of Tbilisi International Airport by flight echelons and seasons are analyses on the basis of climatic data.