

Milli Aviasiya Akademiyası



ISSN 1811-7341

ELMI MƏCMUƏ

Cild 27, №1, 2025



National Aviation Academy

SCIENTIFIC JOURNAL

Volume 27, №1, 2025

AVIASIYA VƏ RAKET-KOSMİK TEXNİKASI

UOT 623.746.-519

DOI:10.30546/EMNAA.2025.27.01.101

PİLOTSUZ UÇUŞ APARATLARI İLƏ ELEKTRON-OPTİK MÜŞAHİDƏNİN APARILMASI VƏ TƏTBİQ İMKANLARININ OPTİMALLAŞDIRILMASI

Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A.
Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə axtarış və xilasetmə, eləcə də strateji obyektlərin müşahidəsi istiqamətində qarşıya qoyulmuş tapşırıqların müvəffəqiyyətlə həyata keçirilməsində **pilotsuz uçuş aparatlarından** (PUA) istifadə şərtləri və tətbiqi nəticəsində alınmış məlumatların təhlili aparılmışdır. Fövqəladə hallar zamanı çevik davranmaq, heyətin fəaliyyəti, həmçinin yerləşmə mövqelərinin təyin edilməsində qabaqcıl texnologiyaların tətbiqinin əhəmiyyəti əsaslandırılmış və PUA-dan istifadənin vacibliyi vurğulanaraq önə çəkilmişdir. Burada cari əməliyyat tapşırığına əsasən texnoloji yeniliklərin tətbiqi ilə PUA-dan mürəkkəb və çətin şəraitlərdə necə işlədiyi araşdırılmışdır.

Hazırda mövcud olan multirotasiya, planer və VTOL əsaslı çəki və ölçüyə görə nano, mikro və mini kiçik, orta və böyük ölçülü dron, planer və VTOL əsaslı PUA-dan bir çox beynəlxalq və lokal axtarış-xilasetmə, eləcə də digər xüsusi tapşırıqların icrası zamanı qüvvə və vasitələrin kompleks tətbiqinin rəqəmsallaşdırılması, prosesin süni intellektlə həllinə inteqrasiyası üçün əsas və köməkçi element olaraq istifadə edilməsi qeyd edilmişdir.

PUA ilə axtarış və xilasetmə əməliyyatları zamanı PUA marşrutu və müşahidə alqoritminin düzgün planlaşdırılması hesabına elektron-optik müşahidənin aparılması və tətbiq imkanları optimallaşdırılması “sağ qalma”, “kütə”, “sürü” və s. yanaşmalar üzərində tədqiq edilmişdir. Əməliyyatın planlaması zamanı PUA ilə aparılan müşahidənin optimallaşdırılması üçün nəzərə alınması vacib olan meyarlar müəyyən edilmiş və əsaslandırılmışdır.

Həmçinin, məqalədə havadan kəşfiyyat və axtarış-xilasetmə tapşırıqlarının icrasında, uçuş məhdudiyyətləri daxilində tələb olunan nöqtəyə tibbi yardım məqsədi ilə dərman və zəruri ləvazimatların çatdırılmasında, eləcə də fəvqəladə hallarda ərazinin monitorinqində PUA-dan geniş sferada istifadə olunduğu müəyyənləşdirilmişdir.

Açar sözlər: VTOL, pilotsuz uçuş aparatı, bort nəzarət-ölçü sistemi, ətalətli ölçü modulu, akselerometr, giroskop, RPM.

Giriş. İnsan müşahidəsinin mümkün olmadığı və yaxud çətin olduğu hallarda ərazinin məsafədən idarə edilən PUA quraşdırılan elektron-optik faydalı yük (FY) vasitəsi ilə nəzarətdə saxlanması və bu videogörüntünün uzaq məsafəyə ötürülmə imkanı bu tip uçuş aparatlarına böyük üstünlüklər qazandırmışdır [1-3].

İnformasiya qəbulu, emalı və ötürülməsi, eləcə də rəqəmsal və süni intellekt texnologiyalarının inkişafı təsvirin keyfiyyətini, ötürmə sürətini və həcmi əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırmağa və onların daha uzaq məsafələrə ötürülməsinə gətirib çıxarmışdır.

Bununla belə, rəqəmsal texnologiyaların öz çatışmazlıqları var ki, bu da onların kəşfiyyat və müşahidə sistemlərində istifadəsinin effektivliyinə təsir göstərir.

PUA-da yerləşdirilən elektron-optik sistemlərdən əsasən aşağıda qeyd olunan məqsədlər üçün istifadə olunur:

-maraq doğuran ərazidə əməliyyat şəraitinə nəzarət etmək üçün havadan elektron-optik kəşfiyyatın (müşahidənin) aparılması və görüntülərin canlı olaraq idarəetmə mərkəzinə ötürülməsi;

-maraq dairəsinə düşən obyekt və yaxud ərazinin, eləcə də patrul-nəzarət uçuşu aparılan ərazi, sahə və obyektlərin detallı videogörüntülərinin əldə edilməsi;

-ərazidə yerləşən və insan gözü vasitəsi ilə vizual müşahidəsi mümkün olmayan obyektlərin foto və yaxud video təsvirlərinin əldə edilməsi, hədəfə qədər olan məsafənin ölçülməsi, lazer yönəltmənin (ışığılandırmanın) təmin edilməsi məqsədləri üçün.

Texniki cəhətdən elektron-optik FY-lər ya vahid sistem şəklində bilavasitə uçuş aparatının korpusuna öz konstruksiyası vasitəsi ilə, ya da girokopik stabilizasiyalı (girostabil) tənzimlənən platforma vasitəsilə bərkidilir. Hansı ki, bu girostabil sistem elektron-optik FY-ü verilən sürətlə istənilən tərəfə dönməsini və idarəedilməsini təmin edir. Uçuş aparatının konstruksiyası ilə FY-ün y oxu aralarında stabilizasiyalı möhkəm əlaqə və 360⁰ dönmək imkanının olması dayanıqlı və keyfiyyətli yüksək ayırdetməli foto və video görüntülərin əldə edilməsinə zəmin yaradır [4-6].

Fotoaparat və elektron-optik qurğulardan əsasən məsafədən uçuş aparatının ön və ya digər ətrafların görüntüsünün əldə edilməsində istifadə olunur. Bu məqsədlə uçuş planlanan zaman meteoroloji məhdudiyətlərlə yanaşı, uçuş hündürlüyü, havanın nəmliyi, görünüş bucağı və azimutu nəzərə alınmalıdır. Həmçinin ilin fəslindən asılı olaraq çəkiliş vaxtı günəşin düşmə bucağı və FY-ün uçuş aparatının təkərləri istiqamətində fırlanması ciddi nəzarətdə saxlanılmalıdır [7, 8].

Optik qurğuların tətbiqi bir çox məsələlərin həllinə imkan verir. Məlumdur ki, hədəfə qədər olan məsafə və müşahidə olunan ərazinin əldə olunan görüntüsünün keyfiyyətindən (yüksək ayırdetmə) asılı olaraq bu tip cihazların çəkisi və qiyməti yüksəlmiş olur. Keyfiyyətli nəticənin əldə olunması üçün havada çəkiliş müddətində uçuş aparatının vəziyyətinin stabilizasiyası üçün sət texniki tələblər ödənilməlidir. Stabilizasiya olmayan optik sistemlər hədəfin “nişana” alınmaqla izlənməsi və müşahidə olunması rejimini aşağı səviyyədə dəstəkləyir. Bu rejimi tətbiq etməyə cəhd etdikdə isə bir çox məhdudiyətlər və çətinliklər əmələ gəlir. Girostabilizasiya edilmiş platformalarda yerləşdirilən optik qurğular daha əlverişlidir. Bu tip qurğuların tətbiqi üzrə mütəxəssislər tərəfindən praktikada kifayət qədər təcrübə toplanmışdır [9, 10].

Girostabilizasiya edilmiş platformalı optik qurğular uçuş zamanı stasionar və hərəkətdə olan seçilmiş hədəfin izlənməsini təmin edir. Gündüz (TV), termal və infraqırmızı (İQ) kameranın bir platformaya inteqrasiyası yüksək informasiya tutumlu görüntünün əldə edilməsinə səbəb olur. Bu da əldə edilmiş video və foto formatda görüntünün emal olunmasını, analoq və yaxud rəqəmsal signal formasına çevrilməsini təmin edir. Həmçinin girostabil platformada olan lazer-məsafəölçən texnologiyası vasitəsi ilə hədəfin koordinatlarının dəqiq təyin edilməsi imkanını yaradır. Elektron-optik FY əlavə olaraq lazer generatoru (enerji mənbəyi) hesabına lazerə istiqamətlənən raket və bombaları yönəltmək üçün lazeryönəldici ilə kompleksləşərsə bu onun çəkisini, dəyərini və səmərəliliyini yüksəldir [11].

İşin məqsədi. PUA ilə elektron-optik müşahidənin aparılmasının optimallaşdırılması.

Elektron-optik sistemlərin ayırdetmə imkanları. Rəqəmsal elektron-optik sistemin ayırdetmə imkanı dedikdə bu sistemin obyektivindən verilmiş məsafədə yerləşən obyektlərin əldə edilmiş təsvirlərinin detallıq səviyyəsini formalaşdırmaq imkanı başa düşülür. Elektron-optik sistemlərin ayırdetmə imkanını təyin edən əsas faktor obyektivdən sonra alınan görüntünü proyeksiyalayan CCD (*charge-coupled device*-) matrisidir [12, 13].

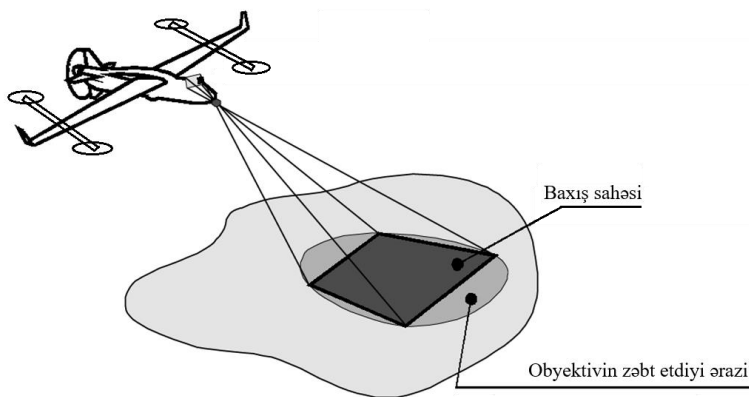
Görüntü məlumatlarının mənbəyi yer səthi və ya hava fəzasıdır. Obyektivin görmə sahəsinin bucağı informasiyanın həcmi müəyyənəndir. Yer səthində və ya hava fəzasından çəkilən və qurğunun həllolma əmsalına güclü təsir göstərir. Nəzərə almaq lazımdır ki, ekrana verilən görüntü baxılan ərazi sahəsinin fiziki tərkibindən, rəngindən, eləcə də yer səthində olan obyektlərin ekran görüntüsü ilə real xətt ölçüləri arasındakı fərqdən asılı olaraq dəyişir. Şəkil 1-də elektron-optik sistemin obyektivi ilə formalaşdırılan baxış sahəsi göstərilmişdir. Baxış sahəsinin ölçüləri PUA-nın uçuş hündürlüyündən, obyektivin görüntü bucağından və obyektivin optik oxunun əyilmə bucağından asılıdır [14].

Şəkil 1-dən görünür ki, baxılan sahənin forması fiziki olaraq trapesiyaya yaxın həndəsi formadadır. Hesablamalarda ilk yanaşmada əlaqənin azlığı ehtimalını istifadə etmək olar.

$$\delta = \frac{l}{R_{yer}} \gg 0.0003 \quad (1)$$

Burada, l – baxılan ərazinin ən böyük xətti ölçüsünə bərabər uzunluğudur, R_{yer} – yerin orta radiusudur. Yer səthinin maili olması səbəbindən hesablamalar zamanı orada olan əyrilər (dağ-dərə) müstəvi olaraq götürülür. Belə ki, elektron-optik sistemin tətbiqinin effektivliyinə Yer səthinin real görünüşünün müstəvi düz səth quruluşunda olmaması güclü təsir göstərir. PUA-da olan elektron-optik FY konkret funksiyaları yerinə yetirmək üçün təyinatlidir. Bu səbəbdən elektron-optik FY-lərin dəyərləndirilməsi PUA tətbiqi ilə tipik obyektlərin tapılması, izlənməsi və alınmış görüntünün ayırdetmə qabiliyyətinin ölçüsü və s. imkanlara əsasən hesablanır [15, 16].

PUA-ya quraşdırılmış elektron-optik sistemin imkanlarından asılı olaraq tələb olunan uçuş hündürlüyünü müəyyən etməyə imkan verən əsas parametrlərdən biri doldurma əmsalıdır (şəkil 2).



Şəkil 1. Elektron-optik sistemin obyektivi ilə formalaşdırılan baxış sahəsi

$$K_{doldurma} = \frac{F_{hədəf}}{F} \quad (2)$$

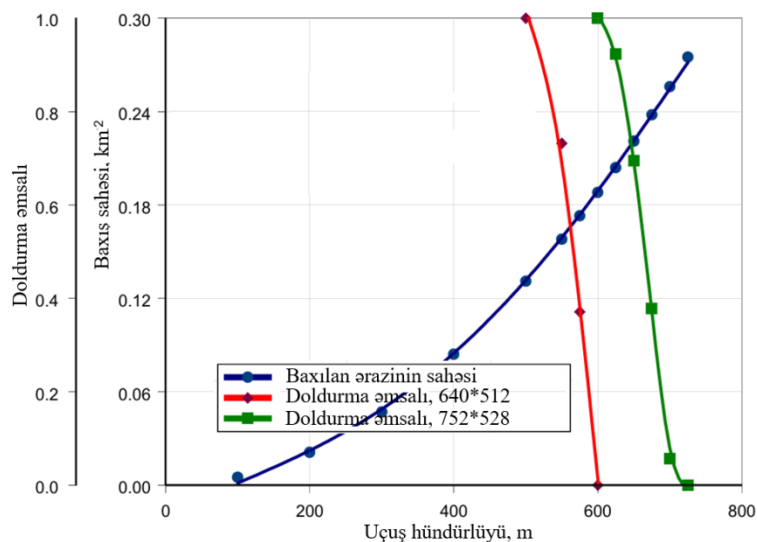
$F_{hədəf}$ – hədəf görünən ərazinin sahəsi, F – baxış (müşahidə) ərazisinin sahəsi.

Seçilmiş obyektin (hədəfin) müşahidə monitorunda görünməsi və izlənməsi üçün tələb olunan baxış sahəsinə neçə dəfə böyüdülməsini göstərən kəmiyyətə doldurma əmsalı deyilir.

CCD matrisinin ölçüsü

elektron-optik cihaz vasitəsi ilə əldə olunan görüntünün ayırdetmə təsvirinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Belə ki, CCD matrisinin ölçüsü optik lindən gələn təsvirin seçilmə səviyyəsini müəyyənəndirir. Matrisin ölçüsü nə qədər böyük olsa, seçim səviyyəsi və sistem ekranındakı

təsvirin detalları bir o qədər yüksək olacaq. Linzanın optik ayırdetmə imkanına yaxın yeni rəqəmsal elektron-optik sistemin ayırdedilmə təsvirini əldə etmək üçün ya çox böyük ölçülü CCD matrisinə malik olmaq, ya da baxış sahəsinin bucağını azaltmaq lazımdır. Rəqəmsal elektron-optik sistemin ayırdetmə imkanı (linza - CCD matrisə - ekran) təsvirin ekranda böyüdülmə imkanından asılı olaraq bir qrup parametrlərə əsasən müəyyən edilir.



Şəkil 2. Doldurma əmsalının uçuş hündürlüyündən asılılıq qrafiki

$$R^- = f(L, \beta, \gamma, \varphi, M) \quad (3)$$

Burada: L – yer səthində olan nöqtəyə əyilmiş (maili) uzaqlıq, (β, γ, φ) - baxılan nöqtənin optik oxdan sağa-sola, yuxarı-aşağı bucaq dəyişməsi və normal koordinat sistemində optik oxun əyilmə bucağı, M – CCD matrisinin ölçüsüdür.

Rəqəmsal elektron-optik sistemin ayırdetmə qabiliyyətini qiymətləndirmək üçün PUA vasitəsi ilə axtarış üçün xarakterik olan obyektlərin təsvirlərindən istifadə edə bilərsiniz.

Elektron-optik sistemin ayırdetmə imkanlarının nümayişini “İnsan” obyektinin misalında insanın uyğun qrafik proyektini nəzərdən keçirmək mümkündür. Proyeksiyanın ölçüləri matrisinin proyeksiyasına uyğunlaşdırılmış və uyğun səth kimi göstərilmişdir. Proyeksiyanın ölçüsündən asılı olaraq element “piksel” (nöqtə) sayına görə CCD matrisinin millimetr, santimetr və metr ölçülərinə malik ola bilər. Bu səbəbdən görüntüdə “İnsan” hədəfini maksimum yaxınlaşdırdıqda ayırdetmə imkanına uyğun nöqtə sayı qədər görmək mümkün olur [14].

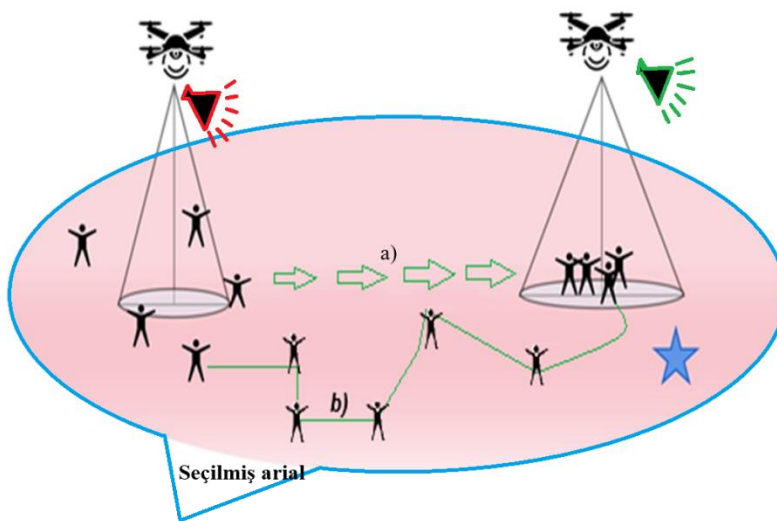
Təhlükəsizlik işinin təşkilində PUA ilə müşahidə. Təbii fəlakətlər, fəvqəladə hallar və axtarış-xilasetmə tapşırıqlarının icrası zamanı vaxt amili mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Xilasetmə əməliyyatları zamanı PUA-lardan istifadə axtarışın (müşahidənin) səmərəliliyini və təhlükəsizlik dərəcəsini artırır, eləcə də xilasetmə müddətini azaldır.

Axtarış və xilasetmə əməliyyatları zamanı əsas yanaşma PUA marşrutunun və müşahidə alqoritminin düzgün planlaşdırılmasıdır. Praktikada bəzən bu məqsədlər üçün sağ qalma, kütlə, sürü və s. prinsiplərdən istifadə edilə bilər.

Kütlə ssenarisində biz obyektləri sadəcə iki növə ayıra bilərik: dronlar və şagirdlər. Bu halda dronlar qışqırmaq, yönləndirmək, işıqfor və s. fəaliyyətlər ilə kütləni təyinat yerinə istiqamətləndirir. Nəzarətçi dron bütün proses boyu kütlənin davranışına nəzarət edir və planlaşdırılmış marşrut ilə hərəkətini təmin edir. Avtonom yönləndirmə üçün PUA-lar tədricən nəzarətçi moderatorların yerini alır [12].

Ekstrimal yollarda və təhlükəli vəziyyətlərdə zərər görə biləcək şagirdlərin olmaması üçün marşrutun planlaşdırılması çərçivəsində və ehtimal olunan xilasətmə proseslərində PUA-lardan istifadə nəzərdə tutulur. Bu problemləri həll etmək üçün PUA-lardan “irəli-geri” və yaxud “saga-sola” istiqamətlənib uçmaqla “səmtləmə” hərəkətlərini, havada yerində asılma rejimində dayanmaqla “dur” komandasını təkrarlamaqla yönləndirmə, davranış imkanlarından istifadə edilməsi təklif edilir (şəkil 3) [17-20].

Belə ki, ekstrimal hallar üçün şagirdlər misalında oxşar hərəkəti modelləşdirməklə təxliyyə



Şəkil 3. Dron vasitəsi ilə xilasətmə ssenariləri

nöqtəsini və ya təhlükəsiz zonanı açıq sahə kimi nəzərdən keçirməklə iki problemi eyniləşdirə bilərik. Təhlükəsiz zonaya gedən marşrutu planlaşdırarkən xilas edilməli olan hədəflərin müşahidəsini və müşahidətmə problemini hədəf dinamikasının monitorinqi ilə təxliyyə və xilasətməni balanslaşdıran problemə çevirməklə həllinə çalışılmışdır (Şəkil 3 a marşrutu).

Süni intellekt proqram modelindən istifadə etməklə Reynolds qaydasına əsaslanan insan kütləsinin dina-

mikasının tənliklərini təsvir etmək mümkündür. Bu, qaydadan fəlakət qurbanlarının modelləşdirilməsində istifadə edilə bilər.

$N_d^-, N_L^-, N_r^-, N_i^-, N_e^-$ vahid vektorlar səsli dron vasitəsi ilə şagirdlərin toplaşma məntəqəsinə doğru təsir qüvvəsini xarakterizə edir. Belə ki, bu zaman ərazidə olan digər şagirdlərin mərkəzə doğru r_a təsir qüvvəsi, yerdə qalan şagirdlərin digərlərinə nəzərən inersiyalı hərəkət qüvvəsi və şagirdlərin hərəkətinin səs-küy elementidir. Daha sonra şagirdlərin hərəkət istiqaməti vektoru N^- müəyyən edilir:

$$N^- = \mu_d N_d^- + \mu_L N_L^- + \mu_r N_r^- + \mu_i N_i^- + \mu_e N_e^- \quad (4)$$

Burada $\mu_d, \mu_L, \mu_r, \mu_i, \mu_e$ çəki sabitləridir.

Fövqəladə hallarda kütlənin qrup davranışı dörd əsas prinsipə əsaslanır:

- toqquşmadan çəkəndirmək;
- sürətin yaxınlıqdakı digər üzvlərlə uzlaşması;
- yaxınlıqdakı üzvlərin mərkəzə yaxın olmaq istəyi;
- təhlükədən yayındırılması.

PUA, məktəbli və toplaşma yeri arasındakı məsafəni ən qısa müddətdə minimuma endirmək üçün mövqe təyin edir. Hədəf olan məktəbliləri genişləndirilmiş ərazinin sərhədi boyunca bu sahənin mərkəzi

istiqamətində təyin olunmuş nöqtələrə yönəltmək üçün PUA və yaxud PUA-lar üçün optimal mövqelər seçilir. Bu nöqtələr müvafiq genişləndirilmiş ərazidə şagirdlərin səmərəli şəkildə toplandığı və PUA-lar tərəfindən müşahidə edilə biləcəyi yönləndirmə nöqtələri adlanır.

İkinci mərhələdə, müşahidə altında olan şagirdləri təyin olunmuş ərazilərə istiqamətləndirmək üçün akustik yayım sistemi ilə konfigurasiya edilmiş səsli komandalar səsləndirən PUA-dan, həmçinin PUA-nın hərəkət komandalarından istifadə olunur. Bu məqsədlə axtarış və xilasetmə tapşırıqları üçün çoxməqsədli optimallaşdırmaya əsaslanan marşrut planlama algoritmi təqdim edilə bilər (Şəkil 3 b).

Tədqiqat tapşırığının planlaması bir neçə səviyyəyə bölünür: hədəfi tapmaq və bu məqsədə çatmaq üçün vaxtı minimuma endirmək şərti ilə kommunikasiya yolunu qurmaqla optimal marşrutu əldə etmək. Burada PUA vasitəsi ilə hədəfə qədər optimal əlaqə yolu yaradılır və yerüstü heyətin xilasedilmə işini yerinə yetirmək üçün uçuş aparatı əməliyyat sahəsinə yönləndirilir. Axtarış və xilasetmə tapşırıqları zamanı səmərəli ola bilən müşahidənin əhatə dairəsi və ya dəstəklənən mümkün kommunikasiya əlaqəsinə uyğun məsafədə tənzimləmə bilən alqoritmlər innovativ şəkildə təklif edilə bilər. Bu tədqiqat işi qurulacaq alqoritmin mümkünlüyünü sübut edir [12, 21-24].

Dənizdə və yaxud sahil sularında baş verən fəvqəladə hallarda monitoring və axtarış-xilasetmə zamanı müşahidənin təşkili yuxarıda qeyd olunan fəaliyyət modelinə uyğun olaraq aparılır. Bu zaman böyük bir ərazidə axtarış zamanı dəyişiklikləri müəyyən etməkdən ötrü PUA resurslarının sərfiyyatını əhəmiyyətli dərəcədə azaltmaq üçün ərazinin dəqiq perimetrlerini müəyyənləşdirmək tələb olunur. Tədqiqatın optimallaşdırılması müəyyən nəticələrin əldə edilməsinə imkan verir ki, bu da PUA-ların axtarış və xilasetmə əsaslı müşahidə tapşırıqlarının həlli zamanı mühüm əhəmiyyət daşıyır.

PUA-ların tətbiqi ilə dənizdə axtarış-xilasetmə və nəzarət-müşahidə tapşırıqlarının icrası sahələ yaxın aparılıqda, PUA-nın sahildən yerləşən yerüstü idarəetmə stansiyası ilə operatoru tərəfindən idarə etməsi təklif olunur. Dəniz sularında üzən gəmilərdə qeyd olunan tapşırıqların icrası zamanı dronlardan istifadə etmək effektiv olmur (gəminin üzməsi səbəbindən dronun evə qayıtması zamanı qalxış koordinatlarının dəyişməsi, fəvqəladə enmə tələb olunduqda ehtiyat meydançanın olmaması, açıq dənizdə küləyin ani şiddətinin və havanın nəmliyinin yüksək olması və s.).

Dənizdə sürətli və effektiv axtarış-xilasetmə əməliyyatlarının mühüm əhəmiyyət kəsb etdiyi üçün gəmilərdə bazalanan VTOL tipli PUA-lardan istifadə yüksək effektivlik göstərmişdir. Belə ki, dənizdə qalxma-enmə zolağı tələb etməyən, hibrid enerji sistemlərinə sahib VTOL tipli PUA-lardan neft-qaz platformaları və boru kəmərlərinə nəzarət, sərhəd təhlükəsizliyi, qaçaqmalçılığın aşkar edilməsi və qarşısının alınması və s. tapşırıqların icrası zamanı istifadə etməyin məqsədəuyğunluğu sübuta yetirilmişdir [25].

Həmçinin, yüksək əhəmiyyətli koordinasiya olunan əməliyyatların idarə edilməsində və çevik qərarların qəbulunda PUA-ların real vaxt rejimində məlumat ötürmək imkanlarından və elektron-optik cihaz vasitəsi ilə vizual müşahidə nəticəsində əldə olunan məlumatlardan geniş istifadə edilir. Belə ki, hüquq mühafizə orqanları xüsusi tapşırıqların, həlli tələb olunan əməliyyat fəaliyyətlərinin müşahidəsi, şübhəli şəxslərin və hərəkətlərin izlənməsi, ictimai asayişin qorunması və təcili yardımın təmin edilməsini tələb edən oxşar problemlərin həllində PUA-ların tətbiqinin qaçılmazlığı sübut edilir.

Hüquq-mühafizə orqanlarının tapşırıqlarının həlli zamanı cəld və çevik reaksiyanın verilməsi üçün əməliyyat rayonundan real vaxt rejimində məlumatlar ilə təmin olunmada geniş müşahidə əhatəsini tələb edən canlı müşahidənin aparılması tələb olunur. Bu zaman tətbiq edilən PUA-nın müşahidə və kəşfiyyat imkanlarından asılı olaraq əməliyyat rayonunun və yaxud müşahidə sektorunun ölçüsü daxilində dinamik müşahidənin optimallaşdırılmasına nail olmaq üçün nəzarət altında olan ərazinin sektorlama sxeminin hazırlanması təklif edilir.

Maraq doğuran marşrut üzrə əhatəli axtarış və nəzarəti həyata keçirmək üçün ehtiyaca uyğun sayda əraziyə PUA-lar yerləşdirilir. Şəhər daxili əməliyyat fəaliyyətləri zamanı PUA-lar vasitəsi ilə göstərilən nəzarət-müşahidə imkanları ilə yanaşı, magistral yollarda baş verən hadisələrin patrul nəzarətinin həyata keçirilməsində PUA-lardan geniş istifadə edilir. Belə ki, havadan dəstəyin verilməsi, məlumatlandırma, qəzaların təhlili məqsədi ilə PUA ilə əldə edilmiş görüntünün zamana görə geri çevirmək imkanı və s. onlara olan ehtiyacı daha da artırır [12, 26].

Dronların tətbiq imkanlarının onların uçuş müddəti, uçuş sürəti və elektron-optik kameranın funksional imkanları ilə düz mütənasib olması səbəbindən hərəkətdə olan hədəflərə PUA vasitəsi ilə nəzarət etmək məsələsinin həllində müxtəlif yanaşmalar mövcuddur. Bu zaman çəki və ölçüyə nəzərən mikro və daha yüksək təsnifatlanmalı planer və VTOL tipli PUA-lardan istifadə yüksək hündürlükdə uçmaqla daha böyük ərazini müşahidə altında saxlamağa imkan verir. Elektron-optik imkanlara sahib (hədəfi nişana almaqla izləmə, lazer məsafə ölçməli, gündüz-gecə və termal kameralı, lazer tuşlamalı) FY-dən istifadə etməklə məqsədə çatmaq mümkündür. Həmçinin yüksək hündürlüklərdən müşahidə aparmaqla vizual və akustik aşkarlanma (gizlilik) ehtimalının azaldılması üstünlüklərinə sahib olmaq olar.

Xüsusi tapşırıqların yerinə yetirilməsi zamanı gizliliyin və məxfiliyin qorunması üçün tapşırıqın uğurla yekunlaşmasında PUA-dan istifadə böyük əhəmiyyət daşıyır. PUA ilə hədəf arasındakı müşahidə bucağını və məsafəni mümkün qədər tez-tez və kəskin şəkildə dəyişməklə gizli müşahidə alqoritmini tətbiq etmək təklif edilir. Bu zaman PUA hədəf ilə məqbul məsafədə, yəni hədəf onu gözü ilə axtarıqda belə aşkar edə bilməyəcək həddə idarə edilir. Həmçinin PUA-nı hədəf üzərində saxlamaq və yaxud "kilidlənmə" uçuş rejimində optimal hündürlükdə dövr etdirməklə dinamik yanaşma ilə keyfiyyətli müşahidəni təmin etmək mümkündür [27-29].

PUA ilə icra olunan müşahidə fəaliyyətinin təşkilində vacib olan təkmilləşdirmə işləri.

Əksər vaxtlarda PUA-lar vasitəsi ilə xüsusi tapşırıqların icrası, strateji obyektlərin müşahidəsi, fəvqəladə hallarda axtarış-xilasetmə və monitoring fəaliyyətləri sadə meteoroloji şəraitlərdə və müşahidə üçün əlverişli mühitlərdə aparılır. Şəhər, dəniz, mürəkkəb relyefə sahib (dağlıq) ərazilərdə və digər əməliyyat şəraitlərində müşahidənin aparılması üçün daha dayanıqlı texniki göstəricilərə və uçuş təhlükəsizliyinə sahib PUA-lardan istifadə zərurəti yaranır.

Mürəkkəb mühitlərdə avtonomluğun, naviqasiya və etibarlı rabitə əlaqəsinin yaradılması üçün əlavə infrastruktur tələb olunur. Əməliyyatın planlaması və yaxud böhran vəziyyəti zamanı (PUA-ların enerji resursu məhdudluğu, qapalı və açıq şəraitlərdə, eləcə də radioelektron mübarizə mühitində havada dayanıqlı naviqasiya və rabitə çatışmazlıqları, vizual müşahidə üçün görünüş diapazonu və hədəfə lazer tuşlama) PUA-nın tətbiqi ilə tapşırıqların icrası yüksək analitik hesablamaların aparılmasını tələb edir. Bu problemləri həll etmək üçün daha yüksək taktiki-texniki və uçuş-texniki xüsusiyyətlərə malik, mükəmməl uçuş idarəetmə sistemində və idarəetmə alqoritmlərinə sahib PUA və yaxud drondan istifadə etmək təklif edilir. PUA-larda enerji mənbəyi qismində istifadə olunan akkumulyator batareyalarının enerji tutumu və uçuş vaxtı limitləri əsas

məhdudiyətlərdir [8-10].

Ümumilikdə, axtarış və xilasetmə, monitoring, eləcə də strateji obyektlərin müşahidə məqsədləri üçün PUA-ya qoyulan tapşırıqların əhatə dairəsini, əməliyyatın davamlı olaraq icrası, fəvqəladə hallarda sistemlərin tətbiqi ilə üstün imkanlar əldə etmək, PUA sistemlərinin dözümlülük və möhkəmliyi, həmçinin sistemin gələcək perspektivdə inkişaf edərək genişlənmə potensialına diqqət yetirməyə ehtiyac vardır.

Nəticə

Əməliyyatın planlaması zamanı PUA ilə aparılan müşahidənin optimallaşdırılması üçün nəzərə alınması vacib olan meyarlar:

- enerji resursu məhdudiyəti;
- səthi əksətdirmə əmsalı göstəricisi;
- rəngi;
- ayrılan səs effekti;
- gizlilik dərəcəsi;
- radioelektron mübarizə mühitində havada dayanıqlı naviqasiya və rabitə çatışmazlıqlarının nəzərə alınması;
- vizual müşahidə üçün görünüş diapazonu;
- müşahidə zamanı elektron-optik kameradan əldə olunan görüntünün ayırdetmə keyfiyyətini mümkün olan texniki göstəricilərin maksimumu səviyyəsində əldə etmək üçün ilin fəsili, günün əməliyyat saati, nəmlik və digər meteoroloji göstəricilər;
- koordinatı məlum olan hədəf üzərində və yaxud qeyri müəyyən fəaliyyətin aparılması.

ƏDƏBİYYAT

1. R.N. Nabiyev, G.I. Garayev and A.A. Abdullayev. Conceptual functional design of hybrid energy source of unmanned convertiplane. -*Proceedings of the IOP Conference Series: Conference Scopus. -Materials Science and Engineering.* -862, 022043, -2020, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/2/022043>
2. R.N. Nabiyev, A.A. Abdullayev and G.İ. Garayev. Structural drafting of convertiplane-type unmanned aerial vehicle. -*Norwegian Journal of development of the International Science*, -№94, -2022, -p. 45-51, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7198424>
3. R.N. Nabiyev, A.A. Abdullayev and G.İ. Garayev. (2024) On-board control-measurement system for micro convertiplane-type unmanned aerial vehicles. -*Eurasian Physical Technical Journal.* -21, 2(48), -61-69. <https://doi.org/10.31489/2024No2/61-69>
4. A.A. Abdullayev. VTOL mikro PUA-nın uçuşunun müxtəlif uçuş rejimlərində bort nəzarət- ölçü sistemi ilə tədqiqi. -*International Conference on Artificial intelligence: from theory (AICON-2024)*, -17-18 sentember, -2024, -Nakhchvan, -Azerbijan. -s.271-277. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14031849>
5. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2024) - E3S Web of Conf. -Volume 592, -06024 (2024), DOI: 10.1051/e3sconf/202459206024
6. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А., Гараев Г.И., Аббасов В.А. Определение центра

- тяжести беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа // -Известия ЮФУ-Технические науки, -№ 5 (229), -2022, -с.258-268. DOI: 10.18522/2311-3103-2022-5-258-268.
7. Набиев Р.Н., Гараев Г.И., Абдуллаев А.А., Аббасов В.А. Требования к беспилотным летательным аппаратам на мультиротационной основе. -Авиакосмическое приборостроение, -Москва, -2018 г. -№ 9, -с. 3-11, DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2018. 166.
 8. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А., Гараев Г.И. Сравнительный анализ особенностей аккумуляторных батарей на основе лития. -Авиакосмическое приборостроение, -Москва, -№ 9. -2019, -с. 42-55. DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2019.867.
 9. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А., Гараев Г.И. Анализ особенностей водорода в качестве источника энергии. -Авиакосмическое приборостроение, -Москва, -2021 г. -№ 3. -с. 41-58. DOI: 10.25791/aviakosmos.3.2021.1211.
 10. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А., Гараев Г.И. Разработка концептуальной функциональной схемы беспилотного конвертоплана с гибридным источником энергии. -Авиакосмическое приборостроение, -Москва, -№5. -2021, -с. 03-18 DOI: 10.25791/aviakosmos. 5.2021.1217.
 11. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А. Исследование основных аэродинамических параметров планера беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа // -Авиакосмическое приборостроение, -Москва, -2022г. -№ 4. -с.17-33. DOI:10.25791/aviakosmos. 4.2022.1274.
 12. Fang, Z., Savkin, A.V. Strategies for Optimized UAV Surveillance in Various Tasks and Scenarios: A Review. *Drones* -2024, -8, 193. <https://doi.org/10.3390/drones8050193>
 13. Maddern W., Pascoe G. et.al. Real-time Kinematic Ground Truth for the Oxford RobotCar Dataset.
 14. Ростопчин В.В., Дмитриев М.Л. Применение цифровых оптических систем для беспилотных аппаратов. -http://uav.ru/articles/opteq_uav.pdf
 15. Ростопчин В.В. «Элементарные основы оценки эффективности применения беспилотных авиационных систем для воздушной разведки». -http://www.uav.ru/articles/basic_uav_efficiency.pdf
 16. Е. Евгений. Беспилотные летательные аппараты и защита границ. [-http://uav.ru/articles/granitsa.pdf](http://uav.ru/articles/granitsa.pdf).
 17. D. Magdalena and T. Piotr et.al. Hybrid Fuel Cell - Battery System as a Main Power Unit for Small Unmanned Aerial Vehicles (UAV). -*Int. J. Electrochem. Sci.*, -8 -(2013) -8442 -8463.
 18. Gailler, L., Labazuy, P. et.al. Validation of a New UAV Magnetic Prospecting Tool for Volcano Monitoring and Geohazard Assessment. *Remote Sens.* -2021, -13, 894. <https://doi.org/10.3390/rs13050894>
 19. Evans, I., Jones, T.H., Pang, K. et.al. Use of drone technology as a tool for behavioral research: A case study of crocodilian nesting. -*Herpetol. -Conserv. -Biol.* -2015, -10, 90–98.
 20. M. Hassanalian, D., Rice, A. Abdelkefi. Evolution of space drones for planetary exploration: A review. -*Progress in Aerospace Sciences* -97 (-2018), -61–105 p.
 21. Linchant, J., Lisein, J. et.al. Are unmanned aircraft systems (UAS s) the future of wildlife

- monitoring? A review of accomplishments and challenges.-Mammal Rev. -2015, -45, 239–252.
22. Groves, P.A., Alcorn, B. Wiest et.al. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys. *Facets* -2016, -1, 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>
 23. Chio, S.H., Lin, C.H. Preliminary Study of UAS Equipped with Thermal Camera for Volcanic Geothermal Monitoring in Taiwan. -*Sensors* -2017, -17, 1649. <https://doi.org/10.3390/s17071649>
 24. Wakeford, Z.E., Chmielewska, M. et.al. Combining thermal imaging with photogrammetry of an active volcano using UAV: An example from Stromboli, Italy. *Photogramm. Rec.* -2019,- 34, 445–466. <https://doi.org/10.1111/phor.12301>
 25. Hodgson, J.C., Koh, L.P. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. -*Curr. Biol.* -2016, -26, -R404–R405.
 26. Huang, H. Savkin, A.V. Huang, C. *Autonomous Navigation and Deployment of UAVs for Communication, Surveillance and Delivery*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2022.
 27. S. Joachim. Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme. "Hybrid-Electric Propulsion Systems for Small Unmanned Aircraft". -*Die Dissertation wurde am 12.12.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 11.07.2014 angenommen.* -2013, -188 p.
 28. Pashayev, A., Nabiyeu, R., Abdullayev, A. et. al. Research of a vertical takeoff and landing micro UAV in the plane mode with the onboard control - measurement system. *Tuijin Jishu/-Journal of Propulsion Technology.* -Vol. 46(1), -2025, -pp.870-878, ISSN 1001-4055.
 29. Р.Н. Набиев, А.А. Абдуллаев Оптимизация наблюдательных возможностей беспилотных летательных аппаратов // -*Естественные и технические науки.* - Москва, -2025. -№2 (201), -с.258-268, DOI: 10.25633/ETN.2025.02.19

REFERENCES

1. R.N. Nabiyeu, G.I. Garayev and A.A. Abdullayev. Conceptual functional design of hybrid energy source of unmanned convertiplane. -*Proceedings of the IOP Conference Series: Conference Scopu. -Materials Science and Engineering.* -862, 022043, -2020, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/2/022043>
2. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.İ. Garayev. Structural drafting of convertiplane-type unmanned aerial vehicle. *Norwegian Journal of development of the International Science,* - №94, -2022, -pp. 45-51, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7198424>
3. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.İ. Garayev. (2024) On-board control-measurement system for micro convertiplane-type unmanned aerial vehicles. *Eurasian Physical Technical Journal.* -21, 2(48), -61-69. <https://doi.org/10.31489/2024No2/61-69>
4. A.A. Abdullayev. VTOL mikro PUA-nyn uchushunun mukhtelif uchush rejimlerinde bort nezaret- olchu sistemi ile tedgigi *International Conference on Artificial intelligence: from theory (AICON-2024)*, -17-18 september, -2024, -Nakhchvan, -Azerbaijan. -s.271-277. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14031849>
5. Nabiyeu R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. International Scientific Conference Energy

- Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2024) - E3S Web of Conf. -Volume 592, -06024 (2024), DOI: 10.1051/e3sconf/202459206024
6. Nabiev R.N., Abdullayev A.A., Garaev G.I., Abbasov V.A. Opredelenie tsentra tyajesti bespilotnogo letatel'nogo apparata konvertoplanovogo tipa// Izvestiya YuFU – Tekhnicheskie nauki, - № 5 (229), -2022, -s. 258-268. DOI: 10.18522/2311-3103-2022-5-258-268.
 7. Nabiev R.N., Garayev G.I., Abdullayev A.A., Abbasov V.A. Trebovaniya k bespilotnym letatel'nym apparatam na multirotatsionnoy osnove. Aviakosmicheskoe priborostroenie, -Moskva, -2018 g. -№ 9, -s.3-11, DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2018. 166
 8. Nabiev R.N., Abdullayev A.A., Garaev G.I. Sravnitel'nyy analiz osobennostey akkumulyatornykh batarey na osnove litiya. -Aviakosmicheskoe priborostroenie, - Moskva, -№ 9. -2019, -s.42-55. DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2019.867
 9. Nabiev R.N., Abdullayev A.A., Garaev G.I. Analiz osobennostey vodoroda v kachestva istochnikaq energii. -Aviakosmicheskoe priborostroenie, -Moskva, -2021 -g. -№ 3. -s. 41-58. DOI: 10.25791/aviakosmos.3.2021.1211
 10. Nabiev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. Razrabotka kontseptualnoy funktsionalnoy skhemy bespilotnogo konvertoplana s gibridnym istochnikom energii. Aviakosmicheskoe priborostroenie, Moskva, -№5. -2021, -s. 03-18 DOI: 10.25791/ aviakosmos. 5.2021.1217
 11. Nabiev R.N., Abdullayev A.A. Issledovanie osnovnykh aerodinamicheskikh parametrov planera bespilotnogo letatel'nogo apparata konvertoplanovogo tipa // Aviakosmicheskoe priborostroenie, -Moskva, -2022g. №4. 17-33. DOI:10.25791/ aviakosmos. 4.2022.1274.
 12. Fang, Z.; Savkin, A.V. Strategies for Optimized UAV Surveillance in Various Tasks and Scenarios: A Review. *Drones* -2024, -8, 193. <https://doi.org/10.3390/drones8050193>
 13. Maddern W., Pascoe G., et.al. Real-time Kinematic Ground Truth for the Oxford RobotCar Dataset.
 14. Rostopchin V.V. Dmitriev M.L. Primenenie tsifrovyykh opticheskikh sistem dlya bespilotnykh apparatov. http://uav.ru/articles/opteq_uav.pdf.
 15. Ростопчин В.В. Rostopchin V.V. «Elementarnye osnovy otsenki effektivnosti primeneniya bespilotnykh aviatsionnykh sistem dlya vozdushnoy razvedki».- http://www.uav.ru/articles/basic_uav_efficiency.pdf
 16. E.Evgeniy. Bespilotnie letatel'noe apparaty i zashita granits. <http://uav.ru/articles/granitsa.pdf>.
 17. D.Magdalena and T. Piotr et.al. Hybrid Fuel Cell - Battery System as a Main Power Unit for Small Unmanned Aerial Vehicles (UAV). -*Int. J. Electrochem. Sci.*, -8 (2013) -8442 - 8463.
 18. Gailler, L.; Labazuy, P.; et.al. Validation of a New UAV Magnetic Prospecting Tool for Volcano Monitoring and Geohazard Assessment. *Remote Sens.* -2021, -13, 894. <https://doi.org/10.3390/rs13050894>
 19. Evans, I.; Jones, T.H.; Pang, K.; et.al. Use of drone technology as a tool for behavioral research: A case study of crocodylian nesting. *Herpetol. Conserv. -Biol.* -2015, -10, 90–98.
 20. M. Hassanalian, D. Rice, A. Abdelkefi. Evolution of space drones for planetary exploration: A review. *Progress in Aerospace Sciences* -97 (2018), -61–105 p.
 21. Linchant, J.; Lisein, J.; et.al. Are unmanned aircraft systems (UAS s) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Rev.* -2015, -45, 239-252.
 22. Groves, P.A.; Alcorn, B.; Wiest, et.al. Testing unmanned aircraft systems for salmon

- spawning surveys. *Facets* -2016, -1, 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>
23. Chio, S.H.; Lin, C.H. Preliminary Study of UAS Equipped with Thermal Camera for Volcanic Geothermal Monitoring in Taiwan. *Sensors* -2017, -17, 1649. <https://doi.org/10.3390/s17071649>
 24. Wakeford, Z.E.; Chmielewska, M.; et.al. Combining thermal imaging with photogrammetry of an active volcano using UAV: An example from Stromboli, Italy. *Photogramm. Rec.* -2019, -34, 445–466. <https://doi.org/10.1111/phor.12301>
 25. Hodgson, J.C.; Koh, L.P. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Curr. Biol.* -2016, -26, -R404–R405.
 26. Huang, H.; Savkin, A.V.; Huang, C. *Autonomous Navigation and Deployment of UAVs for Communication, Surveillance and Delivery*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, -2022.
 27. S. Joachim. Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme. "Hybrid-Electric Propulsion Systems for Small Unmanned Aircraft". *Die Dissertation wurde am 12.12.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 11.07.2014 angenommen.* -2013, -188 p.
 28. Pashayev, A., Nabiyev, R., Abdullayev, A. et. al. Research of a vertical takeoff and landing micro UAV in the plane mode with the onboard control - measurement system. *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology.* -Vol. 46(1), -2025, -pp. 870-878, ISSN 1001-4055
 29. R.N. Nabiyev, A.A. Abdullayev. Optimizatsiya nablyudatelnykh vozmozhnostey bespilotnykh letatelnykh apparatov // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki.* Moskva, -2025. -№2 (201), -s.258-268, doi: 10.25633/ETN.2025.02.19

ELECTRO-OPTICAL OBSERVATION WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES AND OPTIMIZATION OF APPLICATION POSSIBILITIES

***Nabiyev R.N., Abdullayev A.A.
National Aviation Academy***

The article analyzes the conditions for using unmanned aerial vehicles in the successful implementation of tasks set in the direction of search and rescue, as well as the observation of strategic objects, and the data obtained as a result of their application. The importance of applying advanced technologies in emergency situations, personnel activities, and determining location positions is substantiated and the importance of using unmanned aerial vehicles is emphasized. Here, how unmanned aerial vehicles work in complex and difficult conditions with the application of technological innovations based on the current operational task is investigated.

It is noted that the use of currently available multirotation, glider and VTOL-based nano, micro and mini small, medium and large drones, glider and VTOL-based unmanned aerial vehicles in terms of weight and size is used as the main and auxiliary element for the digitalization of the complex application of forces and means during the execution of many international and local search and rescue, as well as other special tasks, and the integration of the process into the solution with artificial intelligence. It is noted that this also plays an important role in the successful completion of the intended event.

The optimization of the implementation of electro-optical surveillance and its application capabilities due to the correct planning of the UAV route and observation algorithm during search

and rescue operations with unmanned aerial vehicles was studied on the basis of “survival”, “mass”, “flock”, etc. missions. The criteria that must be taken into account for the optimization of UAV observation during operation planning were determined and substantiated at a reasonable speed.

The article also notes that unmanned aerial vehicles are widely used in the performance of aerial reconnaissance and search and rescue missions, in the delivery of medicines and necessary supplies for medical assistance to the required point within flight restrictions, as well as in monitoring the area in emergency situations.

Keywords: VTOL, unmanned aerial vehicle, on-board control and measurement system, inertial measurement module, accelerometer, gyroscope, RPM.

Rəyçilər: *f.-r.e.d., prof. K.Ə. Əsgərov*

f.-r.e.n., prof. İ.Ə. İsgəndərov

Müəlliflər haqqında məlumat

| Soyadı, adı, atasının adı | İş yeri | Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı | Əlaqə |
|---------------------------|---------------------------------|--|--|
| Nəbiyev Rasim Nəsim oğlu | Milli Aviasiya Akademiyası, ETİ | Aviasiya Elektronikaş şöbəsinin müdiri t.e.d., prof. | rnabiyev@naa.edu.az ; mob: (+994) 55-754-76-46 |
| Abdullayev Anar Arif oğlu | Milli Aviasiya Akademiyası | Milli Aviasiya Akademiyasının doktorantı f.-r.f.d. | anarcafarov009@gmail.com mob: (+994) 77-756-48-75 |

УДК: 004.89

DOI: 10.30546/EMNAA.2025.27.01.103

НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЪЯСНИМОГО АНАЛИЗА ЭМОЦИЙ

¹Гардашова Л.А., ¹Ширинов Р.А., ²Ибрагимова С.Р.

¹Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

²Национальная Академия Авиации

Цель задачи – разработка системы, соответствующей концепциям нечёткой логики, объективного анализа эмоций пользователя для принятия решений. Решить данную задачу предлагается через объяснимый искусственный интеллект (ХАИ) с использованием Fuzzy OWL2 Ontology. Онтология эмоциональных состояний основана на предопределённых нечётких концепциях: «стресс», «тревожность», «умеренность», «радость», смоделированные в Fuzzy OWL2. Онтология принятия решений представляет собой нечёткие правила рассуждений, связывающие эмоциональные состояния с результатами решений. Аннотации контекстных данных являются сопоставлением контекстных аспектов эксперимента (время, тип задачи, индивидуальные черты) с помощью онтологии. Нечёткая онтология OWL2 позволяет объединить определяемые типы данных в семантическую модель рассуждений, которая состоит из сбора субъективных данных в реальном времени, сопоставления необработанных данных с нечёткими лингвистическими категориями, такими как «низкий», «умеренный» или «высокий» с использованием нечётких рассуждений для вывода эмоциональных состояний и моделей принятия решений на основе онтологии. Результатом является сгенерированное понимание эмоциональных состояний и качества принятия решений в нечётких условиях. Система должна справляться с категоризацией эмоциональных состояний и связывать их с принятием решений в нечётких условиях, при этом нечёткая логика и ХАИ улучшают прозрачность и интерпретируемость. Неопределённость и необходимость физических данных, которые не предусмотрены в эксперименте, изменчивость человеческих реакций и сложность системы ограничивают фактические результаты. Ожидаемый результат – точность классификации эмоционального состояния $\geq 85\%$. Фактический результат – точность варьируется (70–90%) в зависимости от качества данных и разнообразия признаков. Требуется улучшенная разработка функций, надёжный онтологический дизайн и более доступные инструменты визуализации ХАИ, которые могут уменьшить разницу между ожидаемыми и фактическими результатами.

Ключевые слова: нечёткая логика, объяснимый ИИ (ХАИ), Fuzzy OWL2 Ontology, качество принятия решений, объективный анализ эмоций.

Введение

Нечеткая логика и объективный анализ эмоций пользователя представляют собой взаимодействие между вычислительным интеллектом и принятием решений, ориентированным на человека. Интегрируя нечеткую логику с анализом эмоций, процессы принятия решений могут стать более адаптивными и способными решать сложные сценарии, в которых традиционные методы не справляются [1]. Нечеткая логика — это математическая структура, введенная Лютфи А. Заде в 1960-х годах, разработанная для обработки ситуаций, которые нелегко определить в бинарных терминах, таких как «истина» или «ложь», «да» или «нет» [2]. В отличие от классической логики, где утверждения либо полностью истинны, либо полностью ложны, нечеткая логика допускает степени истинности, принимая во внимание неоднозначность и неопределенность, присущие реальным сценариям [3]. В контексте принятия решений нечеткая логика особенно ценна, когда точные данные недоступны или когда решения должны приниматься в неопределенных условиях [4].

Достижения в области искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) позволили проводить объективный анализ эмоций пользователя, преобразуя неосознаваемые чувства, применяемые на практике данные. Этот анализ часто включает такие методы, как обработка естественного языка (NLP - Natural Language Processing), анализ настроений, распознавание выражений лица и интерпретация физиологических данных (например, частоты сердечных сокращений или проводимости кожи) [5].

Цель работы

Интеграция нечеткой логики с анализом эмоций позволяет системам обрабатывать неоднозначные эмоциональные данные и включать их в решения с той степенью гибкости, которая отражает мыслительные процессы человека [6]. Например, система нечеткой логики может интерпретировать эмоции пользователя по шкале от «слегка расстроен» до «крайне расстроен». В практических приложениях эта комбинация уже делает значительные успехи. Например, в чат-ботах обслуживания клиентов эмоциональный анализ может определять, когда пользователь расстроен, а нечеткая логика степень неудовлетворенности. Данная интеграция дает несколько преимуществ: позволяет взаимодействовать с автоматизированными системами более «по-человечески», способствуя доверию и удовлетворенности пользователей; улучшает процесс принятия решений, учитывая как рациональные, так и эмоциональные факторы, что приводит к более целостным результатам; позволяет системам эффективно работать в неопределенных или неоднозначных средах. Эмоциональный анализ опирается на данные, которые могут быть очень изменчивыми и контекстно-зависимыми. Более того, возникают этические проблемы, связанные с конфиденциальностью и согласием [7].

Постановка задачи

Полный анализ результатов включает рассмотрение лингвистических категорий и их влияние на действенные идеи. Целями экспериментального исследования являются:

1. Разработка модели классификации эмоциональных состояний с использованием онтологии Fuzzy OWL2;

2. Достижение точности классификации $\geq 85\%$ за счет использования нечеткой логики для сопоставления эмоциональных состояний с лингвистическими категориями («низкий», «умеренный» и «высокий»);

3. Обеспечение интерпретируемости с помощью ХАИ для объяснения решений в удобной для пользователя форме.

Разработка онтологии с использованием нечеткого OWL2 состоит из нескольких этапов.

Этап 1. Определение эмоциональных состояний. Эмоциональные состояния (например, счастье, гнев, грусть, тревога) моделируются как нечеткие классы. Нечеткие функции принадлежности присваивают значение от 0 до 1 на основе физиологических и поведенческих входных данных, включая:

- частоту сердечных сокращений (ЧСС). Например, «низкая» ЧСС (< 60 уд/мин), «умеренная» ЧСС ($60-100$ уд/мин), «высокая» ЧСС (> 100 уд/мин);
- кожно-гальванические реакции (КГР): «низкая», «умеренная», «высокая»;
- выражение лица (определяются с помощью моделей компьютерного зрения), которое оценивается на основе сходства с эмоциональными архетипами.

Этап 2. Определение нечеткой лингвистической категории. Нечеткие категории сопоставляются с интенсивностью эмоционального состояния:

- низкая интенсивность как показатель принадлежности к нечеткому состоянию $\leq 0,33$;
- умеренная интенсивность составляет $0,34-0,66$;
- высокая интенсивность $\geq 0,67$.

Этап 3. Внедрение онтологических правил. Нечеткая онтология OWL2 включает правила для рассуждений о категориях эмоций:

- ЕСЛИ ЧСС «высокий» и GSR «умеренный», ТО эмоциональное состояние = «тревога»;
- ЕСЛИ выражение лица = «улыбка» И ЧСС «низкий», ТО эмоциональное состояние = «счастье».

Для улучшения интерпретируемости система включает в себя такие методы ХАИ, как:

- визуализация важности признаков, то есть графически показывает, насколько ЧСС, КГР или выражения лица способствовали классификации;
- контрфактуальное рассуждение предоставляет сценарии «что если» для объяснения альтернативных классификаций (например, «Если бы ЧСС был ниже, эмоциональное состояние было бы «умеренная печаль» вместо «сильная печаль»).

Экспериментальная установка использует маркированный набор данных физиологических, поведенческих и контекстных эмоциональных данных [8]:

- частота сердечных сокращений, GSR, оценки выражения лица;
- предварительно классифицированные эмоциональные состояния с метками интенсивности.

Нечеткая система вывода состоит из входных данных (ЧСС, GSR, оценки выражения лица) и выходных данных (эмоциональное состояние, сопоставленное с нечеткими категориями («низкий», «умеренный», «высокий»).

Метрики производительности состоят из следующих категорий:

- точность. Обеспечение точности классификации $\geq 85\%$;
- точность/Полнота. Оценка, насколько корректно система различает категории;
- интерпретируемость. Оценка понимания пользователем выходных данных системы.

Решение задачи

Нечеткая модель достигла показателей, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Анализ производительности

| Метрики | Значение |
|---------------------------|-----------------------|
| Точность классификации | 87.5% |
| Точность (высокая) | 0.90 |
| Полнота (средняя) | 0.85 |
| Оценка интерпретируемости | 92% (согласно опросу) |

Таблица 2

Картографирование языковых категорий

| Частота сердечных сокращений | GSR | Выражение лица | Нечеткая классификация | Эмоциональное состояние |
|------------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| Высокий (0,8) | Умеренный (0,5) | Нейтральный (0,4) | Беспокойство (Высокий) | Беспокойства |
| Низкий (0,2) | Низкий (0,3) | Улыбчивый | Счастье (Высокий) | Высокий уровень Счастья |
| Умеренный (0,5) | Высокий (0,7) | Хмурый | Грусть (Высокий) | Высокий уровень Грусти |

Результаты интерпретации:

- 90% пользователей посчитали объяснения ХАИ понятными;
- контрфактуальные сценарии (например, сокращение HR) выявили потенциальные эмоциональные изменения, повысив уровень доверия к системе.

Таблица 3

Анализ затрат и выгод (использование нечеткой онтологии для принятия решений)

| Категория | Традиционный метод | Нечеткий OWL2 + ХАИ |
|------------------------------|--------------------|---------------------|
| Стоимость за одно вычисление | 5000 | 3500 |
| Время анализа (наблюдения) | 30 дней | 20 дней |
| NPT | 15% | 5% |

| | | |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------------|
| Срок службы бита | 100 часов | 150 часов |
| Время обработки данных | 48 часов | В реальном времени (минуты) |
| Точность прогноза | $R^2 = 0.12$ | $R^2 = 0.84$ |
| Расходы на техническое обслуживание | Высокие | Уменьшенные |
| Скорость принятия решений | Дни | Немедленное понимание |

Модель Fuzzy OWL2 + XAI обеспечивает значительную экономию времени и средств, а лучшая классификация эмоционального состояния влияет на более быстрое и точное принятие решений.

Поверхностный график на рисунке 1 показывает связь между частотой сердечных сокращений (ЧСС), кожно-гальванической реакцией (КГР) и эмоциональным состоянием. Здесь выражение лица зафиксировано как Улыбка ($FE = 0,7$).



Рисунок 1. Поверхностный график эмоционального состояния

Низкая частота сердечных сокращений и низкая КГР показывают значения эмоционального состояния на низком уровне ($<0,4$). Это соответствует спокойным или расслабленным эмоциональным состояниям, поскольку низкие ЧСС и КГР указывают на низкое физиологическое возбуждение.

Умеренная частота сердечных сокращений и КГР демонстрируют значения эмоционального состояния, постепенно увеличиваются ($0,4-0,6$). Эти значения представляют собой умеренное возбуждение, например, легкое счастье или нейтральные эмоции.

Высокая частота сердечных сокращений и высокая КГР демонстрируют значения эмоционального состояния, которые достигают максимума ($>0,8$), что указывает на высокую эмоциональную интенсивность. Сочетание высокой ЧСС и КГР с улыбкой предполагает сильные положительные эмоции, такие как волнение или радость.

Постепенные переходы:

- поверхность гладкая, показывающая постепенное влияние ЧСС и КГР на классификацию эмоционального состояния;

- модель эффективно фиксирует промежуточные состояния, избегая жесткой категоризации.

Основными выводами на основе полученных данных являются:

- взаимодействие между входами HR (ЧСС) и GSR оказывает комбинированное влияние на эмоциональное состояние. Высокий HR сам по себе не приводит к высокой эмоциональной интенсивности, если GSR также не высок. Аналогично, низкие HR (ЧСС) и GSR приводят к низким эмоциональным состояниям, даже с улыбкой;

- поведение нечеткой логики через поверхностный график демонстрирует, как нечеткие правила справляются с неопределенностью, допуская перекрывающееся членство в различных эмоциональных категориях.

График функций принадлежности на рис. 2 визуализирует нечеткие множества для входных переменных (частота сердечных сокращений, GSR, выражение лица) и выходной переменной (эмоциональное состояние). Эти функции описывают, как числовые входы сопоставляются с нечеткими категориями: «Низкий», «Умеренный» и «Высокий».

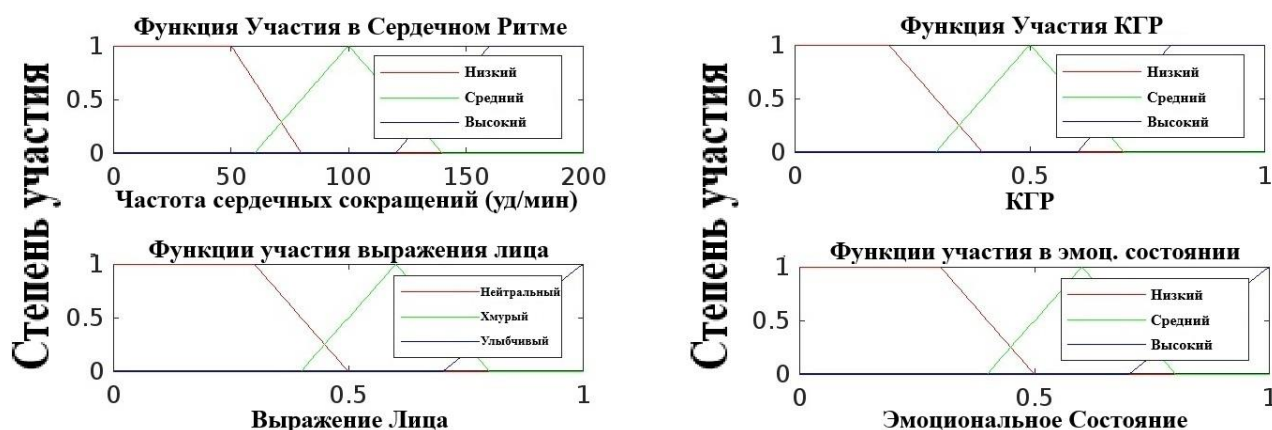


Рисунок 2. Частота сердечных сокращений (ЧСС)

- низкая ЧСС определяется как значение ниже 80 уд/мин с постепенным снижением частоты между 50 и 80 уд/мин. Это соответствует спокойному или расслабленному состоянию;

- умеренная ЧСС достигает пиков между 60 и 100 уд/мин, когда вероятно, наблюдаются нормальные эмоциональные состояния, такие как легкое счастье или нейтральные чувства;

- высокая ЧСС определяется как учащенная ЧСС >120 уд/мин, отражающее состояния высокого возбуждения, такие как волнение, стресс или беспокойство.

GSR (гальваническая кожная реакция) показывает следующие результаты:

- низкая GSR демонстрирует высокую принадлежность для значений ниже 0,3, что указывает на спокойствие или низкое эмоциональное возбуждение;

- умеренная GSR показывает сильную принадлежность для значений около 0,5, что обычно представляет собой легкое эмоциональное возбуждение;

- высокая GSR обладает доминирующей принадлежностью для значений выше 0,7, что связано с сильными эмоциями или стрессом.

Выражение лица (FE):

- нейтральное достигает пика, когда значения FE ниже 0,5, что указывает на отсутствие сильных положительных или отрицательных эмоций;

- хмурый взгляд охватывает средний диапазон (0,4–0,8), что соответствует отрицательным эмоциональным состояниям, такие как грусть или разочарование;

- улыбка доминирует при значениях $>0,7$, что означает положительные эмоциональные состояния, такие как счастье или волнение.

Эмоциональное состояние (выход):

- низкая эмоция характеризуется высокой принадлежностью к спокойным, нейтральным эмоциональным состояниям (значения $\leq 0,5$);

- умеренная эмоция является самой сильной для значений около 0,6, что соответствует легкому возбуждению или умеренной эмоциональной интенсивности;

- высокая эмоция отражает сильные эмоции (значения $\geq 0,8$), такие как радость, беспокойство или гнев.

Функции принадлежности обеспечивают плавные переходы между категориями, избегая резких изменений, которые могут привести к плохой классификации. Функции демонстрируют интерпретируемость нечеткой логики.

Функции принадлежности и поверхностный график позволяют определить силу нечеткой логики при обработке неточных или неопределенных данных. Постепенные переходы между категориями («Низкий», «Умеренный», «Высокий») отражают реальные эмоциональные состояния более точно, чем бинарные классификации.

Модель можно адаптировать к широкому спектру сценариев, в которых эмоциональные состояния зависят от физиологических и поведенческих данных. Диаграммы дают интуитивное представление, что позволяет неспециалистам легко понять, как входные данные влияют на прогнозы эмоционального состояния.

Включение большего количества входных данных (например, тон речи, контекстные данные) может повысить точность классификации. Тестирование системы с реальными наборами данных подтвердит ее надежность и безотказность.

Код MATLAB, разработанный для этого исследования, моделирует и визуализирует классификацию эмоциональных состояний на основе частоты сердечных сокращений (ЧСС), гальванической реакции кожи (ГКР) и выражения лица (ЭМ). Модель реализует принципы нечеткой логики без использования Fuzzy Logic Toolbox, что позволяет интерпретировать эмоциональные состояния через непрерывные лингвистические категории. Анализ фокусируется на двух основных выходных данных: графиках функций принадлежности и поверхностном графике, который представляет эмоциональное состояние как функцию ЧСС и ГКР.

Правила нечеткого вывода, регулирующие связь между входами (HR, GSR, FE) и выходом (эмоциональное состояние), являются основным направлением исследования. Правила могут быть записаны в виде псевдокода или представлены непосредственно в виде кода MATLAB: `fuzzy_rules = @ (hr, gsr, fe) ...`

`max ([min([HR_low(hr), GSR_low(gsr), FE_smile(fe))] * 0.2, % Правило 1.`

`min([HR_moderate(hr), GSR_moderate(gsr), FE_frown(fe))] * 0.8, % Правило 2.`

`min([HR_high(hr), GSR_high(gsr), FE_smile(fe))] * 1.0, % Правило 3.`

`min([HR_low(hr), GSR_low(gsr), FE_neutral(fe))] * 0.3 % Правило 4.`

В этой части объясняется логика того, как нечеткие правила объединяют входные данные для получения выходного эмоционального состояния.

Графики функций принадлежности (рисунок 2) дают подробное представление нечетких множеств, определенных для каждой входной переменной (HR, GSR, FE) и выходной переменной (Эмоциональное состояние). Часть кода, генерирующего графики функций принадлежности, может быть включена для иллюстрации того, как визуализируются лингвистические категории. Этот раздел может быть представлен частично или кратко, с примером того, как строится график одной функции принадлежности: `x_hr = 0:200; % ЧСС HR plot(x_hr, arrayfun(HR_low, x_hr), 'r', ... x_hr, arrayfun(HR_moderate, x_hr), 'g', ... x_hr, arrayfun(HR_high, x_hr), 'b'); legend('Low', 'Moderate', 'High'); title('Heart Rate Membership Functions'); xlabel('Heart Rate (bpm)'); ylabel('Membership Degree');`

Для частоты сердечных сокращений функции принадлежности определяют три лингвистические категории: «Низкая», «Умеренная» и «Высокая». Низкая ЧСС соответствует значениям ниже 80 ударов в минуту, отражая расслабленное или спокойное состояние, в то время как умеренная ЧСС достигает пиков между 60 и 100 ударами в минуту, указывая на нейтральные эмоциональные состояния. Высокая ЧСС определяется для значений, превышающих 120 ударов в минуту, которые сигнализируют о повышенном эмоциональном возбуждении. Аналогично функции принадлежности GSR классифицируют значения как «Низкая», «Умеренная» и «Высокая». Низкая GSR представляет собой низкое физиологическое возбуждение, характерное для спокойных состояний, в то время как высокая GSR отражает повышенное возбуждение, часто связанное с сильными эмоциями, такими как беспокойство или волнение. Для выражений лица категории включают «Нейтральное», «Хмурое выражение» и «Улыбка». Нейтральные выражения доминируют при низких значениях, хмурые выражения занимают средний диапазон, а улыбки означают положительные эмоциональные состояния при высоких значениях. Выходная переменная, Эмоциональное состояние, аналогичным образом классифицируется как «Низкое», «Умеренное» и «Высокое». Низкие эмоциональные состояния соответствуют спокойным или нейтральным чувствам, в то время как умеренные и высокие эмоциональные состояния отражают возрастающую эмоциональную интенсивность, такую как радость или беспокойство. `HR_low = @(hr) max(0, min(1, (80 - hr) / 30)); % Низкий: трапециевидный`
`HR_moderate = @(hr) max(0, min((hr - 60) / 40, (140 - hr) / 40)); % Умеренный: Треугольный`
`HR_high = @(hr) max(0, min(1, (hr - 120) / 40)); % Высокий: трапециевидный`

Поверхностный график (рисунок 1), иллюстрирует взаимодействие между частотой сердечных сокращений и GSR при определении эмоционального состояния с фиксированным выражением лица с улыбкой. Этот график демонстрирует, как эмоциональное состояние постепенно переходит через низкие, умеренные и высокие категории по мере увеличения значений HR и GSR. Низкий HR и GSR приводят к низкому эмоциональному состоянию, отражающему спокойные или расслабленные условия. И наоборот, высокие значения HR и GSR соответствуют высоким эмоциональным состояниям, представляющим сильные положительные эмоции, такие как волнение или радость, учитывая фиксированное выражение лица в виде улыбки. Умеренные значения HR и GSR вызывают постепенное увеличение эмоционального состояния, захватывая промежуточные интенсивности эмоций. Раздел кода, генерирующий поверхностный график для

эмоционального состояния, важен, поскольку он наглядно демонстрирует взаимодействие между ЧСС, КГР и эмоциональным состоянием: `HR_values = 0:5:200; GSR_values = 0:0.05:1; emotional_state = zeros (length (GSR_values), length (HR_values)); for i = 1: length (GSR_values) for j = 1: length (HR_values) emotional_state (i, j) = fuzzy_rules (HR_values(j), GSR_values(i), FE_value); end end surf (HR_values, GSR_values, emotional_state, 'EdgeColor', 'none'); xlabel ('Heart Rate (HR)'); ylabel ('Galvanic Skin Response (GSR)'); zlabel ('Emotional State'); title ('Emotional State Surface Plot'); Colorbar;` В этой части кода наглядно показано, как модель нечеткой логики применяется для моделирования взаимосвязи между входами и выходами.

Результаты демонстрируют плавное и интерпретируемое поведение модели нечеткой логики. Нечеткая система обеспечивает детальное представление эмоциональных состояний, приспосабливаясь к перекрывающимся категориям и постепенным переходам. Высокий HR сам по себе не указывает на высокое эмоциональное состояние, если только GSR также не увеличивается, что усиливает необходимость в многомерных входных данных.

Заключение

Принимая во внимание неоднозначность и интегрируя эмоциональный интеллект, эта структура позволяет системам принимать более адаптивные, ориентированные на человека решения. Хотя проблемы остаются, однако потенциальные приложения в таких областях, как обслуживание клиентов, здравоохранение и персонализированный опыт огромны.

Онтология Fuzzy OWL2 успешно отображает эмоциональные состояния в нечеткие лингвистические категории с точностью 87,5%. Интеграция ХАИ обеспечивает прозрачность и интерпретируемость, что имеет решающее значение для доверия пользователей. Дальнейшая работа будет включать масштабирование онтологии для сложных эмоциональных сценариев и изучение мультимодальной интеграции данных.

Реализация MATLAB эффективно моделирует связь между физиологическими, поведенческими данными и эмоциональными состояниями с использованием принципов нечеткой логики. Будущая работа может расширить эту модель путем включения дополнительных входных данных, таких как тон голоса или контекстные данные, для повышения точности классификации и обобщаемости. Тестирование модели с реальными наборами данных подтвердит ее применимость в различных средах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свиридова И.Ю. Принятие управленческих решений. Метод нечёткой логики. Электронный научный журнал " Вектор экономики". -№5. -2023. -с. 9.
2. Lotfi A. Zadeh. <https://scholar.google.com/citations?user=S6H-0RAAAAAAJ&hl=en> (access date 18.12.2024).
3. Zadeh. L.A. Fuzzy Logic. // Computer Science Division, 1988. 83-92 pp
4. Броневиц А.Г. Нечёткие модели анализа данных принятия решений. /- А. Г. Броневиц, А. Э. Лепский // Учебное пособие. –Издательский дом. «Высшей школы экономики», -2022, -с. 37.
5. Исаева М.З. Методы и технологии обработки естественного языка / М.З. Исаева, А.В. Алисултанова, М.А. Дасаев, М.М. Тсуев. –Грозный, -ГГНТУ. akad. М.Д. Миллиончикова. -с. 90-94.

6. Герасименко Э.М. Интеллектуальная система анализа тональности для измерения лояльности покупателей и принятия решений, основанная на нечёткой логике. // Известия Южного Федерального Университета.-Технические науки. - 2021. -с. 42-49.
7. Дворников С.В. Распознавание эмоций в текстовом сообщении. Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «Студент»: №. 1. -2021. -с. 8
8. Koelstra S. DEAP: A database for Emotion Analysis using physiological signals. Koelstra S., Mühl C., Soleymani M., Lee J-S. IEEE Transactions on Affective, 2011. 18-29 pp.

REFERENCES

1. Sviridova I. Yu. Prinyatie upravlencheskikh resheniy: metod nechetkoy logiki. Elektronnyy nauchnyy zhurnal "Vector ekonomiki". -№5. -2023. -S. 9.
2. Lotfi A. Zadeh. <https://scholar.google.com/citations?user=S6H-0RAAAAAAJ&hl=en> (access date 18.12.2024).
3. Zadeh. L. A. Fuzzy Logic. // Computer Science Division, -1988. -83-92 pp
4. Bronevich A. G. Nechetkie modeli analiza dannykh i prinyatiya resheniy. / A. G. Bronevich, A. E. Lepskiy // Uchebnoe posobie. Izdatelskiy dom Vysshey shkoly ekonomiki, -2022. -S. 37.
5. Isaeva M. Z. Metody i tekhnologii obrabotki estestvennogo yazyka. / M. Z. Isaeva, A. V. Alisultanova, M-A. Dasaev, M. M. Tsuev. Groznyy. GGNTU im. akad. M. D. Millionshchikova. -S. 90-94.
6. Gerasimenko E. M. Intellektualnaya sistema analiza tonalnosti dlya izmereniya loyality pokupateley i prinyatiya resheniy, osnovannaya na nechetkoj logike. // -Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, -2021. -S. 42-49.
7. Dvornikov S. V. Raspoznavanie emotsiy v tekstovom soobshchenii. Nauchno-obrazovatelnyy zhurnal dlya studentov i преподаvateley "StudNet". -No. 1. -2021. -S. 8.
8. Koelstra S. DEAP: A database for Emotion Analysis using physiological signals. Koelstra S., Mühl C., Soleymani M., Lee J-S. IEEE Transactions on Affective, -2011. -18-29 pp.

İZAH EDİLƏ BİLƏN EMOSIYA ANALIZİ ÜÇÜN QEYRİ-SƏLİS QƏRAR DƏSTƏYİ SİSTEMİ

¹Qardaşova L.A., ¹Şirinov R.H., ²İbrahimova S.R.

¹Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

²Milli Aviasiya Akademiyası

Müəllif qərar qəbul etmək üçün istifadəçinin emosiyalarını obyektiv təhlil etmək üçün qeyri-səlis məntiq anlayışlarına uyğun bir sistem hazırlamaq məqsədi daşıyır. Bu problemi Qeyri-səlis OWL2 Ontologiyasından istifadə edərək izah edilə bilən süni intellekt (XAI) vasitəsilə həll etmək təklif olunur. Emosional vəziyyətlərin ontologiyası əvvəlcədən müəyyən edilmiş qeyri-səlis anlayışlara əsaslanır: Fuzzy OWL2-də modelləşdirilmiş “stress”, “narahatlıq”, “moderasiya”,

“sevinc”. Qərar ontologiyaları emosional vəziyyətləri qərarın nəticələri ilə əlaqələndirən qeyri-səlis mülahizə qaydalarıdır. Kontekstual məlumat annotasiyaları ontologiyadan istifadə edərək eksperimentin kontekstual aspektlərinin (vaxt, tapşırıq növü, fərdi xüsusiyyətlər) xəritəsidir. OWL2 qeyri-səlis ontologiyası müəyyən edilə bilən məlumat növlərini real vaxtda subyektiv məlumatların toplanması, xam verilənlərin “aşağı”, “orta” və ya “yüksək” kimi qeyri-səlis linqvistik kateqoriyalara uyğunlaşdırılmasından və qeyri-səlis məlumatlardan istifadə etməkdən ibarət olan semantik əsaslandırma modelində birləşdirməyə imkan verir. Nəticə qeyri-səlis şəraitdə emosional vəziyyətlər və qərar qəbuletmə keyfiyyəti haqqında yaradılan anlayışdır. Sistem emosional vəziyyətlərin təsnifatının öhdəsindən gəlməli və onları qeyri-səlis şəraitdə qərar qəbulu ilə əlaqələndirməlidir, qeyri-səlis məntiq və XAI şəffaflığı və şərhli təkmilləşdirməlidir. Məlumatların qeyri-müəyyənliyi, bu təcrübədə təmin olunmayan fiziki məlumatlara ehtiyac, insan reaksiyalarının dəyişkənliyi və sistemin mürəkkəbliyi faktiki nəticələri məhdudlaşdırır. Gözlənilən nəticə – emosional vəziyyətin təsnifatının dəqiqliyi $\geq 85\%$. Faktiki nəticə – məlumatın keyfiyyətindən və xüsusiyyət müxtəlifliyindən asılı olaraq dəqiqlik dəyişir (70-90%). Təkmilləşdirilmiş xüsusiyyət inkişafı, möhkəm ontoloji dizayn və daha əlçatan XAI vizuallaşdırma vasitələri tələb olunur ki, bu da gözlənilən və faktiki nəticələr arasındakı fərqi azalda bilər.

Açar sözlər: qeyri-səlis məntiq, izah edilə bilən SI (XAI), qeyri-səlis OWL2 Ontologiya qərar keyfiyyəti, obyektiv emosiya təhlili

A FUZZY DECISION SUPPORT SYSTEM FOR EXPLAINABLE EMOTION ANALYSIS

¹Gardashova L.A., ¹Shirinov R.H., ²Ibrahimova S.R.

¹Azerbaijan State Oil and Industry University

²National Aviation Academy

The goal of the task is to develop a system, corresponding to the concepts of fuzzy logic, to objectively analyze the user's emotions for decision making. It is proposed to solve this problem through Explainable Artificial Intelligence (XAI) using Fuzzy OWL2 Ontology. The ontology of emotional states is based on predefined fuzzy concepts: 'stress', 'anxiety', 'moderation', 'joy' modeled in Fuzzy OWL2. Decision ontologies are fuzzy reasoning rules linking emotional states to decision outcomes (e.g., “If stressed, decision accuracy is lower”). The contextual data annotations are a mapping of contextual aspects of the experiment (time, task type, individual traits) using the ontology. The OWL2 fuzzy ontology allows combining definable data types into a semantic reasoning model that consists of collecting subjective data in real time, mapping the raw data to fuzzy linguistic categories such as “low”, “moderate”, or “high”, and using fuzzy reasoning to derive emotional states and decision models based on the ontology. The result is a generated understanding of emotional states and decision-making quality in fuzzy conditions. The system must cope with categorizing emotional states and relate them to decision making in fuzzy conditions, with fuzzy logic and XAI improving transparency and interpretability. The uncertainty of the data, the need for physical data that is not provided in this experiment, the variability of human responses and the complexity of the system limit the actual results. Expected result – emotional state classification accuracy $\geq 85\%$. Actual result – accuracy varies (70-90%) depending on data quality

and feature diversity. Improved feature development, robust ontology design and more accessible XAI visualization tools are required that can reduce the difference between expected and actual results.

Keywords: fuzzy logic, explainable AI (XAI), Fuzzy OWL2 Ontology, decision quality, objective emotion analysis.

Рецензенты: д.ф.-м.н., проф. Алиев А.Р.
к.т.н. Дадашов Ф.Г.

Сведения об авторах

| Фамилия, имя, отчество | Место работы | Ученая степень, ученое звание, должность | Контакты |
|------------------------------------|---|--|--|
| Гардашова Лятафат Аббас кызы | Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности | д.т.н., проф. проректор по научной работе | l.qardashova@asoju.edu.az моб: (+994) 50-584-09-01 |
| Ширинов Ройал Абиль оглы | Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности | Докторант кафедры «Компьютерной инженерии» | royal.shirinov@asoju.edu.az моб: (+994) 55-888-43-00 |
| Ибрагимова Севда Рафик кызы | Национальная Академия Aviации | к.ф.-м.н., доц. кафедры «Аэрокосмические информационные системы» | s_ibrahimova@yahoo.com моб: (+994) 50-342-70-18 |

AVİASİYA METEOROLOGİYASI

UOT 551.509.324

DOI: 10.30546/EMNAA.2025.27.01.105

KÜR –ARAZ OVALIĞININ XƏZƏR ƏTRAFI HİSSƏSİNDƏ HAVA TEMPERATURUNUN MÜASİR XÜSUSİYYƏTLƏRİ

¹Hüseynov N.Ş., ¹Hüseynov C.S., ²İsmayılova N.N.

¹Milli Aviasiya Akademiyası

²Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi, Milli Hidrometeorologiya Xidməti

Məqalədə, Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində hava temperaturunun 1961-2023-cü illəri əhatə edən ilkin məlumatları əsasında bu vilayətdə müasir temperatur rejimi tədqiq edilmişdir. Temperaturun orta aylıq, fəsillik, illik xüsusiyyətləri müəyyən edilmiş, onun orta illik göstəricilərinin yer səthi üzərində paylanması xəritələşdirilmişdir. Bununla yanaşı, hazırda regiona təsir göstərən iqlim dəyişmələrinin temperatur rejiminə təsirlərinin müəyyən edilməsi üçün 1961-2023-cü illərdə göstəricilərinin dinamikası izlənməmişdir. Tədqiqat göstərir ki, Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində ən soyuq ay yanvar, ən isti ay isə iyul və avqust aylarıdır. Yaz fəslı, yay və payızdan daha mülayim keçir. Orta illik temperatur göstəricilərinin hündürlüyə qalxdıqca azalması qanunauyğunluğu vilayətin dənizə yaxın, çökək relyefdə olan rayonlarında qismən pozulmuşdur. Ovalığın mərkəzində orta illik temperatur göstəriciləri dəniz sahili rayonlardan yüksəkdir. İqlim dəyişmələrinin təsirlərinin araşdırılması zamanı, 1971-1980-ci ildən etibarən hava temperaturunun ovalıq üzrə orta hesabla 1.8°C artdığını aşkar edilmişdir. Son norma (1961-1990) ilə müqayisədə, ovalıqda 1991-2023-cü illərdə havanın orta illik temperaturu $0,9^{\circ}\text{C}$ artmışdır. Regional iqlim dəyişmələrinin təsiri ilə ovalıqda hava temperaturunun artması, səhrələşmənin genişlənməsinə, kənd təsərrüfatına yararlı sahələrin şoranlaşmasına gətirib çıxaracaqdır. Burada "istiləşmə", buxarlanma miqdarının artması və yağıntıların azalmasına səbəb olmuşdur. Tədqiqat işi, iqlim dəyişmələri ilə bağlı mitiqasiya tədbirlərində, təsərrüfat sahələrinin idarə edilməsində və yeni iqlim atlaslarının yaradılmasında əvəzsiz rol oynaya bilər.

Açar sözlər: Hava temperaturu, iqlim dəyişmələri, anomaliya, norma, DEM, GIS, Holt-Winters metodu.

Giriş

Planetdə uyğun temperatur rejimi bütün canlı sistemin mövcudluğunu şərtləndirir. Temperatur atmosferdə kiçik və iri hava dövranlarını yaradır. O, Yer kürəsində suyun buxar halında paylanmasını təmin edir. Temperatur göstəricisinin ekvordan qütblərə doğru azalması müxtəlif iqlim qurşaqlarını formalaşdırır [1,2]. Temperaturu daha aşağı olan ərəzilərdə daimi donuşluq, buzlaq sahələri, göstəriciləri daha yüksək ərəzilərdə səhralar var. Canlı mühitin formalaşması onun müəyyən həddində mövcüddür. Beləliklə, hava temperaturu yer kürəsində iqlim yaradan əsas amildir.

Yer kürəsi yarandığı dövrdən bu günədək müxtəlif səbəblərdən bir neçə dəfə iqlim dəyişmələrinə məruz qalıb. Növbəti iqlim dəyişmələri, son illərdə yerin qlobal temperaturunun $1.5-2.0^{\circ}\text{C}$ artmasına səbəb olan "qlobal istiləşmə"-dir. Onun təsirləri ilə daimi buzlaqların əriməsi, dünya okeanının səviyyəsinin artması, cərəyanların məşrutunun dəyişməsi zaman keçdikcə genişlənir. İqlim dəyişmələri daha çox mülayim enliklərdə öz mənfi təsirlərini göstərir. Son onilliklərdə dəyişən iqlim rejimi onun meteoroloji elementlərinin yenidən qiymətləndirilməsini labüd edir [3,4].

İqlim dəyişmələrinin təsirlərinin aşkar edildiyi regionlardan biri ölkəmizdə bir hissəsi olduğu Cənub Qafqazdır. Azərbaycan Respublikası burada öz fiziki-coğrafi mövqeyinə, mürəkkəb relyefinə və rəngarəng iqlim-landşaft qurşaqlarına görə digər ərazilərdən seçilir. Hipsometrik kontrastın böyük olması (4493 m), dəniz sahilində yerləşmə və oroqrafiyanın fərqli xüsusiyyətləri bu ərazidə kompleks iqlim tədqiqatlarının aparılmasına imkan vermir. Bunun üçün oxşar xüsusiyyətli relyefə malik ərazilərin ayrı-ayrılıqda tədqiqi daha səmərəli və effektiv hesab edilir [1, 2]. Deyilənləri nəzərə alaraq, Kür dağarası çökəkliyi vilayətində hava temperaturunun müasir xüsusiyyətlərinin də müəyyən edilməsinə ehtiyac vardır. Bundan öncə müxtəlif dövrlərdə Ə.M. Şıxlinski, Ə.A. Mədətzadə, S.H. Səfərov, R.N. Mahmudov, Ə.S. Məmmədov, R.M. Məmmədov, N.Ş. Hüseyinov, F.Ə. İmanov, Z.S. Allahverdiyev, H.L. Nəbiyev, U.R. Tağıyeva və s. kimi alimlər tərəfindən aparılan tədqiqatlarda hava temperaturunun müxtəlif xüsusiyyətləri tədqiq edilsədə, zaman sıralarının artması, iqlimin dəyişməsi bu vilayətdə hava temperaturunun müasir təsnifatının yenidən verilməsinə labüd edir.

Material və metodlar. Tədqiqat, Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində Milli Hidrometeorologiya Xidmətinə aid 5 hidrometeoroloji stansiyanın yəni ovalığının Xəzər ətrafı hissəsinin mərkəzi Cəfərhan (-16 m), Hacıqabul, (Qazıməmməd -7 m) və şərq hissəsində yerləşən Biləsuvar (75 m), Neftçala (-23 m) və Salyan (-21 m) 1961-2023-cü illəri əhatə edən müşahidə məlumatlarının əsasında aparılmışdır (cədvəl 1).

Cədvəl 1

Hidrometeoroloji stansiyaların əsas xarakteristikaları

| Stansiya | Hündürlük, m | İşdə istifadə edilən müşahidə dövrləri, il. | İqlim normaları Hava temperaturu (1961-1990), °C. |
|-----------|--------------|---|---|
| Biləsuvar | 75 | 1961-2023 | 14.6 |
| Hacıqabul | -7 | 1961-2023 | 15.0 |
| Cəfərhan | -16 | 1961-1966, 1968-1985, 1987-2023 | 14.4 |
| Salyan | -21 | 1965-2023 | 14.7 |
| Neftçala | -23 | 1961-2023 | 14.7 |

Təhlillərdə riyazi, statistik və kartoqrafik metodlardan istifadə edilərək hava temperaturunun orta aylıq, fəsillik, çoxillik və zonal paylanma xüsusiyyətləri, zaman daxili tendensiyaları müəyyən edilmişdir [5]. Həmçinin 1961-2023-cü illərə onillik fazalar kimi baxılmış, hava temperaturunun orta illik göstəricilərinin dinamikası araşdırılmış, onun 2011-2020-ci illəri əhatə edən orta göstəriciləri Ümumdünya Meteorologiya Təşkilatının (ÜMT) son norma kimi tövsiyə etdiyi 1961-1990-cı illərin uyğun göstəricilər ilə müqayisə edilmişdir [5,6]. Təhlil nəticələrindən cədvəl, histqram, qrafiklər Microsoft Exceldə, elektron xəritələr isə ArcGIS proqram təminatında təsvir edilmişdir.

Kür-Araz ovalığı iqlim cəhətdən ən çox kontinentallığı və quraqlığı ilə fərqlənir. Ovalıq yayı quraq keçən mülayim-isti səhra və quru bozqır iqliminə malikdir. Ovalığın şərq və mərkəzi hissələri okean səviyyəsindən aşağıda yerləşmişdir. Ən alçaqda yerləşən sahələr Xəzər dənizi sahilləridir (-27 m) [7]. Kür-Araz ovalığındakı dənizə yaxın ərazilərdə Xəzər dənizinin mülayim, yumuşaldıcı və rütubətli, mərkəzi hissədə yerli hava kütlələrinin quru və isti, Araz çayı, İran yaylasından gələn quru hava kütlələrinin ilboyu təsiri mövcuddur [8].

İşin məqsədi. Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində hava temperaturunun zaman-məkan daxilində müasir paylanma xüsusiyyətləri və 1961-1990-cı illərlə müqayisədə tərəddüdlərinin müəyyən edilməsi tədqiqatda qarşıya qoyulan məqsəddir. Bunun üçün hava temperaturunun orta aylıq, fəsillik, və illik xüsusiyyətlərinə baxılmışdır. Tövsiyə edilən norma göstəriciləri (1961-1990) ilə müqayisədə hava temperaturunun orta göstəricilərinin 1991-2023-cü illərdə dəyişmələri təhlil edilmişdir. Əldə edilmiş nəticələr cədvəl, qrafik, histqram və elektron xəritə vasitəsi ilə qurulmuşdur.

1. Məqsədin müəyyən edilməsi

Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində yerləşən ərazilərdə formalaşan temperatur rejiminin çoxillik dövrdə dəyişmə xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir [9]. Ovalığın Xəzər ətrafı hissəsində mərkəz və şərqı sinoptik xüsusiyyətlərinə görə biri-birindən müəyyən fərqlərə görə ayrılır [8]. Mərkəzi hissədə çay şəbəkəsi azdır. Burada qərb və şərqdən gələn hava kütlələri zəifləmiş halda çatır və bütün il boyu kontinental tip üstünlük təşkil edir. Mərkəzi hissəyə İran yaylasından təsir edən istilik dalğaları qışda mülayimləşməyə, yayda quraqlığa səbəb olur. Ovalığın şərqində isə əsas üstünlük şərqdən və Xəzər dənizi üzərində formalaşan mülayim rütübətli hava kütlələrinin təsirləridir. Bu kütlələr mərkəzi hissələrə qədər gedib çıxır. Dənizin təsiri havanın hərərətini yayda bir az aşağı, qışda isə bir qədər yuxarı göstəricilər (1-2⁰C) almasına səbəb olur [8, 10]. Tədqiqatlar zamanı, çoxillik (1961-2023) orta temperatur kəmiyyətlərinin Ümumdünya Meteorologiya Təşkilatının (WMO) öncədən baza qiyməti kimi norma qəbul etdiyi dövr (1961-1990) ilə müqayisəli səciyyəsi verilmişdir. Tədqiqatın aparıldığı 62 illik dövrdə temperatur kəmiyyətinin həmçinin 2 yarım dövr (1961-1990–cı illər I dövr, 1991-2023–cü illər II dövr) üçün nisbi xarakteristikasında öyrənilir.

Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində yanvar (4.2⁰C) və fevral (5.3⁰C) ayları ilin ən soyuq aylarıdır. Havanın temperaturu martda (8.6⁰C) bütün stansiyalarda müsbət göstəricilər alır. Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində aprelədən (13.7⁰C) hava isinməyə başlayır. Hava temperaturunun orta aylıq göstəricisi mayda 19.6⁰C-i, iyunda 25.0⁰C-i keçir. İyulda 27.4⁰C və avqustda bu göstərici 27.2⁰C təşkil etməklə, ilin ən isti aylarıdır. Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində sentyabr (22.8⁰C) və oktyabrda (17.0⁰C) hava temperaturu azalmağa başlayır və noyabrda 10.4⁰C-ə kimi enir. Dekabrda soyuqlar düşür və temperaturun orta aylıq göstəricisi 5.8⁰C təşkil edir.

Ümumiyyətlə, ovalığın Xəzər ətrafı hissəsində orta illik temperaturu 15.6⁰C təşkil edir. Bu göstəricilər Hacıqabuldan Cəfərhan stansiyasına kimi 15.9⁰C-dən 15.2⁰C-ə kimi azalır. Vilayətin ən yüksək orta illik göstəriciləri Hacıqabul (15.9⁰C) və Salyan, Neftçalada isə (15.6⁰C) müşahidə edilir (cədvəl 2).

Cədvəl 2

Hava temperaturunun aylar üzrə paylanması (1991-2023)

| Stansiya | Aylar | | | | | | | | | | | | İl |
|-------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Cəfərhan | 3.6 | 5.0 | 8.6 | 13.6 | 19.4 | 24.7 | 27.0 | 26.7 | 22.4 | 16.5 | 9.9 | 5.1 | 15.2 |
| Hacıqabul | 3.8 | 5.1 | 8.7 | 14.2 | 20.3 | 26.0 | 28.7 | 28.2 | 23.4 | 17.3 | 10.1 | 5.3 | 15.9 |
| Biləsuvar | 4.3 | 5.3 | 8.7 | 13.6 | 19.7 | 24.9 | 27.3 | 27.1 | 22.5 | 16.7 | 10.3 | 5.9 | 15.5 |
| Salyan | 4.4 | 5.4 | 8.6 | 13.7 | 19.6 | 25.0 | 27.5 | 27.2 | 22.7 | 17.1 | 10.5 | 5.9 | 15.6 |
| Neftçala | 5.1 | 5.8 | 8.6 | 13.2 | 19.0 | 24.2 | 26.6 | 26.7 | 22.8 | 17.5 | 11.4 | 6.9 | 15.6 |
| Akvatoriya | 4.2 | 5.3 | 8.6 | 13.7 | 19.6 | 25.0 | 27.4 | 27.2 | 22.8 | 17.0 | 10.4 | 5.8 | 15.6 |

Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı akvatoriyasında 1961-2023-cü illər ərzində hava temperaturunun ekstremal göstəricilərinin ilboyu paylanması da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu vilayətdə temperaturun maksimal göstəricilərinin ən aşağı həddi yanvar (7.2⁰C) və fevral (8.3⁰C) aylarında müşahidə olunmuşdur. Vilayət üzrə maksimal orta aylıq temperatur martda 12.2⁰C, aprelə 16.8⁰C, mayda 22.9⁰C təşkil edir. Maksimal orta aylıq temperatur iyundan başlayaraq (28.1⁰C) ilin ən yüksək həddinə iyul (30.0⁰C) və avqustda (29.2⁰C) çatır. Bu göstəricilər sentyabrdan (25.2⁰C) azalmağa başlayır, oktyabrda 20.8⁰C, noyabrda 14.0⁰C və dekabrda 9.3⁰C-ə enir. Akvatoriya üzrə temperaturun maksimal orta illik göstəricisi 16.8⁰C civarındadır. Bu göstəricinin ən yüksək həddi Neftçala, Biləsuvar, Hacıqabul (17.0⁰C), ən aşağı həddi Cəfərhan (16.3⁰C) qeydə alınmışdır (cədvəl 3).

Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində temperatur rejiminin ekstremal göstəriciləri də fərqli paylanmaya malikdir. Ümumiyyətlə, akvatoriyada ən maksimal temperatur yanvarda 8.0⁰C (1966, Neftçala), fevralda 8.6⁰C (2022, Neftçala), martda 12.8⁰C (2023, Biləsuvar), apreldə 17.5⁰C (2000, Hacıqabul), mayda 23.8⁰C (2014, Hacıqabul), iyunda 29.6⁰C (2019, Hacıqabul), iyulda 31.4⁰C (2018, Hacıqabul), avqustda 30.6⁰C (2021, Hacıqabul), sentyabrda 25.9⁰C (1979, Cəfərhan), oktyabrda 23.1⁰C (1979, Cəfərhan), noyabrda 14.4⁰C (2023, Biləsuvar), dekabrda 10.7⁰C (2010, Neftçala) müşahidə edilmişdir.

Akvatoriyanın minimal temperaturları isə aylar üzrə hidrometeoroloji stansiyalardan asılı olaraq fərqlidir. Təhlillər göstərir ki, Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində minimal aylıq temperatur yanvarda daha aşağıdır. Ərazinin hava temperaturunun minimal orta aylıq göstəriciləri də aylara görə fərqli paylanır. İlin ən aşağı minimal göstəriciləri yanvar (-2.3⁰C) və fevralda (-2.1⁰C) olmaqla, 0⁰C-dən aşağı olmuşdur. Martda akvatoriyanın minimal orta aylıq temperaturu 4.8⁰C müşahidə edilmişdir. Minimal orta aylıq temperatur apreldən (10.4⁰C), başlayaraq, may (14.1⁰C), iyun (21.2⁰C) və minimal orta aylıq temperatur ən yüksək həddinə iyulda (24.6⁰C) çatır. Avqustda isə (24.1⁰C) müşahidə olunub. Sentyabrdan (19.3⁰C) azalmağa başlayan minimal orta aylıq temperatur, oktyabrda (12.3⁰C), noyabrda (3.7⁰C) qeydə alınmışdır. Dekabrda (1.0⁰C) temperaturun minimal göstərici olmuşdur. Akvatoriyada minimal orta illik temperatur 13.2⁰C təşkil etmişdir, ayrı-ayrı stansiyalarda bu göstəricilər 12.8-13.5⁰C intervalında olmuşdur.

Cədvəl 3

Hava temperaturunun aylar üzrə maksimal və minimal paylanması (1991-2023)

| T, ⁰ C | Stansiya | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | İl |
|------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| T_{max} | Hacıqabul | 6.7 | 7.8 | 12.3 | 17.5 | 23.8 | 29.6 | 31.4 | 30.6 | 25.3 | 20.4 | 13.1 | 9.2 | 17.0 |
| | Cəfərhan | 6.3 | 8.2 | 12.2 | 16.7 | 22.5 | 27.6 | 29.6 | 28.4 | 25.9 | 23.1 | 13.9 | 7.9 | 16.3 |
| | Biləsuvar | 7.3 | 8.4 | 12.8 | 17.2 | 23.6 | 27.9 | 29.9 | 29.1 | 25.1 | 20.0 | 14.4 | 9.0 | 17.0 |
| | Salyan | 7.6 | 8.3 | 11.7 | 16.6 | 22.5 | 28.5 | 30.1 | 29.1 | 24.9 | 20.2 | 13.3 | 9.7 | 16.7 |
| | Neftçala | 8.0 | 8.6 | 11.9 | 15.9 | 22.0 | 27.1 | 29.2 | 28.8 | 24.8 | 20.5 | 15.2 | 10.7 | 17.0 |
| | Vilayət | 7.2 | 8.3 | 12.2 | 16.8 | 22.9 | 28.1 | 30.0 | 29.2 | 25.2 | 20.8 | 14.0 | 9.3 | 16.8 |
| T_{min} | Hacıqabul | -2.9 | -2.5 | 4.8 | 10.6 | 13.8 | 22.1 | 25.2 | 24.2 | 19.7 | 12.5 | -0.4 | 0.7 | 13.5 |
| | Cəfərhan | -3.2 | -2.8 | 4.9 | 10.4 | 13.1 | 20.9 | 24.4 | 23.8 | 18.9 | 11.7 | 3.2 | 0.6 | 12.8 |
| | Biləsuvar | -2.1 | -2.4 | 4.8 | 10.4 | 14.4 | 21.1 | 24.6 | 24.1 | 18.8 | 12.2 | 4.7 | 0.7 | 13.1 |
| | Salyan | -2.2 | -1.9 | 4.7 | 10.4 | 14.3 | 21.2 | 24.8 | 24.4 | 19.5 | 12.3 | 5.1 | 1.0 | 13.4 |
| | Neftçala | -1.1 | -0.9 | 4.9 | 10.0 | 14.7 | 20.7 | 24.1 | 24.2 | 19.7 | 13.0 | 5.9 | 2.1 | 13.3 |
| | Vilayət | -2.3 | -2.1 | 4.8 | 10.4 | 14.1 | 21.2 | 24.6 | 24.1 | 19.3 | 12.3 | 3.7 | 1.0 | 13.2 |

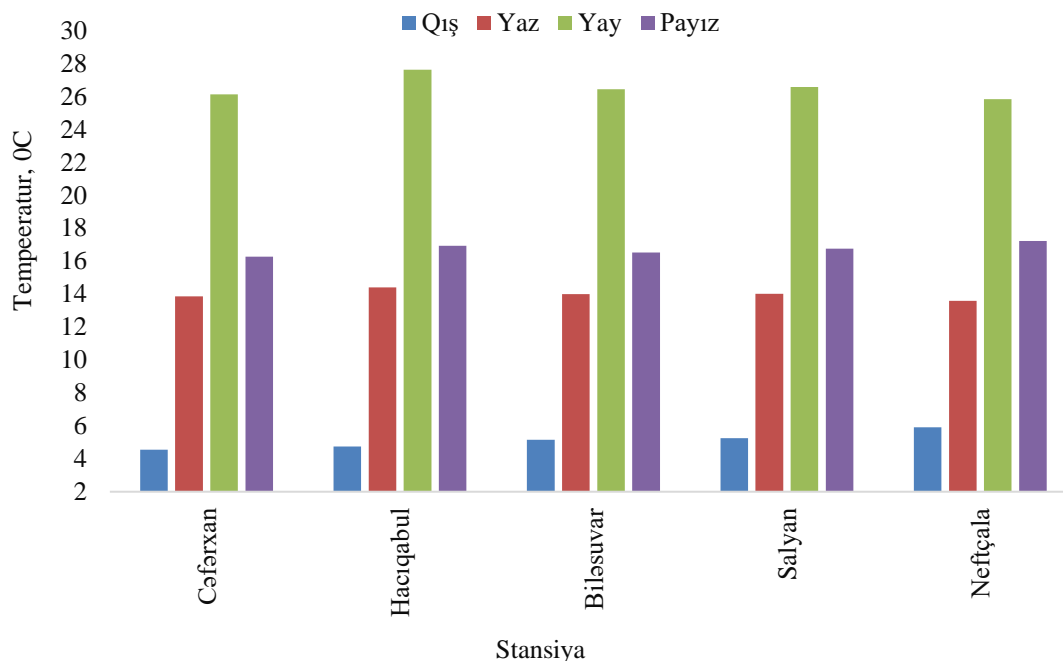
Ayrı-ayrı illərdə, stansiyalar üzrə müşahidə edilən minimal orta aylıq temperaturlara gəldikdə isə yanvarda -3.2⁰C (1972, Cəfərhan), fevralda -2.8⁰C (1972, Cəfərhan), martda 4.7⁰C (1985, Salyan), apreldə 10.0⁰C (1987, Neftçala), mayda 13.8⁰C (1991, Hacıqabul), iyunda 20.7⁰C (1978, Neftçala), iyulda 24.1⁰C (1969, Neftçala), avqustda 24.0⁰C (1992, Cəfərhan), sentyabrda 19.2⁰C (1970, Cəfərhan), oktyabrda 12.2⁰C (1977, Biləsuvar), noyabrda 3.2⁰C (1970, Cəfərhan), 0.6⁰C (2002, Cəfərhan) müşahidə edilmişdir.

Akvatoriyanın aylıq orta temperaturlarının il boyu fərqli xüsusiyyətli olması, burada fəsillik temperatur göstəricilərinin də paylanmasında müxtəlifliyə səbəb olur. Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində fəsillik hava temperaturlarının orta göstəriciləri Xəzər dənizinin sahillərinə doğru dəyişir (şəkil 1).

Belə ki, bölgədə fəsillik orta temperatur göstəriciləri stansiyaların yerləşdiyi hündürlük qurşağına görə dəyişir. İlin ən soyuq fəslı qışıdır. Hava temperaturunun bu göstəricisi qışıda 5.1⁰C təşkil edir və dəniz sahili ərazidə yerləşən Cəfərhanadək 5.9⁰C-dən 4.5⁰C-ə kimi paylanır. Temperaturunun vilayət üzrə orta göstəricisi yazda 14.0⁰C (14.4⁰C-dən 13.6⁰C-ə) və payızda 16.7⁰C

(17.2 °C-dən 16.3°C-ə) müəyyən olunmuşdur. Ən isti fəsil olan yayda orta fəsillik temperatur 26.6°C təşkil edir. Burada ən yüksək orta aylıq temperatur 27.6°C olmaqla, dənizsahili əraziyə yaxın Hacıqabul stansiyasında müşahidə edilir.

Fəsillik orta göstəricilər stansiyaların yerləşdiyi fiziki-coğrafi mövqeyə uyğun olaraq, fərqli xüsusiyyətləri ilə seçilir. Beləki, orta fəsillik temperaturun qışda daha aşağı göstəriciləri Cəfərhan (4.5°C) və Hacıqabulda (4.7°C), yayda daha yüksək göstəriciləri isə Hacıqabulda (27.6°C), Salyanda (26.6°C) müşahidə edilir.

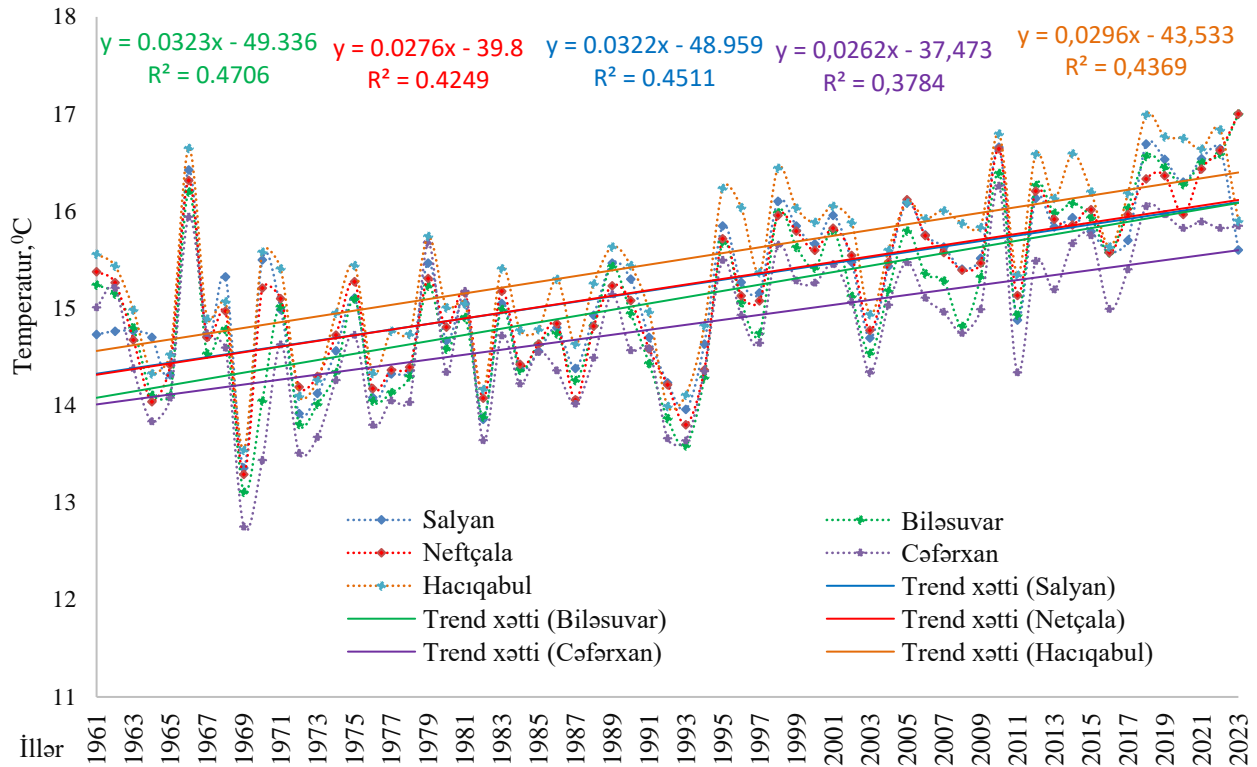


Şəkil 1. Hava temperaturunun fəsillik paylanması (1991-2023)

Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı ərazilərində hava temperatur orta illik göstəricilərinin ilin isti dövründə burada yağıntıların azlığı, su ehtiyatının aşağı olması, güclü buxarlanma, şoranlaşma, yeraltı su ehtiyatının dərinədə olması bu zonada yaşıl landşaftın yayılmasına imkan vermir [11-13]. Beləliklə, onun təxminən 100 m-ə kimi mərkəzi, şərq düzənliklərində orta və zəif parçalanmış dağarası düzənlik və ovalıqların yarımşəhra, cənub-qərbində 300 m-ə kimi zolaqda orta dərəcədə parçalanmış düzənlik və ovalıqların quru-bozqır, şimal hissəsində kiçik zolaqda intensiv parçalanmış dağətəyinin arid meşə-kolluq, şimal-şərq və şimal-qərbində 500 m-ə hündürlüyə kimi kəskin və orta dərəcədə parçalanmış dağətəyinin yarımşəhra landşaftları yayılmışdır [2,7,14].

Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində ayrı-ayrı stansiyaları üçün orta illik hava temperaturunun 1961-2023-cü illər ərzində tendensiyasını əks etdirən qrafiklər qurulmuşdur (şəkil 2). Qrafiklərə əsasən, bütün stansiyalarda 1961-2023-cü illərdə orta illik temperatur tendensiyası, ayrı-ayrı illərdə tərəddüdləri ilə müşahidə olunsada, ümumi dövr üçün bütün stansiyalarda müsbət trend var. Bu temperaturun artım meylinin olduğunu göstərir.

Ümumi akvatoriya üçün çoxillik fazada digər illərlə müqayisədə daha isti və daha soyuq keçən illər filtr vasitəsi ilə seçilmişdir. Analiz göstərir ki, 1966, 1998, 2010, 2012, 2018-2023-cü illər zaman sırasının ən isti, 1964, 1965, 1969, 1972, 1973, 1976, 1978, 1982, 1992, 1993-cü illər isə ən soyuq keçən 10 ili olduğu müəyyən edilmişdir (şəkil 2). Təhlillər göstərir ki, sıranın ən isti illərinin 90 %-i 1998-ci ildən sonra müşahidə edilib. Ən soyuq illərin hamısı 1993-cü ildən əvvəl baş vermişdir. Bu müqayisə rayonda istiləşmənin sürətlə artdığına açıq sübutdur.

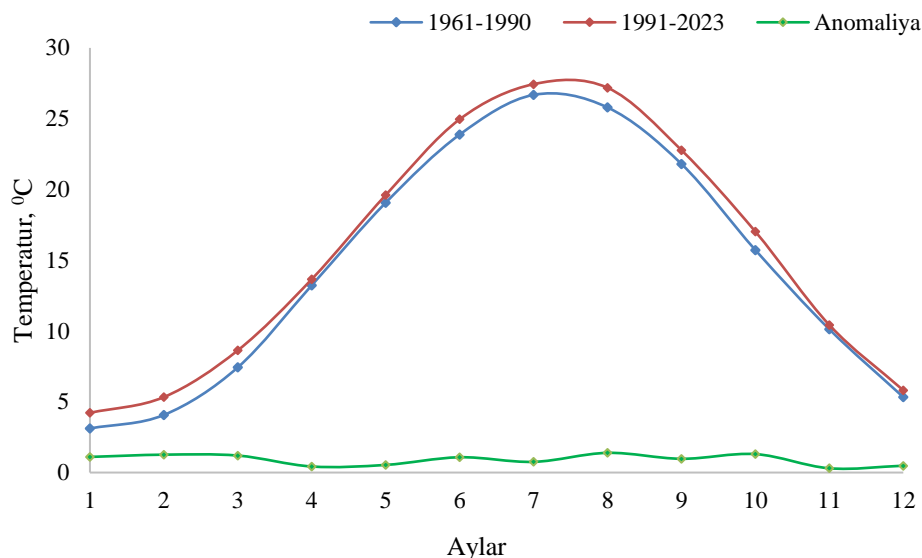


Şəkil 2. Hidrometeoroloji stansiyalarda orta illik hava temperaturunun dinamikası

Tədqiqatda hava temperaturunun zaman-məkan daxili paylanması öyrənilməklə yanaşı, çoxillik temperatur rejiminə iqlim dəyişmələrinin təsirləri də müəyənləşdirməyə çalışmışıq. Bunun üçün 1961-1990-cı illərin hava temperaturunun orta göstəricilərinin 1991-2023-cü illərin uyğun göstəricilərilə müqayisəsi aparılmışdır (şəkil 2).

Tədqiqat göstərir ki, 1961-1990-cı illər ilə müqayisədə 1991-2023-cü illərdə Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı akvatoriyasında havanın orta illik temperaturu bütün aylarda artmışdır. Artımın orta çoxillik göstəricisi 0.9°C təşkil edir. Beləki, orta çoxillik temperatur artımı yanvar, iyun və sentyabr aylarında (1.0°C - 1.1°C), fevral, mart və oktyabr aylarında isə (1.2°C - 1.3°C) qədər qalxmışdı, lakin aprel, may və dekabr aylarında isə orta illik temperatur (0.4°C - 0.5°C) qədər enmə baş verib, iyul ayında isə orta temperatur yenidən bir qədər yüksələrək (0.8°C) civarında olmuşdur. Avqust ayında bu yüksəlmə ən yüksək həddə (1.4°C) qədər yüksəlib. Lakin, noyabr ayında isə aylıq orta temperatur yenidən enərək (0.3°C) ilin ən aşağı orta illik temperaturu kimi müşahidə edilib (şəkil 3).

Ölkənin iri kənd təsərrüfatı və istehsal sahələrinin Kür təbii vilayətində yerləşir. Burada genişlənməkdə olan səhrələşmə, şoranlaşma, yeraltı su ehtiyatlarının azalması genişlənməkdə olan ekoloji böhranın xəbərçisidir. Kür-Araz ovalığının dəniz səviyyəsindən aşağıda yerləşən hissələrində bataqlıqlaşma böyük problemdir. İqlim dəyişmələrinin təsiri ilə yazın əvvəlləri dağlarda qarın sürətlə əriməsi, Kür və ona qoşulan çayların gursululuq dövrünün qısa müddətdə və iri həcmdə baş verməsinə səbəb olur. Bununla çayların üzərində olan anbarlar dolur və artıq su çaya buraxılır. Bu, bir neçə gün ərzində Kür vilayətində bol suyun keçdiyi ərazilərdə yeraltı suların səviyyəsinin qalxması, tez-tez isə bəndlərin dağılması ilə bütün əraziləri subasma ilə müşahidə edilir. Payızın əvvəllərindən çaylarda su həcmi azalmağa başlayır və bəndlər həmin suları tədarük edir. Nəticədə, Kür çayının deltasında suyun həcmi aşağı düşür və Xəzər dənizinin suyu delta ilə ovalığa daxil olur. Son illərdə buna görə deltada bəndin tikilməsi mitiqasiya tədbirlərinə daxil idi [4, 11,15].

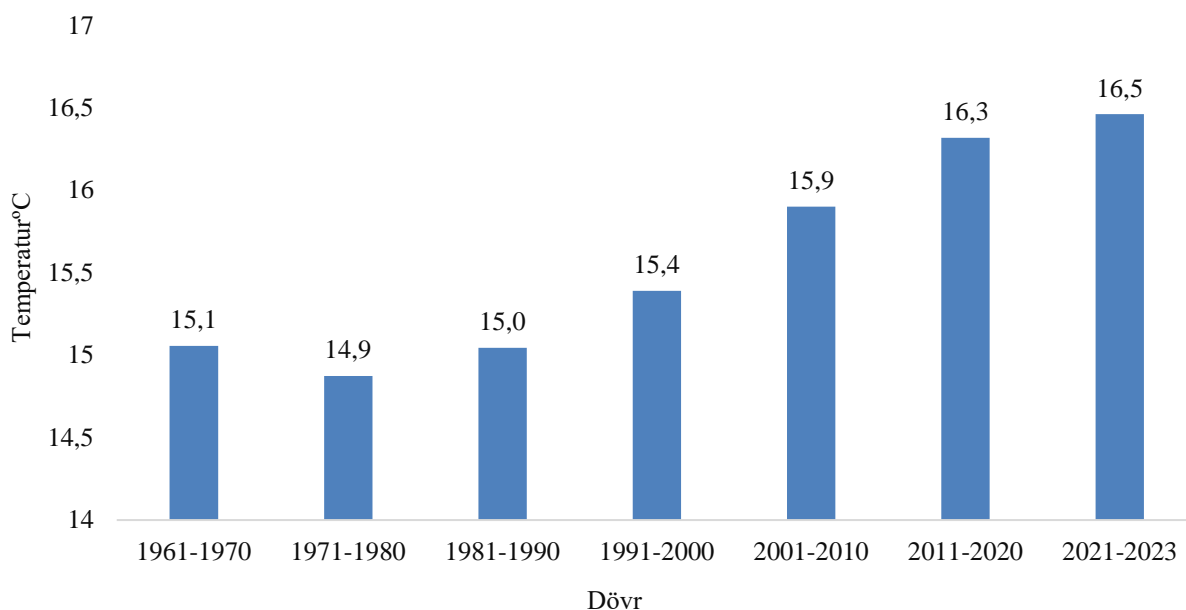


Şəkil 3. Hava temperaturunun 1961-1990-cı illərlə müqayisədə 1991-2023-cü illərdə tərəddüdləri

Xəzər dənizinin son bir neçə ildə səviyyəsinin azalması ilə sahilboyu qumlu düzənliklərin sahəsi genişləyib. Nəticədə küləyin güclü olduğu dövrdə qumun ovalığın daxilinə nüfuz etməsinə şərait yaranır və duzlar yeni əraziləri “fəth” edir. Həmçinin ildən-ilə artan temperatur, burada suvarma kanallarının üzəri açıq olduğu üçün buxarlanma miqdarının artmasına şərait yaradır. Vilayətdə yarımşəhra və quru-çöl landşaftı öz əhatə dairəsini genişləndirir, ətraf ərazilərdə olan meşə-kolluqların sahəsinin azalmasına səbəb olur [9,11,16]. Dəniz səviyyəsinin və Kürün səviyyəsinin aşağı düşməsi yeraltı su ehtiyatının azalmasına və arteziyan quyularının illik su balansının pozulmasına səbəb olur. Bu da təsərrüfat potensialının azalmasına şərait yaradır. Bu yanaşma bizə, mitiqasiya tədbirlərinin daim inkişaf etdirməyə imkan verir. İqlim dəyişmələrinin təsirlərindən daim xəbərdar olmaq və onunla ayaqlaşmaq üçün hava temperaturunun dinamikası daim izlənilməlidir. Temperatur tendensiyalarının araşdırılması məqsədi ilə 1961-2023-cü illəri əhatə edən temperaturun orta illik göstəricilərinin 10 illik riyazi ortaları müəyyən edilmişdir (cədvəl 3). Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsi 1961-2023-cü illərdə orta illik hava temperaturunun onillik orta göstəricilərinin dəyişmə qrafiki verilmişdir. Burada orta illik temperaturun 1961-1970-ci ildən başlayaraq, hər növbəti on ilin, əvvəlki on il ilə müqayisəsi aparılmışdır. Əvvəl, orta illik temperatur 1971-1980-cı ilə doğru cüzi (0.1°C) azalmışdır. 1981-1990-cü illərdən başlayaraq, hər dekada, əvvəlki 10 illiklə müqayisədə 0.2°C , 1991-2000-də 0.3°C , 2001-2010-da 0.5°C , 2011-2020-də 0.4°C artmışdır.

Nəticədə, 1961-1970-ci illərlə müqayisədə 2010-2020-ci illərin orta illik temperaturu arasında 1.2°C fərq var. Bu amplituda, son 62 ildə regionda “istiləşmənin” kəskinləşdiyini göstərir. Qrafikə nəzər salsaq, bölgədə temperaturun 1980-cı ilə qədər nisbətən azalmasına baxmayaraq, 1981-ci ildən onun daim artdığını görmək olar.

1961-2023-cü illərdə temperaturun orta illik göstəricilərinin tendensiyasının əsasına zaman sıralarının trend və mövsümlük modelləşdirmədə istifadə edilən eksponensial hamarlaşdırma metodu ilə (Holt-Vinters metod) bu əsrin sonuna qədər uzatsaq, onda vilayətin orta illik temperaturunun 2091-2100-cü ildə 17.4°C olması gözlənilir (şəkil 4).



Şəkil 4. Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində hava temperaturunun onilliklər ilə dinamikası

Ekspansional hamarlaşdırma metodu Holt-Winters metodunda adlandırılır və zaman sıralarının proqnozlaşdırılmasında istifadə edilir. Holt-Winters mövsümi metodu əsas proqnoz tənliyindən və üç hamarlaşdırıcı— ℓ_t , səviyyəli trendi, b_t , α , β^* və γ uyğun hamarlaşdırma parametrləri ilə mövsümi komponent s_t üçün tənliklərindən ibarətdir. Burada multiplikativ metoddan istifadə edilmişdir:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{t+h|t} &= (\ell_t + hb_t)s_{t+h-m(k+1)} \\ \ell_t &= \alpha \frac{y_t}{s_{t-m}} + (1-\alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1}) \\ b_t &= \beta^* (\ell_t - \ell_{t-1}) + (1-\beta^*)b_{t-1} \\ s_t &= \gamma \frac{y_t}{(\ell_{t-1} + b_{t-1})} + (1-\gamma)s_{t-m}\end{aligned}$$

Bu metod, “Python”, “R” və s. proqramlaşdırma dillərində həyata keçirilə bilər. Metod, temperatur məlumatlarını proqnozlaşdırmaq üçün tendensiyaları, fəsillik tərəddüdləri nəzərə alır və məlumatlarda səhvlər olsa da, dəqiq proqnoz verə bilər [10,16].

Nəticə

Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində yerləşən fiziki-coğrafi rayonlarında 1961-2023-cü illər üzrə hava temperaturunun müşahidə məlumatları əsasında yerinə yetirilmiş tədqiqatda aşağıdakı nəticələr əldə edilmişdir:

1. Abşeron akvatoriyasında hava temperaturu ən soyuq ay yanvarda (4.2°C), ən isti iyulda (27.2°C) müşahidə edilir. Ən soyuq ayla ən isti ay arasında amplituda 23.0°C -dir.

2. Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı ərazilərinin mərkəzi və şərq hissələrində fəsillik orta temperatur qışda $4-6^{\circ}\text{C}$, yazda $14-15^{\circ}\text{C}$, yayda $26-28^{\circ}\text{C}$, payızda $16-17^{\circ}\text{C}$ civarında dəyişir.

3. Kür-Araz rayonun yüksəkliyə doğru orta illik temperatur zonallıq qanunauyğunluğuna görə azalmalı olduğu halda, bu qanunauyğunluq pozulur və mərkəzi rayonlarda 16.0°C -ə kimi artır. Akvatoriyada, 100 m-dən aşağı olan bütün arealda temperatur göstəricisi 15.5°C -dən yüksəkdir. Bu areal ümumi ərazinin təxminən 56.3 %-ni təşkil edir.

4. 1961-2023-cü illərdə ümumi dövrdə hava temperaturu artmışdır, on illiklər üzrə nəzər salsaq, əsas artım 1998-ci ildən başlamışdır. Hava temperaturunu Holt-Winters metodu ilə proqnozlaşdırsaq, 2100-cü ildə 2030-cu illə müqayisədə hava temperaturu 1.0°C daha artmış olacaq.

5. Bölgədə 1961-1990-cı illər ilə müqayisədə 1991-2023-cü illərdə hava temperaturunun orta illik göstəriciləri 0.9°C artmışdır. Artım göstəriciləri avqustda (1.4°C) ən yüksək həddə olmuşdur.

Kür-Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsi hava temperatur rejiminin müasir xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi, gələcəkdə iqlim dəyişmələri ilə bağlı mitiqasiya tədbirlərində, iqlim atlaslarının yenilənməsində və təsərrüfat sahələrinin idarə edilməsində xüsusi rola malikdir. Tədqiqat işi, yuxarıda sadalanan bütün məsələlərin həllində nəzərə alın bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. İsmayılov, R.A. Kür çayında baş verən daşqınlar və bundan mühafizə yolları // – Bakı: Azərbaycan Coğrafiya Cəmiyyətinin Əsərləri, – 2013. C. XVIII, – s. 252-255.
2. Azərbaycan Respublikasının Milli Atlası [Atlas] / Bakı: Dövlət Torpaq və Xəritəçəkmə Komitəsi, –2014. –444 s.
3. Məmmədov, Ə.S. Azərbaycanda müasir iqlim dəyişmələri və onun proqnozlaşdırılması // –Bakı, –328s.
4. Azərbaycan Respublikasının Coğrafiyası. Fiziki Coğrafiya [I cild] / X.K. Tanrıverdiyev, H.A. Xəlilov, M.Y.Xəlilov [və b.]. –Bakı: Avropa, –2015. –530 s.
5. Mahmudov, R.N. Azərbaycanda regional iqlim dəyişmələri və təhlükəli hidrometeoroloji hadisələr / R.N.Mahmudov. – Bakı: Milli Aviasiya Akademiyası, – 2022. – 210 s.
6. Гаджиев А.Х., Гусейнов Дж.С., Исмаилова Н.Н. Динамика метеорологических факторов, влияющих на опустынивание Кура-Араксинской низменности за период 1991–2020 гг. // –Москва: Гидрометеорологические исследования и прогнозы, № 1 (387). –2023. –с.148-160.
7. Winters, P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages // –Elsevier: Management Science, –6(3), –p. 324–342. doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324
8. Xəzər Dənizinin Hidrometeoroloji Atlası [Xəritə] / – Bakı: Nafta-Press, –2014. –300 s.
9. Hüseynov, C.S., İbrahimova, İ.V. Kür-Araz ovalığında uzunmüddətli temperatur dəyişmələrinin xüsusiyyətləri // – Bakı: Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2020. C. 22, № 1-2, – s. 80-86.
10. Hüseynov, N.Ş., Hacıyev, A.X., Hüseynov, C.S. İqlim dəyişmələrinin Kür-Araz ovalığında səhrələşməyə təsirlərinin qiymətləndirilməsi // –Bakı: Su problemləri, Elm və texnologiyalar. –№ 1 (21), –2023. –s. 54-66. DOI: 10.30546/wtst
11. İmanov, F.Ə. Hidrometeorologiyada statistik metodlar / F.Ə.İmanov. – Bakı: MBM, – 2011, – 272 s.
12. Xəlilov, Ş.B. Azərbaycanın ekocoğrafi problemləri // – Bakı: Nafta-Press nəşriyyatı, – 2006. –160 s.
13. Holt, C. C. (1957). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted averages O.N.R. Memorandum // –Pittsburgh: Carnegie Institute of Technology, –№ 52, –2003. – p.437-456. doi.org/10.1016/j.ijforecast.2003.09.015
14. World Meteorological Organization. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals // Geneva, 2017. № 1203, Switzerland. 29 p. ISBN 978-92-63-11203-3.
15. Kərimov, R.N. İqlim dəyişmələrinin təsirlərinin azaldılması və ona adaptasiya tədbirləri / R.N.Kərimov. – Bakı: Müəllim, – 2016. – 48 s.
16. Mahmudov, R.N., Məmmədova, V.İ., Dadaşova, F.S. Müasir iqlim dəyişmələri fonunda son illərdə (2021-2022) Azərbaycanın hidrometeoroloji şəraitinin təhlili // –Bakı: Azərbaycan Coğrafiya Cəmiyyətinin əsərləri, Coğrafiya və təbii resurslar, №1 (19), – 2023, –s.3.

REFERENCES

1. Ismayilov, R.A. Kur chayynda bash veren dashgynlar ve bundan muhafize yollary // – Baky: Azərbaycan Jəografiya Jemiyetinin Eserleri, – 2013. Jild XVIII, – s. 252-255.
2. Azərbaycan Respublikasının Milli Atlası [Atlas] / Bakı: Dövlət Torpaq və Kəndçilik Komitəsi, 2014. 444 s.
3. Mammadov, A.S. Azərbaycanda muasir iqlim dəyişmələri və onun proqnozlaşdırılması.-Bakı, 328s.
4. Azərbaycan Respublikasının Jəografiyası. Fiziki Jəografiya [I jild] / Kh.K. Tanrıverdiyev, H.A. Xəlilov, M.Y.Xəlilov [və b.]. Bakı: Avropa, 2015. 530 s.
5. Mahmudov, R.N. Azərbaycanda regional iqlim dəyişmələri və təhlükəli hidrometeoroloji hadisələr / R.N.Mahmudov. – Bakı: Milli Aviasiya Akademiyası, – 2022. – 210 s.
6. Gadzhiev, A.Kh., Guseinov, J.S., Ismailova, N.N. Dinamika meteorologicheskikh faktorov, vliyayushikh na opustynivanie Kura-Araksinskoy nizmennosti za period 1991-2020 gg. // –Moskva: Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozi, № 1 (387), – 2023. –s.148-160.
7. Winters, P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages // –Elsevier: Management Science, –6(3), –p. 324–342. doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324
8. Kəzər Dənizinin Hidrometeoroloji Atlası [Kəndçilik] / – Bakı: Nafta-Press, –2014. –300 s.
9. Hüseynov, J.S., İbrahimova, İ.V. Kur-Araz ovalıqında uzunmüddətli temperatur dəyişmələrinin xüsusiyyətləri // –Bakı: Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2020. J. 22, № 1-2, – s. 80-86.
10. Hüseynov, N.S.H., Hacıyev, A.Kh., Hüseynov, J.S. İqlim dəyişmələrinin Kur-Araz ovalıqında səhralaşmaya təsirlərinin qiymətləndirilməsi // –Bakı: Su problemləri, Elm və texnologiyalar. –№ 1 (21), –2023. –s.54-66. DOI: 10.30546/wtst
11. İmanov, F.E. Hidrometeorologiyada statistik metodlar / F.E.İmanov. – Bakı: MVM, – 2011, – 272 s.
12. Xəlilov, Ş.B. Azərbaycanın ekoloji problemləri / Ş.B.Xəlilov, –Bakı, Nafta-Press nəşriyyatı, 2006, 160 s.
13. Holt, C. C. (1957). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted averages O.N.R. Memorandum // –Pittsburgh: Carnegie Institute of Technology, –№ 52, –2003. – p.437-456. doi.org/10.1016/j.ijforecast.2003.09.015
14. World Meteorological Organization. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals // Geneva, –2017. № 1203, Switzerland. –29 p. ISBN 978-92-63-11203-3.
15. Kerimov, R.N. İqlim dəyişmələrinin təsirlərinin azaldılması və ona adaptasiya tədbirləri / R.N.Kerimov. – Bakı: Muellim, –2016. –48 s.
16. Mahmudov, R.N., Məmmədova, V.İ., Dadaşova, F.S. Muasir iqlim dəyişmələri fonunda son illərdə (2021-2022) Azərbaycanın hidrometeoroloji şəraitinin təhlili //Azərbaycan Jəografiya Jemiyetinin eserləri, Jəografiya və təbii resurslar, №1 (19), –Bakı, –2023, -s.3.

CONTEMPORARY CHARACTERISTICS OF AIR TEMPERATURE IN THE AROUND THE CASPIAN PART OF THE KUR-ARAZ VALLEY

¹Hüseynov N.Sh., ¹Hüseynov C.S., ²İsmayılova N.N.

¹National Aviation Academy

²Ministry of Ecology and Natural Resources, National Hydrometeorological Service

In the article, the modern temperature regime in this province was studied based on the preliminary data of the air temperature in the Kura-Araz lowland surrounding the Caspian Sea covering the years 1961-2023. The average monthly, seasonal, and annual characteristics of

temperature have been determined, and the distribution of its average annual indicators over the earth's surface has been mapped. At the same time, the dynamics of the indicators in 1961-2023 were followed in order to determine the effects of climate changes currently affecting the region on the temperature regime. The study shows that January is the coldest month, and July and August are the warmest months in the Kura-Araz lowland near the Caspian. Spring is milder than summer and autumn. The regularity of the decrease of the average annual temperature indicators with increasing height is partially violated in the regions of the province, which are close to the sea and have a low relief. Average annual temperature indicators in the center of the plain are higher than in coastal regions. When examining the effects of climate change, it was found that the air temperature increased by an average of 1.80C across the plains from 1971-1980. Compared to the last norm (1961-1990), the average annual air temperature in the lowland increased by 0.90C in 1991-2023. Due to regional climate changes, the increase in air temperature in the plains will lead to the expansion of desertification and the salinization of areas suitable for agriculture. Here, "warming" has led to an increase in evaporation and a decrease in precipitation. Research work can play an invaluable role in climate change mitigation measures, farm management and the creation of new climate atlases.

Keywords: Air temperature, climate changes, anomaly, norm, DEM, GIS, Holt-Winters method.

Rəyçilər: *t.e.d., prof., Bədəlova A.N.*
t.f.d., dos. Ramazanov K.Ş.

Müəlliflər haqqında məlumat

| Soyadı, adı, atasının adı | İş yeri | Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı | Əlaqə |
|---------------------------------|--|---|--|
| Hüseynov Nazim Şəkər oğlu | Milli Aviasiya Akademiyası | "Aviasiya meteorologiyası" kafedrasının müdiri | nazimmet@mail.ru mob: (012) 525-98-08 |
| Hüseynov Camal Surxay oğlu | Milli Aviasiya Akademiyası | "Aviasiya meteorologiyası" kafedrasının baş müəllimi | camal_huseynov_88@mail.ru mob: (+994) 50-733-3-78 |
| İsmayılova Nailə Nurməmməd qızı | ETSN, Milli Hidrometeorologiya Xidməti | "Hidrometeoroloji araşdırmalar mərkəzi"-baş mütəxəssis, doktorant | naile_ismayilova40@mail.ru mob: (+994) 55-491-59-50 |

İNFORMASIYANIN EMALI

UOT: 004.83

DOI: 10.30546/EMNAA.2025.27.01.107

HAVA LİMANLARINDA İDARƏETMƏNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİNDƏ SMART TEXNOLOGİYALARIN TƏTBİQİ

Həbibullayev S.B., Heydərzadə N.A.
Milli Aviasiya Akademiyası

Təqdim olunan məqalədə Ağıllı Hava Limanlarının idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi və bu sahədə tətbiq edilən innovativ texnologiyalar araşdırılır. Ağıllı Hava Limanları, Əşyaların İnterneti (IoT), Süni İntellekt (Sİ), RFID texnologiyası, biometrik identifikasiya və maşın öyrənmə (MÖ) kimi yeniliklər hava limanı əməliyyatlarının səmərəliliyini artırmaq, sərnişin təcrübəsini yaxşılaşdırmaq və təhlükəsizliyi gücləndirmək üçün tətbiq edilir. Bu sistemlər hava limanı idarəetməsində avtomatlaşdırma, məlumat analitikası və süni intellektin tətbiqi yolu ilə prosesləri optimallaşdırır.

Məqalədə Ağıllı Hava Limanlarının əsas ünvanladığı problemlər, o cümlədən sərnişin axınının idarə olunması, baqaj izləmə sistemi, biometrik identifikasiya və avtomatlaşdırılmış yoxlama prosedurları təhlil edilir. Məsələn, üz tanıma və iris skanerləri sərnişinlərin sürətli identifikasiyasını təmin edərək uzun növbələrin qarşısını alır. RFID texnologiyasının tətbiqi baqaj izləmə sistemlərini daha dəqiq və səmərəli edir. Həmçinin, real vaxt rejimində verilənlərin emalı, əməliyyat səmərəliliyinin artırılması üçün süni intellekt tətbiqlərinin rolu vurğulanır. Narita, Münhen, Həmad və Heydər Əliyev Beynəlxalq Hava Limanlarının bu texnologiyaların tətbiqindən əldə etdiyi nəticələr nümunə kimi göstərilir.

Eyni zamanda, Ağıllı Hava Limanlarının gələcəyi və bu sahədən olan perspektivlər müzakirə edilir. 5G texnologiyasının, blokçeyn əsaslı təhlükəsizlik sistemlərinin və IoT-nin daha geniş miqyasda tətbiqi vəd edir ki, bu da hava limanlarının səmərəliliyini və təhlükəsizliyini daha da artırsın. Bu innovasiyalar global aviasiya sektorunun gələcəyini formalaşdıraraq, sərnişinlər üçün texnoloji cəhətdən təkmilləşmiş səyahət təcrübəsi yaradacaq.

Açar sözlər: *ağıllı hava limanı, RFID, biometrik identifikasiya, süni intellekt, maşın öyrənmə, aviasiya təhlükəsizliyi, avtomatlaşdırma, böyük verilənlər, Heydər Əliyev Beynəlxalq Aeroportu.*

Bu tədqiqatın əsas məqsədi ağıllı hava limanlarının idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsində müasir texnologiyaların o cümlədən, əşyaların interneti (IoT) süni intellekt, RFID texnologiyası, biometrik identifikasiya və maşın öyrənməsi - rolunu araşdırmaqdır. Tədqiqat çərçivəsində bu texnologiyaların hava limanlarının əməliyyat səmərəliliyinə, təhlükəsizliyinə və sərnişin məmnuniyyətinə təsiri təhlil edilir. Eyni zamanda, mövcud problemlər və gələcəkdə tətbiq edilə biləcək yeniliklər qiymətləndirilərək, ağıllı hava limanlarının inkişaf perspektivləri müəyyən olunur.

İnkişaf edən və rəqəmsallaşan dünyamızda bir çox sahələrdə “ağıllı” anlayışını eşidirik və istifadə edirik. Məsələn, ağıllı telefon, ağıllı avtomobil, ağıllı saat, ağıllı bina, ağıllı ev və s. İndi “Smart Airport” ifadəsini tez-tez eşitməyə başlamışıq.

Obyektlər arasında ünsiyyət artdıqca - bunu Əşyaların İnterneti (ing., İnternet of Things - IoT) adlandırırıq - həyatımızda bir çox proseslər asanlaşır. Buna e-poçtlarımızı ağıllı telefonlarımızda görmək və ya ağıllı nəqliyyat vasitələrimizdə naviqasiya cihazından istifadə etməyi nümunə olaraq göstərə bilərik.

Ağıllı hava limanında sərnəşinlərin ehtiyacları və istəklərin ən optimal şəkildə ödənilməsi bütün əməliyyatın mahiyyətini təşkil edir. Məsələn, yaşadığımız dövrün insanları olaraq biz texnologiya həvəskarlarıyıq və hər şeyi etmək və ya istədiyimizi qısa müddətdə əldə etmək üçün praktik yollar tapmağa öyrəşmişik və bunu sevirik. Bunu hava limanı xidmətləri baxımından düşünsək, problemlərimizin tez bir zamanda həllini istəyirik.

Bu gün sektorlar üzrə şirkətlər tipinə görə unikal deyil və onların təqdim etdiyi xidmətlər demək olar ki, eyni statusa malikdir. Xidmət göstərmək və ya məhsul istehsal etmək artıq problem deyil. Bu səbəblə hava limanları kimi xidmət sektorları öz xidmətlərini yeniləşdirməyə və sərnəşinlərə təklif etməyə çalışırlar. İndi deyə bilərik ki, rəqabət tamamilə texnologiyaya əsaslanır. Bundan əlavə, 2025-ci ildən sonra uçuş artımının orta hesabla ildə 2,0% olacağı və 2030-cu ildə 12 milyondan çox reysə yüksələcəyi gözlənilir [1]. Artan bu tələbi qarşılamaq üçün daha yaxşı şərait və idarəçiliyə malik hava limanlarına ehtiyac duyulduğu üçün hava limanlarının ən son texnologiya ilə xidmət göstərən bir quruluşa sahib olması və buradakı əməliyyatlarda texnologiyanın verdiyi imkanlardan (IoT, süni intellekt və s.) yararlanması vacibdir. Dünyanın bir çox hava limanı sərnəşinlərin ehtiyaclarını ən yaxşı şəkildə qarşılamaq və texnoloji yeniliklərdən maksimum yararlanmaq üçün texnoloji investisiyalara və texnoloji həllərə diqqət çoxalır. Məsələn, dünyanın əksər hava limanları sərnəşinlərə öz mobil proqramlarını təklif edərək, əməliyyatlarını smartfonlar vasitəsilə tamamlamağa imkan verir (şəkil 1). Ağıllı hava limanının məqsədi sistemləri və prosesləri rəqəmsal olaraq bir-biri ilə əlaqələndirmək və intellekt ilə qarışdırmaq, sərnəşinlər üçün asanlıqla əlçatan etməkdir.



Şəkil 1. İstanbul hava limanının mobil tətbiqi

Ağıllı hava limanlarının üstünlükləri

1. Aviasiya təhlükəsizliyi

Aviasiya təhlükəsizliyi tələbləri sərnəşinlərin, təyyarələrin, eləcə də bütün digər hava limanı istifadəçilərinin daha təhlükəsiz səyahətini təmin etmək üçün məcburi uyğunluqlardır (ing., *mandatory compliances*). Ağıllı hava limanları normativ tələblərə uyğun olaraq müasir texnologiya ilə aviasiya təhlükəsizliyi standartlarını təkmilləşdirir və sərnəşinlərin narahatlığını azaldır.

Aviasiya sənayesi hələ də müştəri məmnuniyyətinin aşağı olması problemi ilə üzləşir ki, bu da onun gəlirliliyinə mənfi təsir göstərir. Baqajın yanlış idarə olunması müştəri narazılığının əsas səbəblərindən biri olaraq qalır. ABŞ Nəqliyyat Departamentinin 2007-ci ilin avqust ayının hesabatlarına görə (şəkil 2), yanlış idarə olunan baqaj, ABŞ aviaşirkətləri sənayesində gecikmiş uçuşlardan sonra ikinci ən çox şikayət edilən məsələ olmuşdur [2].

SITA-nın illik icmalında qeyd olunduğu kimi, bu problem qlobal səviyyədə daha da aktuallaşır [3]. Əsas səbəblər sırasına hava limanlarında artan sıxlıq, məhdud işləmə müddətləri, uçuşların çoxalması, sərtləşən təhlükəsizlik qaydaları və sərnişin, eləcə də baqaj həcminin artması daxildir ki, bunlar da gecikmələrə və xidmət prosedurlarının mürəkkəbləşməsinə gətirib çıxarır.

Lakin son illərdə RFID (Radio Frequency Identification) texnologiyasının tətbiqi baqaj idarəçiliyində əhəmiyyətli irəliləyişlərə səbəb olub. RFID teqləri vasitəsilə baqajın real vaxt rejimində izlənməsi mümkün olduğundan, itirilmiş və ya səhv yönləndirilmiş baqaj halları əhəmiyyətli dərəcədə azalıb. Məsələn, SITA-nın son statistik məlumatlarına görə (şəkil 3), RFID əsaslı sistemlərin tətbiqi ilə aviaşirkətlər yanlışı idarə olunan baqaj hallarını 2007-ci il ilə müqayisədə 63% azalda bilmişlər [4]. Bu işə həm sərnişin məmnuniyyətinin artmasına, həm də aviaşirkətlərin əməliyyat xərclərinin azalmasına kömək edir.

Bu müqayisəli təhlil göstərir ki, RFID texnologiyasının geniş tətbiqi aviaşirkət sənayesində uzunmüddətli perspektivdə mühüm dəyişikliklərə yol açır və hava limanlarında idarəetmənin təkmilləşdirilməsinə töhfə verir.

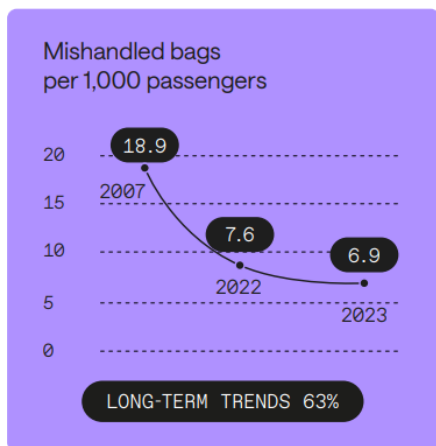
Əşyaların İnterneti (*ing., IoT*) sərnişinləri yoxlamaq və qabaqcıl təhlükəsizlik xidmətini təmin etmək üçün *RFID (ing., Radio Frequency Identification, Radiotezlikli İdentifikasiya)* ilə birlikdə ağıllı proqram kimi istifadə olunur. Baqaj yüklərinin və konteynerlərinin yoxlanılması üçün RFID-in tətbiqi nəinki vaxta və əməyə qənaət edir, həmçinin yoxlamayı daha dəqiq yerinə yetirir. Bundan əlavə, sərnişinə təqdim edilən RFID baqaj etiketləri (şəkil 4) və RFID biletləri yola düşərkən baqajda qeydiyyatdan keçən şəxsin gəliş zamanı baqajı götürən şəxslə eyniləşdirilməsinə və ya uyğunlaşdırılmasına imkan verir [5].

Office of Aviation Enforcement and Proceedings
U.S. Department of Transportation

AUGUST
MISHANDLED BAGGAGE REPORTS FILED BY PASSENGERS
U.S. AIRLINES*

| RANK | AIRLINE | AUGUST 2007 | | | AUGUST 2006 | | |
|---------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|
| | | TOTAL BAGGAGE REPORTS | ENPLANED PASSENGERS | REPORTS PER 1,000 PASSENGERS | TOTAL BAGGAGE REPORTS | ENPLANED PASSENGERS | REPORTS PER 1,000 PASSENGERS |
| 1 | HAWAIIAN AIRLINES | 2,013 | 649,813 | 3.10 | 1,733 | 554,502 | 3.13 |
| 2 | ALOHA AIRLINES | 1,375 | 369,593 | 3.72 | 1,601 | 338,543 | 4.73 |
| 3 | AIRTRAN AIRWAYS | 12,293 | 2,369,194 | 5.19 | 12,929 | 1,849,225 | 6.99 |
| 4 | UNITED AIRLINES | 29,331 | 5,411,763 | 5.42 | 39,123 | 5,375,597 | 7.28 |
| 5 | NORTHWEST AIRLINES | 22,215 | 4,044,761 | 5.49 | 21,438 | 4,156,647 | 5.16 |
| 6 | FRONTIER AIRLINES | 6,055 | 1,047,987 | 5.78 | 5,004 | 947,855 | 5.28 |
| 7 | SOUTHWEST AIRLINES | 57,108 | 9,838,811 | 5.80 | 54,188 | 8,854,013 | 6.12 |
| 8 | CONTINENTAL AIRLINES | 20,544 | 3,524,111 | 5.83 | 18,107 | 3,245,027 | 5.58 |
| 9 | AMERICAN AIRLINES | 50,762 | 6,971,832 | 7.28 | 46,524 | 6,767,347 | 6.87 |
| 10 | EXPRESSJET AIRLINES | 11,460 | 1,456,993 | 7.87 | 14,212 | 1,502,792 | 9.46 |
| 11 | ALASKA AIRLINES | 13,142 | 1,639,658 | 8.02 | 12,382 | 1,550,327 | 7.99 |
| 12 | JETBLUE AIRWAYS | 16,138 | 1,997,310 | 8.08 | 9,724 | 1,738,712 | 5.59 |
| 13 | DELTA AIR LINES | 54,325 | 5,918,991 | 9.18 | 51,346 | 5,706,173 | 9.00 |
| 14 | US AIRWAYS | 46,555 | 4,844,554 | 9.61 | 47,217 | 4,573,025 | 10.33 |
| 15 | SKYWEST AIRLINES | 20,979 | 2,089,131 | 10.04 | 19,277 | 1,769,563 | 10.89 |
| 16 | PINNACLE AIRLINES | 9,366 | 880,336 | 10.64 | * | * | * |
| 17 | COMAIR | 10,701 | 881,384 | 12.14 | 14,637 | 984,236 | 14.87 |
| 18 | MESA AIRLINES | 14,649 | 1,179,185 | 12.42 | 16,668 | 1,246,060 | 13.38 |
| 19 | ATLANTIC SOUTHEAST AIRLINES | 14,974 | 1,094,975 | 13.68 | 22,462 | 1,042,021 | 21.56 |
| 20 | AMERICAN EAGLE AIRLINES | 23,156 | 1,659,183 | 13.96 | 27,630 | 1,648,003 | 16.77 |
| TOTALS | | 437,141 | 57,869,565 | 7.55 | 436,202 | 53,849,668 | 8.10 |

Şəkil 2. 2007-ci ildə ABŞ aviaşirkətləri üçün aylar üzrə səhv idarə olunan baqaj (hər 1000 sərnişinə)

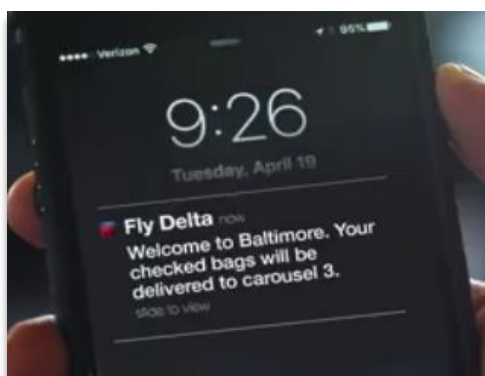


Şəkil 3. SITA-nın 2007, 2022 və 2023-cü illər üzrə hava limanlarının yanlış idarə olunan baqaj (mishandled bags) göstəriciləri



Şəkil 4. RFID baqaj etiketləri (Rusiya, Şeremetyevo Beynəlxalq Hava Limanı)

Baqajın identifikasiyası üçün RFID-in tətbiqi aviasiya sənayesində getdikcə geniş yayılır. Aeroportda istifadə edilən RFID sistemləri baqajın real vaxt rejimində izlənməsinə və sərnişinə aid olan çamadanın dəqiq müəyyənəşdirilməsinə imkan yaradır. RFID baqajı müəyyən etmək və izləmək üçün baqaj etiketindəki kiçik çipdən istifadə edir. Bu, birdəfəlik kağız etiketi və ya daimi çanta etiketi ola bilər. RFID məlumatları həm sabit, həm də portativ oxuyucular vasitəsilə toplanır və adətən real vaxt rejimində ötürülür. Qeyd edək ki, Beynəlxalq Hava Nəqliyyatı Assosiasiyası (ing. International Air Transport Association - IATA) tərəfindən qəbul edilmiş qaydalar, baqaj etikətlənməsi və izlənməsi ilə bağlı müəyyən qətnamələr mövcuddur. Bu qətnamələrdən biri IATA Resolution 740-dır. IATA Resolution 740 və Recommended Practice (RP) 1740c birlikdə işləyir və hava yollarında RFID əsaslı baqaj izləmə sistemlərində tətbiq olunur [6]. Bu, H.Əliyev Beynəlxalq Aeroportu, Delta Airlines, Qatar Airways, Lufthansa və digər aviaşirkətlərin tətbiq etdiyi qabaqcıl sistemlərdən biridir.



Şəkil 5. Real vaxt rejimində baqajların yeri haqqında bildiriş (Delta Hava Yolları)

Delta Hava Yolları hava yolu sənayesində baqajın idarə edilməsi üçün bütün uçuşlarda RFID texnologiyasını ən geniş miqyasda və uğurla tətbiq edən ilk aviaşirkətdir. Həmçinin, RFID əsaslı izləmə ilə sərnişinlərə mobil tətbiq vasitəsilə baqajlarının yerini real vaxt rejimində izləməyə imkan vermişdir (şəkil 5).

Avropanın ən yaxşı hava limanlarından biri olan Almaniyanın Münhen sərnişin terminalına bərk və maye partlayıcı maddələri aşkarlaya bilən ən müasir CT (ing., *computed tomography*) skanerini

təqdim edib (şəkil 6). Sərnişinlərin baqajlarından noutbuk, smartfon və icazə verilən mayeləri çıxarmağa ehtiyac qalmır və skaner vasitəsilə yoxlama tələbləri asanlıqla emal edilir [8, 9, 10].

Beynəlxalq hava nəqliyyatı reyting təşkilatı SKYTRAX tərəfindən ardıcıl ikinci dəfə qlobal 5 Ulduzlu Hava Limanı Reytinginə layiq görülən (18.12.2024) Tokionun Narita Beynəlxalq Hava Limanında 2022-ci ildə 1,2m hündürlüyündə, süni intellekt və 5G texnologiyası ilə təchiz edilmiş polis-robotlar istifadəyə verilib. Bu robotlar nəqliyyat vasitəsinə bənzərən xarici görünüşə malikdir (şəkil 7). Robot üzərində yerləşən kameralar vasitəsilə ətraf mühiti müşahidə edir və süni intellekt texnologiyası sayəsində çəkilişləri təhlil edərək təhlükəsizlik tədbirlərini həyata keçirir. Bu robotlar hava limanında qaydalara əməl olunmasına nəzarət edir, unudulmuş və ya şübhəli əşyaları aşkar edir və ehtiyac yarandıqda sərnişinlərə müraciət edə bilirlər.



Şəkil 6. Smiths Detection şirkətinə məxsus HI-SCAN 6040 CTiX skaneri (Almaniya, Münhen aeroportu)



Şəkil 7. Süni intellektlə təchiz edilmiş polis-robotlar (Yaponiya, Narita aeroportu)

2. Sərnişin rahatlığı

Sərnişinlər səyahət zamanı heç bir narahatlıq olmadan terminalın bütün rəsmiləşdirilmə işlərinin rahat şəkildə aparılmasını gözləyirlər. Ağıllı hava limanında olan sərnişinlər ənənəvi hava limanında olduğu qədər gözləməli olmurlar. IoT-a qoşulan sensorlar vasitəsilə ən qısa növbə, park yeri və öz-özünə çatdırılan baqaj haqqında məlumat vermək kimi prosedurlarla təmin edilir.

2024-cü ildə keçirilən Skytrax Dünya Hava Limanı Mükafatlarında (World Airline Awards) ardıcıl onuncu dəfə "Yaxın Şərqi Ən Yaxşı Hava Limanı" və ikinci dəfə "Dünyanın Ən Yaxşı Hava Limanı Alış-verişi" nominasiyalarında da qalib gəlmiş Həmad Beynəlxalq Hava Limanı sərnişinlərin hava limanında daha sürətli və təhlükəsiz keçidini təmin etmək üçün biometrik texnologiyaları tətbiq etmişdir. Bu texnologiyalar arasında üz tanıma və digər biometrik identifikasiya sistemləri yer alır. Biometrik texnologiyaların tətbiqi 2018-ci ildən etibarən başlamış və tədricən genişləndirilmişdir. Bundan əlavə, sərnişinlərin öz-özünə baqaj təhvilə verməsi üçün avtomatik baqaj buraxılış sistemləri 2016-cı ildən etibarən istifadəyə verilmişdir (şəkil 8). Bu sistemlər, sərnişinlərin ənənəvi qeydiyyat masalarında gözləmə müddətini azaltmaq və səyahəti daha rahat həyata keçirmək məqsədi daşıyır.

O cümlədən, SKYTRAX tərəfindən ardıcıl 4-cü dəfə "MDB üzrə ən yaxşı hava limanı" nominasiyasında qalib gələn Heydər Əliyev Beynəlxalq Aeroportunda 2023-cü ildən Səyahət Sənədlərinin Avtorizasiya Sistemi (ing. Travel Document Authorization System, TDAS) istifadəyə verilib ki, bu da uçuş öncəsi rəsmiləşdirmə prosesini sadələşdirir və sürətləndirir, təhlükəsizliyi gücləndirərək hava limanında növbələri azaldır (şəkil 9) [11].

"TAV Technologies" tərəfindən hazırlanan yeni sistemin tətbiqi Ağıllı Hava Limanı konsepsiyasına uyğun bir addımdır. Belə ki:

-*avtomatlaşdırma* – İnsan müdaxiləsini azaldaraq prosesləri sürətləndirir;

- süni intellekt və verilənlərə əsaslanan idarəetmə* – Sənədlərin etibarlılığını süni intellekt vasitəsilə yoxlaya bilər;
- təhlükəsizliyin artırılması* – Saxta sənədlərin istifadəsinin qarşısını almağa kömək edir;
- sərnişin təcrübəsinin yaxşılaşdırılması* – Keçid prosedurlarını daha rahat və sürətli edir.



Şəkil 8. Üz tanıma, biometrik identifikasiya vasitəsi və avtomatik baqaj buraxılış sistemləri (Qətər, Həmad aeroportu)



Şəkil 9. Səyahət Sənədlərinin Avtorizasiya Sistemi (Azərbaycan, H. Əliyev Beynəlxalq Aeroportu)

2024-cü ilin noyabr ayında isə hava limanının 1-ci Terminalında uçuşa qeydiyyat (ing., Self Check-In) və baqaj təhvilə (ing. Self-service Baggage Drop-Off) üçün özünəxidmət köşkləri quraşdırılıb (şəkil 10). Gələcəkdə analogi avadanlıqların 2-ci Terminalda da quraşdırılması planlaşdırılır [12].

Yeni köşklər sərnişinlərə ənənəvi qeydiyyat məntəqələrində növbə gözləmədən uçuşlarına sürətli və rahat şəkildə qeydiyyatdan keçməyə, yer



Şəkil 10. Uçuşa qeydiyyat və baqaj təhvilə üçün özünəxidmət köşkləri (Azərbaycan, H. Əliyev Beynəlxalq Aeroportu)

seçməyə, minik talonlarını əldə etməyə və baqajlarını təhvil verməyə imkan verir. Gələcəkdə köşklərdə birbaşa ödəniş imkanı və əlavə funksionallıqların tətbiqi ilə sistemin daha da təkmilləşdirilməsi planlaşdırılır.

Hazırda “Self check-in” və “Baggage drop off” xidmətlərindən AZAL aviaşirkətinin sərnişinləri istifadə edə bilirlər. “Turkish Airlines”, “Qatar Airways”, “Uzbekistan Airways” və “Kuwait Airways” aviadaşıyıcıları da yaxın gələcəkdə bu xidmətlərə qoşulmaq niyyətindədirlər [12].

3. Əməliyyat səmərəliliyi

Sərnişinlər haqqında məlumatların toplanması əməliyyat səmərəliliyinin artırılması üçün daha vacibdir. Böyük verilənlərin (ing., Big Data) təhlili Ağıllı Hava Limanının ən faydalı üstünlüyüdür. Sərnişin davranışını müəyyənləşdirmək, daha çox gəlir əldə etmək, sərnişinlərin toplandığı yerləri izləmək, bir sərnişinin gözləmə müddətini hesablamaq və sərnişinlərin bütün digər şəxsi davranışları ağıllı məlumatların işlənməsi əsasında müəyyən edilə bilər [13].

Müasir Hava Limanı operatorları hava limanının əməliyyat səmərəliliyinin səviyyəsini yüksəltmək üçün şəbəkə infrastrukturuna, məlumatların idarə edilməsi infrastrukturuna, məlumat analitikasına, Süni İntellekt (Sİ) və Maşın Öyrənmə (MÖ) qabiliyyətinə maraq göstərir. Changi Hava Limanı artıq daha yaxşı təhlil edə, daha yaxşı proqnozlaşdırır və əməliyyat səmərəliliyini yaxşılaşdırır bilən müxtəlif funksiyalar üçün Sİ və MÖ-yə imkan verən tətbiqlərdən istifadə etmişdir [14-17]. MÖ modelləri hava şəraiti, təyyarə trafiki və digər faktorları nəzərə alaraq uçuş gecikmələrini proqnozlaşdırır, bu da əməliyyatların daha yaxşı planlaşdırılmasına şərait yaradır.

Nəticə

Son illərdə hava limanlarında tətbiq edilən ağıllı texnologiyalar aviasiya sənayesində inqilabi dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. RFID sistemləri, biometrik identifikasiya, süni intellekt (Sİ) və maşın öyrənmə (MÖ) kimi innovativ həllər hava limanı əməliyyatlarını daha effektiv, təhlükəsiz və sərnişinlər üçün rahat hala gətirmişdir. Bu texnologiyalar hava limanlarında operativ idarəetməni, təhlükəsizlik prosedurlarını və sərnişin təcrübəsini optimallaşdıraraq sektorda yeni standartlar müəyyən edir.

RFID texnologiyasının tətbiqi baqaj izləmə və idarəetmədə ciddi irəliləyişlərə səbəb olmuşdur. Bu sistemlər itkin baqaj hallarını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və sərnişinlərin baqajlarını real vaxt rejimində izləmələrinə imkan yaradır. Biometrik identifikasiya isə hava limanlarında ənənəvi pasport və biletlərə ehtiyacı azaldaraq üz tanıma, barmaq izi və iris skanerləri ilə təhlükəsizlik yoxlamalarını sürətləndirir.

Eyni zamanda, süni intellekt və maşın öyrənmə modelləri hava limanlarında uçuş gecikmələrinin proqnozlaşdırılması, sərnişin axınının idarə edilməsi və enerji istifadəsinin optimallaşdırılması kimi bir çox sahədə tətbiq olunur. Bu texnologiyalar real vaxt rejimində böyük həcmdə məlumatları analiz edərək, hava limanı əməliyyatlarının daha səmərəli idarə edilməsini təmin edir.

Gələcəkdə Ağıllı Hava Limanları daha çox avtomatlaşdırılmış və data əsaslı idarəetmə modellərinə keçid edəcək. İnkişaf edən 5G rabitə texnologiyaları, blokçeyn əsaslı təhlükəsizlik sistemləri və IoT (Əşyaların İnterneti) ilə hava limanları daha təhlükəsiz, sürətli və sərnişinlər üçün rahat bir məkana çevriləcək. Nəticə etibarilə, ağıllı texnologiyalar hava limanlarının fəaliyyətini daha innovativ və effektiv hala gətirərək gələcəyin aviasiya sektorunun əsas təməlini formalaşdıracaq.

REFERENCES

1. <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-forecast-2024-2030-autumn-update>
2. Air Travel Consumer Report: Issued: October 2007. U.S. Department of Transportation.—43 p.
3. DeVries, P.D. The state of RFID for effective baggage tracking in the airline industry. International Journal of Mobile Communications, Vol. 6, No. 2. January 2008. – pp.151–164.
4. SITA baggage IT insights, 2024. – 23p.
5. Alok Mishra, Deepti Mishra. Application of RFID in Aviation Industry: An Exploratory Review. -Turkey, 2010. – 11 p.
6. Baggage Tracking. IATA Resolution 753/A4A Resolution 30.53. Implementation Guide. Issue 3.0, 13 November 2017. – 85p.
7. A. Mishra, D. Mishra: Application of RFID in Aviation Industry: An Exploratory Review. Promet – Traffic&Transportation, Vol. 22, 2010, No. 5. – pp.363-372.
8. <https://www.munich-airport.com/security-screening-and-passport-control-3949908>
9. <https://www.smithsdetection.com/press-releases/smiths-detection-to-transform-security-screening-at-munich-airport-with-60-3d-cabin-bag-scanners/>
10. <https://www.smithsdetection.com/products/hi-scan-6040-ctix/>
11. <https://airport.az/az/press-release/t-hluk-siz-sur-tli-v-rahat-baki-hava-limaninda-innovativ-tdas-h-lli-t-tbiq-edilib/>
12. <https://airport.az/az/press-release/baki-hava-limani-yeni-ozun-xidm-t-sisteml-rini-t-qdim-edir/>
13. Al Nuaimi et al. Journal of Internet Services and Applications (2015) 6:25 DOI 10.1186/s13174-015-0041-5. Applications of big data to smart cities. – 15 p.
14. Steve LEE and Steven M. MILLER. AI gets real at Singapore's Changi Airport (Part 1), 2019. – 11 p.
15. Blockchain in aviation white paper. International Air Transport Association (IATA), October 2018. – 22 p.
16. <https://www.iata.org/en/programs/ops-infra/air-traffic-management/5g/>
17. <https://bwhotelier.com/article/sita-to-explore-blockchain-technology-under-aviation-blockchain-sandbox-project>
[154188#:~:text=FlightChain%20was%20SITA%27s%20blockchain%20trial,a%20single%20source%20of%20truth.](https://www.linkedin.com/pulse/flight-chain-was-sita-7s-blockchain-trial-single-source-of-truth)

APPLICATION OF SMART TECHNOLOGIES IN IMPROVING MANAGEMENT AT AIRPORTS

***Habibullayev S.B. , Heydarzada N.A.
National Aviation Academy***

The presented article explores the enhancement of Smart Airport management systems and the innovative technologies applied in this field. Smart Airports integrate advancements such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), RFID technology, biometric identification, and Machine Learning (ML) to improve airport operational efficiency, enhance passenger experience, and strengthen security measures. These systems optimize airport management through automation, data analytics, and AI-driven processes.

The article analyzes the key challenges addressed by Smart Airports, including passenger flow management, baggage tracking systems, biometric identification, and automated security screening procedures. For instance, facial recognition and iris scanners enable rapid passenger identification, reducing long queues. The implementation of RFID technology enhances the accuracy and efficiency of baggage tracking systems. Additionally, the role of AI applications in real-time data processing for improving operational efficiency is emphasized. The results achieved by airports such as Narita, Munich, Hamad, and Heydar Aliyev International Airports through the adoption of these technologies are highlighted as examples.

Furthermore, the future of Smart Airports and emerging trends in this field are discussed. The wider implementation of 5G technology, blockchain-based security systems, and IoT is expected to further enhance airport efficiency and security. These innovations are set to shape the future of the global aviation sector, creating a more technologically advanced and seamless travel experience for passengers.

Keywords: smart airport, RFID, biometric identification, artificial intelligence, machine learning, aviation security, automation, big data.

Rəyçilər: *t.e.d., AMEA-nın müxbir üzvü İsmayilov İ.M.
t.e.d., prof. Ağayev N.B.*

Müəlliflər haqqında məlumat

| Soyadı, adı, atasının adı | İş yeri | Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı | Əlaqə |
|--------------------------------------|----------------------------|--|---|
| Həbibullyev Səlahəddin Bəxtiyar oğlu | Milli Aviasiya Akademiyası | “Aerokosmik informasiya sistemləri” kafedrasının dosenti, t.f.d. | shabibullayev@naa.edu.az mob: (+994)50-633-34-71 |
| Heydərzadə Nübar Azad qızı | Milli Aviasiya Akademiyası | “Aerokosmik informasiya sistemləri” kafedrasının müəllimi | nheydarzada@naa.edu.az mob: (+994)70-866-04-73 |

AVIASIYA MÜTƏXƏSSİSLƏRİNİN HAZIRLANMASINDA MATLAB VƏ SIMULINK-DƏN İSTİFADƏ

Əhmədov L.N., Quliyeva X.N.
Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə MATLAB, onun genişlənməsi olan Simulink sistemi, həmçinin onun bir çox bloklarının elm və texnikanın müxtəlif sahələrində vizual obyekt-yönümlü proqramlaşdırma, xətti və qeyri-xətti dinamik sistemlərin modelləşdirilməsi, siqnalların və təsvirlərin təhlili və emalı, sistemlərin analizi, identifikasiyası və modelləşdirilməsi, qeyri-səlis məntiq, neyron şəbəkələr və s. kimi sahələrin inkişafı və tətbiqi üçün əhəmiyyətindən bəhs edilir. MATLAB və Simulink paketlərinin Aviasiya problemlərinin modelləşdirilməsi və həlli zamanı mühəndislik praktikasında, xüsusilə aviasiya sahəsində də istifadə olunan bir sıra digər analoji və ixtisaslaşmış proqram vasitələri ilə müqayisəsi verilir. MATLAB və Simulinkin gələcək aviasiya mütəxəssislərinin təhsil prosesinə tətbiqi, onların peşəkar fəaliyyətə hazırlanmasında xüsusi əhəmiyyəti olan fənlərin öyrənilməsi zamanı qarşıya çıxan məsələlərin həllində bu paketlərdən istifadə imkanlarına baxılır və onlardan ən vacibləri araşdırılır. Tələbələrin təyyarənin uçuşuna xas olan hadisələri, əməliyyat tələblərinin fiziki mahiyyətini düzgün başa düşməsində, idarəetmə sistemi ilə hava gəmisi dinamikasının təhlilində mühüm rol oynayan aerodinamik proseslərin, avionika sistemlərinin, mühərrik qurğularının, uçuş simulyatorlarının modelləşdirilməsi, pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) layihələndirilməsi, idarəetmə sistemlərinin simulyasiya modelləşdirməsi və müxtəlif təyyarə vericilərindən əldə olunan məlumatlarla işləmək üzrə təlimin mühüm rolu, təhlil nəticələrinin vizuallaşdırılmasının əhəmiyyəti qeyd olunur. Hər bir məsələnin həlli üçün qurulan modelin tələbələrdə hansı bacarıq və bilikləri inkişaf etdirəcəyi göstərilir. Simulinkdə bəzi naviqasiya məsələlərinin: INS və GPS naviqasiya sistemlərinin modelləşdirilməsi, bu sistemlərin inteqrasiyası, naviqasiya sistemindən istifadə etməklə avtopilotun simulyasiyası, uçuş trayektoriyasını izləmə sisteminin modelləşdirilməsi, vericilərin və küylərin simulyasiyası, toqquşmalardan yayınma sisteminin modelləşdirilməsi kimi məsələlərin həlli modellərinin strukturuna və yaradılması ardıcılığına dair göstərişlər verilir. Müxtəlif aviasiya məsələlərində məlumatların emalının MATLAB mühitində icrasına aid tipik nümunə təqdim olunur. Sonda aviasiya sahəsində təhsil alan tələbələrin hazırlığı prosesində MATLAB və Simulink sistemlərindən istifadənin əhəmiyyəti və üstünlükləri qeyd olunur.

Açar sözlər: aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanması, MATLAB, Simulink, ANSYS, X-Plane, Simcenter, modelləşdirmə, simulyasiya modeli, verilənlərin emalı, filtrləmə, INS və GPS sistemləri, vizuallaşdırma, küylərin simulyasiyası, uçuş simulyatorları.

Giriş. Müasir dövrdə təhsil prosesində elektron tədris vasitələrinin, müxtəlif ixtisaslaşdırılmış kompüter proqramlarının çox böyük əhəmiyyəti var. Aviasiya mütəxəssislərinin hazırlığı da istisna deyildir. Aviasiya mütəxəssislərinin hazırlığına verilən yüksək tələblər geniş spektrli texnologiyaların mənimsənilməsini, o cümlədən bu mütəxəssislərin təmasda olacaqları aviasiya sistemlərinin təhlükəsizliyini, etibarlılığını və səmərəliliyini təmin edən bir sıra proseslərin modelləşdirilməsi və simulyasiyasını əhatə edir. MATLAB və Simulink kimi proqram paketləri bu cür modelləşdirmə və simulyasiya məsələlərinin həlli, müxtəlif təhlil, nəzarət və idarəetmə alqoritmlərinin işlənilməsi üçün geniş imkanlara malik olduğundan aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanmasında əvəzolunmaz alətlərə çevrilir. MATLAB və Simulink paketlərinin tədris

və tədqiqat alətləri kimi imkan və perspektivlərinin müəyyən edilməsi, habelə yüksək ixtisaslı aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanmasında onların rolunun öyrənilməsi sürətlə inkişaf edən texnologiyalar və aviasiya sənayesində yeni metodların inteqrasiyası şəraitində çox aktual məsələlərdir.

Tədqiqatın məqsədi. Məqalədə məqsəd elm və texnikanın bir çox sahələrində hesablama, modelləşdirmə və vizuallaşdırma vasitələrinə malik olan MATLAB və Simulink sistemlərinin gələcək aviasiya mütəxəssislərinin hazırlığında istifadəsi imkanlarının qiymətləndirilməsi, aviasiya sistemlərinin və proseslərinin modelləşdirilməsi, təhlili və optimallaşdırılması üçün funksional imkanlarının araşdırılması, o cümlədən aviasiya sahəsində praktiki bacarıqların formalaşdırılması və təlimində onlardan istifadənin effektivliyinin araşdırılmasıdır.

Aviasiya sahəsi ənənəvi olaraq ən yüksək texnologiyaların tətbiq olunduğu sahədir. Müasir şəraitdə ali təhsilin əsas məqsədi dar ixtisaslı mütəxəssislər yetişdirmək deyil, onun şəxsiyyətinin inkişaf etdirilməsi və peşəkar səriştəliyin yüksəldilməsidir. Müasir aviasiya sahəsində fəaliyyətin mürəkkəb və dinamik xarakteri, burada ən yeni informasiya texnologiyalarının geniş surətdə tətbiq olunması, həm mütəxəssis hazırlığı, həm də sonrakı fəaliyyət zamanı bu texnologiyaların əhəmiyyətini xeyli artırır. Aviasiya mütəxəssislərinin hazırlığında ən müxtəlif proqram təminatlarının və sistemlərinin rolu əvəzolunmazdır. Belə sistemlər arasında MATLAB sistemi xüsusi çəkiyə malikdir.

MATLAB sisteminin populyarlığına onun güclü Simulink genişləndirilməsi kömək edir. Simulink istifadəyə vizual obyekt-yönlü proqramlaşdırma, xətti və qeyri-xətti dinamik sistemlərin blok modelləşdirilməsi üçün rahat və sadə alətlər, eləcə də bir çox başqa sistem genişləndirmə paketləri təqdim edir. Onlardan bəziləri siqnalların və təsvirlərin təhlili və emalı (o cümlədən ən son veyvlet-texnologiyası), sistemlərin analizi, identifikasiyası və modelləşdirilməsi, qeyri-səlis məntiq, neyron şəbəkələr və s. kimi elm və texnikanın ən yeni sahələrinin inkişafı və tətbiqi üçün daha əlçatan və effektiv alətlər təqdim edir [1].

MATLAB həm müxtəlif fəaliyyət sahələrində qarşıya çıxan geniş spektrli mühəndislik və elmi problemləri mürəkkəblik səviyyəsindən asılı olmayaraq həll etmək üçün nəzərdə tutulmuş mühit, həm də güclü texniki hesablamalar dilidir.

MATLAB sisteminin genişləndirilməsi olan Simulink paketinə idarəetmə və rabitə sistemlərinin, rəqəmsal, elektrotexniki və enerji qurğularının və s. funksional modellərin yaradılması üçün tələb olunan blok kitabxanaların tam dəsti daxildir [2]. Eyni zamanda, o, kitabxana bloklarını dəyişdirməyə, həmçinin öz blokunuzu yaratmağa imkan verir.

Simulink mürəkkəb texniki sistemlərin dinamik modelləşdirilməsi üçün mühit və model-yönlü layihələndirmə üçün əsas vasitədir. Onun əsas interfeysi diaqramların qurulması üçün qrafik alət və fərdiləşdirilə bilən blok kitabxanalar dəstidir. O, MATLAB mühitinin qalan hissəsi ilə sıx inteqrasiya təklif edir və ya MATLAB-dan istifadə edə, ya da ondan skriptlər yarada bilər. Simulink, çoxdomenli modelləşdirmə və model əsaslı layihələndirmə üçün siqnalların avtomatik idarə olunmasının rəqəmsal emalında geniş istifadə olunur.

Simulink digər məhsulları ilə birləşdirildikdə sistemləri real vaxt rejimində həyata keçirmək üçün avtomatik olaraq C dilində mənbə kodu yarada bilir. Kodun səmərəliliyi və çevikliyi yaxşılaşdıqca, o, istehsal sistemləri üçün daha geniş şəkildə mənimsənilir, çevikliyi və tez təkraralamaq qabiliyyətinə görə daxili sistemləri inkişaf etdirmək üçün bir vasitə olmaqla yanaşı, daxilə quraşdırılmış sistemlərdə istifadə olunmaq üçün kifayət qədər səmərəli kod hasil edir.

Simulink sistem səviyyəsində modelləşdirmə və simulyasiya üçün nəzərdə tutulmuşdur və vahid layihələndirmə mühitində inkişaf etdirilən sistemin hərtərəfli tədqiqinə imkan verir.

Modelləşdirmə və simulyasiya kritik şəraitdə və ya fəvqəladə vəziyyət ssenarilərində sistemin davranışını sınağa imkan verir. Bu, bahalı fiziki prototiplərin xərclərini azaldır. Sistem yarı təbii modelləşdirmə və sürətli prototipləmədən istifadə edərək sınaqdan keçirilir.

Simulink modelləri C, C++ və HDL dillərində sənaye keyfiyyətli kodun avtomatik yaradılmasını dəstəkləyir. Yaradılan kodun və modelin nəticələri eynidir.

MATLAB-da yaradılmış alqoritmləri Simulink-də təkrar istifadə etmək üçün yenidən yazmağa ehtiyac yoxdur. MATLAB kodu dəyişdirilmədən Simulink blokuna və ya Stateflow diaqramına əlavə edilir [3].

MATLAB həmçinin sistem simulyasiyaları üçün giriş məlumat dəstlərini yaratmaq üçün istifadə olunur. Parametrlərin sadalanması və ya optimallaşdırılması kimi mühəndislik tapşırıqlarını sürətləndirmək üçün simulyasiyalar klasterlər arasında miqyaslanır və onların nəticələri MATLAB-da təhlil edilir və vizuallaşdırılır.

MATLAB və Simulink mürəkkəb sistemlərin modelləşdirilməsi, təhlili və layihələndirilməsi üçün güclü alətləri sayəsində gələcək aviasiya mütəxəssislərinin təhsilində də mühüm rol oynayır.

Simulink elə bir xüsusi tədqiqat alətidir ki, o tələbənin proqramlaşdırma dilini bilməsini tələb etmir və ona vizual təsəvvürlər əldə etməyə və obyektin riyazi təsvirinin strukturu ilə onun modelini həyata keçirən blok-sxemin strukturu arasındakı uyğunluqları başa düşməyə imkan verir. Vizual bloklar riyazi anlayışlar zənciri ilə müvafiq "analoq" modelləşdirmə anlayışları zənciri arasında səbəb-nəticə əlaqələrinin qavranılmasını asanlaşdırır.

Simulink paketi laboratoriya işlərini, kurs işlərini, kurs layihələrini, yekun ixtisas işlərini yerinə yetirərkən və elmi tədqiqatların aparılması zamanı hesablamalar, müxtəlif sistemlərin funksional və simulyasiya modelləşdirilməsi üçün istifadə edilə bilər [3]. Vizual proqramlaşdırma prinsipindən istifadə etməklə Simulink paketi müxtəlif kitabxanalarda yerləşdirilən standart bloklardan modellər yaratmağa, həmçinin müxtəlif hesablamalar aparmağa imkan verir. Modelləşdirmə zamanı istifadəçi diferensial tənliklərin həlli metodunu, modelləşdirmə vaxtının dəyişdirilməsi metodunu (sabit və ya dəyişən addımla) seçmək, həmçinin sistemdə baş verən prosesləri izləmək imkanına malikdir. Simulyasiya nəticələri müxtəlif qəbuledicilərə ədədi dəyərlər, qrafiklər və ya cədvəllər şəklində verilə bilər.

Aviasiya problemlərinin modelləşdirilməsi və həlli zamanı MATLAB və Simulink paketləri mühəndislik praktikasında, xüsusilə aviasiya sahəsində də istifadə olunan bir sıra digər proqram vasitələri ilə müqayisə oluna bilər. Onlardan bəzilərini nəzərdən keçirək:

| Program paketi və onun təsviri | MATLAB və Simulink ilə müqayisə |
|---|---|
| ANSYS - aerodinamika, struktur analizi və istilik ötürülməsi sahələrində ədədi modelləşdirmə üçün, həmçinin təyyarə konstruksiyalarının, təyyarələrin dinamikasının və digər mühəndislik problemlərinin təhlili üçün geniş istifadə olunur. | ANSYS əsasən aerodinamika və mexanika kimi fiziki proseslərin dəqiq modelləşdirilməsinə yönəlib, MATLAB və Simulink isə riyazi modelləşdirmə, alqoritmlərin işlənməsi və idarəetmə sistemləri üçün daha uyğundur. |
| X-Plane (X-Plane SDK) - təyyarə davranışının riyazi modelini ehtiva edən uçuş simulyasiya proqramıdır. X-Plane SDK sistemlərin modelləşdirilməsinə və aviasiya təlimi və sınaqları üçün tətbiq olunan simulyasiyaların yaradılmasına imkan verir. | X-Plane xüsusi olaraq təyyarələrin simulyasiyası və sınaqlarına diqqət yetirir, MATLAB və Simulink isə riyazi modelləri inkişaf etdirmək, təhlil etmək və təyyarə idarəetmə sistemlərinə inteqrasiya oluna bilən alqoritmlər yaratmaq üçün istifadə olunur. |
| FlightGear - aviasiya texnologiyalarının modelləşdirilməsi və sınaqdan keçirilməsi üçün nəzərdə tutulmuş başqa bir pulsuz simulyasiya sistemidir. Platforma təyyarə modellərinin yaradılması, eləcə də müxtəlif aviasiya proseslərinin öyrənilməsi üçün alətlər təqdim edir. | FlightGear uçuşun və təyyarənin fiziki davranışının daha ətraflı simulyasiyasını təmin edir, MATLAB və Simulink isə daha mücərrəd modellər, idarəetmə sistemləri və alqoritmlər hazırlamaq üçün istifadə edilə bilər. |
| Simcenter (keçmiş LMS Imagine.Lab) - aerodinamika, akustika, dinamika və təyyarə | Simcenter dinamika və aerodinamik analiz üçün daha ixtisaslaşmış həllər təqdim edir, MATLAB |

| | |
|---|--|
| sistemlərinin dizaynının digər aspektləri üçün həlləri özündə cəmləşdirən multidissiplinar simulyasiya alətləri toplusudur. | və Simulink isə sistem səviyyəsində, alqoritmlər səviyyəsində və idarəetmə səviyyəsində modelləşdirmə daxil olmaqla daha ümumi yanaşma təqdim edir. |
| OpenVSP (Open Vehicle Sketch Pad) – təyyarələrin aerodinamik modellərinin layihələndirilməsi üçün bir vasitədir. Təyyarənin həndəsəsini yaratmaq və aerodinamikanı təhlil etmək üçün istifadə olunur. | OpenVSP daha çox aerodinamik dizayn və təyyarələrin 3D modellərinin yaradılmasına diqqət yetirir, MATLAB və Simulink isə idarəetmə, təhlil və optimallaşdırma problemlərinin həlli üçün istifadə olunur. |
| Modelica (Dymola kimi proqram alətlərindən istifadə etməklə) - mürəkkəb multidissiplinar sistemlərin, o cümlədən elektrik, mexaniki və istilik komponentləri olan sistemlərin modellərinin yaradılması üçün modelləşdirmə dilidir. Dymola Modelica istifadə edən simulyasiya və modelləşdirmə proqramıdır. | Modelica və Simulink təbiətə oxşardır, çünki hər ikisi çoxdomenli sistemləri modelləşdirmək üçün istifadə olunur. Bununla belə, Simulink idarəetmə alqoritmlərinin hazırlanması və dinamik sistemlərin modelləşdirilməsi üçün daha təkmil dəstəyə malikdir, Modelica isə mürəkkəb fiziki proseslərin modelləşdirilməsi üçün daha ümumi təyinatlı imkanlar təqdim edir. |
| CAD (Computer-Aided Design) sistemləri (məsələn, CATIA, SolidWorks) – aerodinamik elementlər də daxil olmaqla, təyyarə komponentlərinin 3D modellərini layihələndirmək və yaratmaq üçün istifadə olunur. | CAD sistemləri həndəsə yaratmaq və struktur elementləri təhlil etməyə yönəldilmişdir, MATLAB və Simulink isə sistemlərin, alqoritmlərin və dinamikanın modelləşdirilməsi və təhlili üçün alətlərdir və birbaşa 3D dizayna yönəldilmir. |

MATLAB və Simulink aviasiya komplekslərinin fəaliyyət proseslərinin modelləşdirilməsi üzrə bir çox praktiki məsələlərin (aerodinamik proseslərin, avionikanın, mühərrik qurğularının, pilotsuz uçuş aparatlarının modelləşdirilməsi; uçuş simulyatorlarının yaradılması) həlli zamanı [4] və təlimlərdə (sistemlərin idarə edilməsi üzrə, verilənlərlə işləmək üzrə) tətbiq olunur [5]. Bu məsələlərin həlli üçün Simulinkin tərkibinə bir sıra paketlər daxildir: aerokosmik sistemlərin modelləşdirilməsi üçün ixtisaslaşmış **Aerospace Blockset** paketi, uçuş dinamikası ilə iş üçün kitabxanalar və koordinatların çevrilməsi üçün alətlərdən ibarət **Aerospace Toolbox** paketi, təyyarələrin idarəetmə sistemlərinin layihələndirilməsi üçün **Control System Toolbox** paketi, hidravlik, elektrik, mexaniki sistemlərin modelləşdirilməsi üçün **Simscape & Simscape Multibody** paketi, uçuş rejimlərinin avtomatik dəyişdirilməsi və bort sistemlərinin idarə olunması üçün alət olan **Stateflow** paketi, təyyarə dinamikası və uçuşa nəzarət sistemləri də daxil olmaqla təyyarə sistemlərinin modelləşdirilməsi üçün alətlər toplusu olan **AeroSim** və s. Simulinkin əsas blokları təyyarə sistemlərinin modelləşdirilməsi, analizi və layihələndirilməsi üçün zəngin alətlər dəsti təqdim edir.

Qeyd edilən məsələlərin həlli zamanı tələbələr MATLAB və Simulinkin köməyiylə bir sıra konkret modelləşdirmə və analiz tapşırıqlarını yerinə yetirmək imkanı əldə edirlər:

1. Aerodinamik proseslərin modelləşdirilməsi [6].

- Tələbələr MATLAB-ın köməyiylə təyyarələrin aerodinamik xüsusiyyətlərini təhlil etmək, atmosfer modelləri yaratmaq, hava axınlarını simulyasiya etmək və qanad profilini optimallaşdırmaq imkanı əldə edirlər.

- Tələbələr Simulinkin Aerospace Toolbox blokunun uçuş dinamikası ilə işləmək üçün olan kitabxanalarından istifadə etməklə uçuşun dinamik modellərini, uçuş zamanı təyyarənin davranış modellərini yaratmaq üçün istifadə edirlər ki, bu zaman turbuləntlik və dəyişən hava şəraiti kimi müxtəlif amillərin təsirini də nəzərə almaq mümkün olur.

2. Avionikanın işlənilib hazırlanması və sınaqdan keçirilməsi [7]

• Simulink bort idarəetmə, naviqasiya və rabitə sistemlərinin modelləşdirilməsi üçün geniş istifadə olunur.

• Real kontrollerləri reallığa maksimal dərəcədə yaxın şəraitdə sınaqdan keçirmək üçün Simulinkin köməyilə aparat vasitələri (hardware) ilə inteqrasiya imkanı çox əhəmiyyətlidir.

3. Mühərrik qurğularının modelləşdirilməsi [8]

• Simulink mühərrik sistemlərini (turboreaktiv, turbovintli və s.), o cümlədən onların termodinamik və mexaniki xüsusiyyətlərini modelləşdirməyə imkan verir.

• Bu cür modellər gələcək tədqiqatlar zamanı yanacaq səmərəliliyini yaxşılaşdırmaq və yeni mühərrik növlərini inkişaf etdirmək üçün istifadə edilə bilər.

4. Uçuş simulyatorlarının modelləşdirilməsi [9]

• Simulink standart əməliyyatlardan fəvqəladə hallara qədər geniş spektrli vəziyyətləri modelləşdirən uçuş simulyatorları yaratmaq üçün istifadə olunur. Bu da öz növbəsində pilotlara və mühəndislərə kritik şəraitdə necə işləməyi öyrənməyə imkan verir.

5. Pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) layihələndirilməsi [10]

• MATLAB və Simulink PUA-ların layihələndirilməsi, simulyasiyası və sınaqları, o cümlədən uçuş idarəetmə sistemlərinin, marşrutların və avtonom əməliyyat təhlili üçün geniş istifadə olunur.

6. Sistemlərin idarə edilməsi üzrə təlim [11]

• Avtopilot, stabilləşdirmə kimi sistemlərin modelləşdirilməsi tələbələrə avtomatik uçuşu idarəetmə sistemlərinin iş prinsiplərini daha yaxşı anlamaqda kömək edir.

• MATLAB və Simulink idarəetmə sistemlərinin sabitliyini təhlil etməyə və kontrollerləri (PID, LQR və s.) layihələndirməyə imkan verir.

7. Verilənlərlə işləmək üzrə təlim [12]

• MATLAB radarlar, giroskoplar və akselerometrler kimi təyyarə vericilərindən (datçiklərdən) əldə siqnalların emalı, verilənlərin süzülməsi və böyük həcmli məlumatlarla təhlili üçün alqoritmlərin işlənilib hazırlanmasında güclü alətlər təqdim edir (məsələn, təyyarənin vəziyyətinin monitorinqi sistemlərində).

Simulink bort naviqasiya sistemlərinin modelləşdirilməsi və simulyasiyası üçün idealdır, çünki o, mürəkkəb sistemləri vizual şəkildə təqdim etməyə və onların davranışlarını real vaxtda təhlil etməyə imkan verir. Gələcək aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanması üçün Simulink-dən necə istifadə edildiyinə dair bəzi nümunələri nəzərdən keçirək [2, 5-14]:

1. İnersial naviqasiya sisteminin modelləşdirilməsi (INS). İnersial naviqasiya sistemi təyyarənin mövqeyini, sürətini və oriyentasiyasını müəyyən etmək üçün giroskop və akselerometrlerin məlumatlarından istifadə edir. Simulink vericilərin (datçiklərin) küylərini və sürüşməni (dreyf) nəzərə almaqla akselerometr və giroskop, filtrləmə alqoritm (məsələn, Kalman filtri), sürət və koordinatların hesablanması üçün inteqratorlar kimi əsas bloklardan ibarət INS-nin davranışını simulyasiya edə bilər.

Tələbə Simulinkdə aşağıdakı bloklara əsaslanan sistem yaratmalıdır:

- Giriş məlumatları: təcil və bucaq sürəti siqnalları.
- Sürət və mövqenin hesablanması üçün inteqrator bloku.
- Random Number bloku vasitəsilə-küyn əlavə edilməsi.
- Səhvlərin aradan qaldırılması üçün Kalman filtri.

2. GPS naviqasiya sisteminin modelləşdirilməsi. GPS sistemi peyklərdən gələn siqnalardan istifadə edərək təyyarənin koordinatlarını təyin etməyə imkan verir. Simulink GPS koordinatlar generatoru; yerləşdirmə xətlərinin əlavə edilməsi (məsələn, küylər, siqnal gecikmələri); GPS məlumatlarının filtrlənməsi kimi əsas elementlərin daxil olduğu GPS sistemini modelləşdirə bilər.

Tələbə Simulinkdə aşağıdakı bloklara əsaslanan sistem yaratmalıdır:

- GPS məlumatlarını yaratmaq üçün Signal Builder bloklarından istifadə etməlidir.

- Gecikmələri simulyasiya etmək üçün Transport Delay blokunu əlavə etməlidir.
- GPS siqnallarını emal etmək və səhvləri azaltmaq üçün Kalman filtrini tətbiq etməlidir.

3. INS və GPS inteqrasiyası (INS/GPS Fusion). Hər iki sistemin öz çatışmazlıqları var və bunları aradan qaldırmaq üçün INS GPS ilə inteqrasiya oluna bilər. INS sistemi qısamüddətli perspektivdə yaxşı işləyir, lakin tədricən sistemdə səhvlər toplanır. GPS dəqiqdir, lakin küylərə və gecikmələrə məruz qalır.

Tələbə Simulinkdə aşağıdakıları tətbiq etməlidir:

- İki məlumat mənbəyini - INS və GPS-i birləşdirən model yaratmalıdır.
- Məlumatları inteqrasiya etmək və səhvləri aradan qaldırmaq üçün Kalman Filtr blokundan istifadə etməlidir.

• Həqiqi trayektoriyanın, INS və GPS məlumatlarının və nəticədə proqnozun müqayisəli qrafiklərini tərtib etməlidir.

4. Naviqasiya sistemindən istifadə etməklə avtopilotun simulyasiyası. Avtopilot təyyarəni idarə etmək üçün naviqasiya məlumatlarından istifadə edir. Model müəyyən edilmiş marşrutdan kənarlaşmaları hesablamaq üçün GPS və INS-dən daxil olan məlumatı qəbul etmək üçün konfigurasiya edilə bilər. Simulyasiya modeli aşağıdakı elementlərdən ibarətdir:

- GPS və INS vericilərinin (datçiklərinin) modelləşdirilməsi üçün bloklar.
- PID- tənzimləyicinin də daxil olduğu idarəetmə bloku.
- Hündürlük sükani, kren və dartmanı idarəetmə üçün çıxış siqnalı.

Tələbə Simulinkdə giriş verilənləri (INS/GPS-dən mövqe və sürət), kursdan sapmanın hesablanması və tənzimləyicilərdən istifadə edərək uçuşa nəzarət üçün altsistemləri addımbaaddım yaratmalıdır.

5. Uçuş trayektoriyasını izləmə sistemi (Path Following). Bort naviqasiya sistemi müəyyən edilmiş trayektoriyaya əməl olunmasını təmin etməlidir. Marşrutu saxlamaq üçün təyyarənin kursunu korreksiya edən sistem modelləşdirilməlidir.

Tələbə Simulinkdə aşağıdakıları tətbiq etməlidir:

- Trayektoriyaları funksiya kimi təyin etməlidir (məsələn, dairə və ya spiral).
- Cari vəziyyəti və sapma bucağını hesablamaq üçün Simulink bloklarından istifadə etməlidir.
- PID Controller blokundan [2] istifadə edərək idarəetməni həyata keçirməlidir.

6. Vericilərin (datçiklərin) və küylərin simulyasiyası. Real iş şəraitini: sürüşmə (dreyf), küylər, gecikmələri əlavə etməklə naviqasiya sistemini sınaqdan keçirmək üçün istifadə edilən virtual vericilər (giroskop, akselerometr, barometr, GPS) həyata keçirilməlidir.

Tələbə simulyasiya modelini həyata keçirərkən:

• Küy əlavə etmək üçün Random Number, filtrləmə üçün Signal Processing, gecikmələr üçün Transport Delay bloklarından istifadə etməlidir.

- Vericilərin parametrlərindən asılı olaraq naviqasiya xətası qrafiklərini tərtib etməlidir.

7. Toqquşmalardan yayınma sisteminin modelləşdirilməsi. Maneələrlə toqquşmanın qarşısını almaq üçün naviqasiya sistemi vericilərlə (məsələn, radarla) inteqrasiya olunub. Verilənlərin emalı və kursun avtomatik dəyişməsi alqoritmləri modelləşdirilməlidir.

Tələbə simulyasiya modelini yaratmaq üçün:

• Giriş verilənlərini: maneəyə qədər olan məsafə, sürət və hərəkət istiqamətini daxil etməlidir.

• Qərar qəbuletmə alqoritmini (məsələn, sürəti azaltmaq və ya kursdan yayınmaq) həyata keçirməlidir.

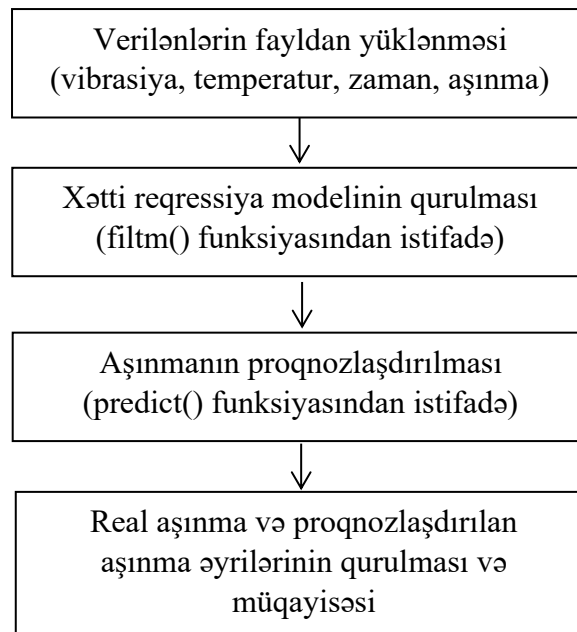
- Radarın işini simulyasiya edən altsistem əlavə etməlidir.

Uçuşların təhlükəsiz və etibarlı həyata keçirilməsi üçün aviasiya mütəxəssisləri müxtəlif məlumatları: uçuş registratorlarının verilənlərini, aviavericilərdən (məsələn, giroskop və akselerometrdən) filtrlənən verilənləri, uçuşların planlaşdırılması üçün hava haqqında məlumatları, uçuş trayektoriyasına dair məlumatları, təyyarə mühərrikinin aşınması barədə real məlumatları hərtərəfli

və operativ təhlil etmək imkanına malik olmalıdırlar. MATLAB gələcək aviasiya mütəxəssislərinə verilənlərlə işləməyi öyrətmək üçün çox müxtəlif imkanlar təklif edir [15]. Belə məsələlərin MATLAB-da həllinə dair bir xüsusi nümunəni nəzərdən keçirək.

Real məlumatlar əsasında təyyarə mühərrikinin aşınma modelinin qurulması.

Tələbələr mühərrikin aşınma səviyyəsini təyin etmək və ömrünü proqnozlaşdırmaq üçün mühərrik vericilərindən alınan vibrasiya və temperatur məlumatlarını yükləyir və maşın öyrənməsini tətbiq edirlər. Müvafiq həll alqoritmi aşağıdakı sxemdə təsvir olunan mərhələlərdən ibarətdir



Məsələnin həlli MATLAB-da aşağıdakı kodla həyata keçirilə bilər:

```
% Verilənlərin yüklənməsi
data = readtable('muherrik_veziyyeti.csv');
vibrasiya = data.Vibration;
temperatur = data.Temperature;
zaman = data.Time;
ashinma= data.Wear; % Aşınma (real göstərici)
% Xətti reqressiyanın qurulması
mdl = fitlm([vibrasiya, temperatur], ashinma);
% Aşınmanın proqnozlaşdırılması
ashinma_proqnozu = predict(mdl, [vibrasiya, temperatur]);
% Real və proqnozlaşdırılan verilənlərin müqayisəsi
figure;
plot(zaman, ashinma, 'b', 'DisplayName', 'Real aşınma');
hold on;
plot(zaman, ashinma_proqnozu, 'r--', 'DisplayName', 'Proqnozlaşdırılan aşınma');
xlabel('Zaman');
ylabel('Aşınma');
title('Mühərrikin aşınmasının proqnozlaşdırılması');
legend;
grid on;
```

Belə nümunələr tələbələrə aviasiyada rast gəlinən real məlumatların təhlili üzrə praktiki bacarıqlar verir. Bu tip məsələləri müntəzəm olaraq yerinə yetirən tələbələr təhlükəsiz və optimallaşdırılmış uçuşları təmin etmək üçün məlumatın emalı və şərhinin vacibliyini daha yaxşı anlayırlar.

Aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanmasında MATLAB və Simulink-in imkanlarının öyrənilməsi və digər oxşar sistemlərlə müqayisəsi bizə aşağıdakıları söyləməyə əsas verir.

1. MATLAB və Simulink-in universallığı və çevikliyi

MATLAB və Simulink aviasiya məsələlərinin həlli üçün idarəetmə alqoritmlərinin işlənilib hazırlanmasından tutmuş multidissiplinar sistemlərin modelləşdirilməsinə qədər geniş çeşidli alətlər təqdim edir. Bu proqram paketləri təyyarənin dinamikasını, uçuşa nəzarət sistemlərini, naviqasiyanı və ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqəni modelləşdirmək və təhlil etmək üçün çevik imkanlar təklif edir. Digər ixtisaslaşdırılmış sistemlərdən (məsələn, ANSYS və ya X-Plane) fərqli olaraq, MATLAB və Simulink müxtəlif fənləri və model növlərini inteqrasiya etmək üçün daha geniş imkanlar təklif edir.

2. Təlim və prototipləşdirmədə səmərəlilik

MATLAB və Simulink aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanması prosesində müxtəlif abstraksiya səviyyələrində modellər və alqoritmlər yaratmaq imkanı verən güclü alətlərdir. Bu proqramlar prototipləşdirmə prosesini xeyli sadələşdirir, tələbələrə və mütəxəssislərə idarəetmə sistemlərini, naviqasiya sistemlərini və aviasiya texnologiyasının digər əsas komponentlərini sürətlə işləyib hazırlamağa və sınaqdan keçirməyə imkan verir. ANSYS və ya Simcenter kimi digər sistemlərdə modelləşdirmə prosesi daha çox ixtisaslaşmış ola bilər, lakin quraşdırma və təhlil üçün daha çox vaxt tələb olunur.

3. Nisbətən aşağı qiymət və əlçatanlıq

ANSYS və ya Simcenter kimi bəzi daha bahalı ixtisaslaşdırılmış proqramlardan fərqli olaraq, MATLAB və Simulink qiymət baxımından daha münasibdir və təhsil müəssisələrində geniş istifadə olunur. Bu, onları aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanması üçün effektiv, lakin sərfəli həllər tələb edən təhsil müəssisələri və təşkilatlar üçün xüsusilə cəlbedici edir.

4. İdarəetmə alqoritmlərinin işlənilib hazırlanması və sınaqdan keçirilməsinin üstünlükləri

MATLAB və Simulink avtopilotlar və uçuşa nəzarət sistemləri kimi idarəetmə alqoritmlərinin işlənilib hazırlanması, sınaqdan keçirilməsi və yoxlanılması üçün daxili alətləri ilə analoji sistemlərdən fərqlənir. Təyyarələrin dinamikasının modelləşdirilməsi və müxtəlif idarəetmə sistemlərinin inteqrasiyası üçün bloklar real şəraitə yaxın şəraitdə alqoritmlərin sürətli sınaqdan keçirilməsinə və optimallaşdırılmasına imkan verir.

5. Multidissiplinar vəzifələrin inteqrasiyası

MATLAB və Simulink-in əsas üstünlüklərindən biri aerodinamika və mexanikadan tutmuş idarəetmə sistemləri və naviqasiyaya qədər müxtəlif fənlərdən problemləri inteqrasiya etmək bacarığıdır. Bu, təyyarə dizaynının fərdi aspektlərinə diqqət yetirən OpenVSP və ya Simcenter kimi daha ixtisaslaşmış vasitələrdən fərqli olaraq, müxtəlif texnologiya və yanaşmaların sintezini tələb edən mürəkkəb problemlərin həlli üçün onları əvəzolunmaz edir.

6. Real vaxtda qarşılıqlı əlaqənin simulyasiyası və təhlili

MATLAB və Simulink real vaxt rejimində mürəkkəb sistemləri modelləşdirməyə və simulyasiya etməyə imkan verir ki, bu da müxtəlif şəraitlərdə təyyarələrin davranışını təhlil etmək üçün xüsusilə vacibdir. Bu, bahalı və vaxt aparan real sınaqlara müraciət etmədən virtual uçuş sınaqları keçirməyə və idarəetmə sistemlərinin işini qiymətləndirməyə imkan verir.

7. Tədris prosesi üçün geniş imkanlar

MATLAB və Simulink aviasiya mühəndisliyi sahəsində tələbələrə öyrətmək üçün təhsil müəssisələrində geniş istifadə olunur, çünki onlar aviasiya sistemlərinin layihələndirilməsi, modelləşdirilməsi və optimallaşdırılması proseslərinin aydın və effektiv nümayişinə imkan verir.

Onlar tədris materiallarının, laboratoriyaların və simulyasiyaların işlənilib hazırlanması üçün zəngin mühit təklif edir ki, bu da mövzunun daha dərinə dərək edilməsinə kömək edir.

8. Xüsusi avadanlıqdan daha az asılılıq

Güclü qrafik kartları və aparat platformaları tələb edə bilən **X-Plane** kimi bəzi yüksək ixtisaslaşmış sistemlərdən fərqli olaraq, MATLAB və Simulink standart iş stansiyalarında işləyə bilər ki, bu da onları tələbələr və kiçik tədqiqat qrupları da daxil olmaqla geniş auditoriya üçün daha əlçatan edir.

Çoxlu üstünlüklərinə baxmayaraq, MATLAB və Simulink aerodinamik proseslərin dəqiq modelləşdirilməsində məhdudiyətlərə malikdir ki, bu da ANSYS və ya **X-Plane** kimi sistemlərin güclü tərəfidir. MATLAB və Simulink əsas aerodinamik modelləşdirmə üçün alətlər təqdim edir, lakin bu cür proseslərin təfərrüatlı təhlili daha çox ixtisaslaşdırılmış paketlərin istifadəsinə tələb edir.

Nəticə: Tədqiqatın nəticələrini ümumiləşdirərək aşağıdakıları qeyd edə bilərik:

- MATLAB və Simulink aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanmasında əsas rol oynayan güclü və çoxyönlü alətlərdir və idarəetmə alqoritmlərinin işlənilib hazırlanması, təyyarələrin dinamikasının modelləşdirilməsi, sistemlərin təhlili və onların vahid arxitekturaya inteqrasiyası kimi geniş spektrli problemlərin həllində yüksək səviyyədə çevikliyi təmin edir.

- Bir sıra ixtisaslaşdırılmış sistemlər (ANSYS, X-Plane və s.) təyyarələrin aerodinamikasının və fiziki davranışının daha ətraflı təhlili üçün faydalı ola bilsə də, MATLAB və Simulink daha yüksək səviyyədə mücərrədləşmə və müxtəlif texnologiyaların inteqrasiyası zamanı problemləri effektiv həll etmək imkanı verir.

- Tələbələr real vaxt rejimində modellər yarada, parametrlərlə sınaq keçirə, müxtəlif başlanğıc şərtlər üçün alınan nəticələri müqayisə edə və vizuallaşdırma biliərlər. Nəticədə real naviqasiya sistemləri ilə işləmək bacarıqları əldə edər, müxtəlif mənbələrdən məlumatların necə qəbul ediləcəyi və birləşdiriləcəyini başa düşər və səhvləri aradan qaldırmaq üçün filtrləri tətbiq etməyi öyrənərlər.

ƏDƏBİYYAT

1. Дьяконов В.П.. MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6 в математике и моделировании. Серия «Библиотека профессионалов».-М.: СОЛОН-Пресс, 2005. -576 с.
2. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель.// – М.: ДМК Пресс, 2008. – 784 с.
3. Обработка данных в среде MATLAB: Методические указания к практическим и лабораторным занятиям / Сост.: А. П. Немирко, Л. А. Манило.// СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. -35 с.
4. Николаев С. В., Верещиков Д. В. Применение Matlab@Simulink для решения практических задач моделирования процессов функционирования авиационных комплексов: Учебное пособие.//М.: Московский авиационный институт, 2021, 98 с.
5. Nadjim Horri, Mikolaj Pietraszko. Tutorial and Review on Flight Control Co-Simulation Using Matlab/Simulink and Flight Simulators.// School of Mechanical, Aerospace and Automotive Engineering, Coventry University, 2022, pp. 486-510.
6. John Smith, Emily Johnson. Modeling and Simulation of Aerodynamic Systems Using MATLAB/Simulink// International Journal of Aerospace Engineering. 2020, vol 15(3) pp 123-135
7. D.M. Braid, C.W. Johnson, G.D. Schillinger. An integrated test approach for avionics system development //Conference: Digital Avionics Systems, 2001. DASC. 20th Conference. Vol. 2
8. Bradley Thompson, Hwan-Sik Yoon. Internal Combustion Engine Modeling Framework in Simulink: Combustion Modeling// Evolutions in Mechanical Engineering, 2022, vol. 4(2)
9. Azarakhsh Keipour , Mohammadreza Mousaei, Dongwei Bai, Junyi Geng, Sebastian

- Scherer. UAS Simulator for Modeling, Analysis and Control in Free Flight and Physical Interaction// AIAA SciTech Forum 23-27 January 2023, National Harbor, MD & Online
10. Yongliang Li, Zhiqiang Zhang, Yuhang Wang, Wei Wang. Design and Implementation of Simulation System for Multi-UAV Cooperative Missions// Applied Sciences. 2023, 13(3) pp 1-14
 11. William C. Messner, Dawn M. Tilbury. Control Tutorials for MATLAB and Simulink: User's Guide// Addison-Wesley, 1998, 32 pg.
 12. MATLAB and Simulink for Data Analysis and Visualization// MathWorks Documentation Team. MathWorks<https://www.mathworks.com/help/matlab/data-analysis.html>
 13. Х. С. Паинг, Х. М. Хтун, Ч. С. Вин, З. М. Наин. Контроль высоты и управление траекторным движением автономного миниатюрного летательного аппарата. // Москва. Национальный исследовательский университет «МИЭТ», 2021.- 13 с.
 14. Программно-моделирующий комплекс для полунатурного моделирования динамики маневренного самолета. Костин П.С., Верещагин Ю.О., Волошин В.А.//М.: «Труды МАИ». Выпуск № 81, 30 с.
 15. Лазарев Ю. Ф. Начала программирования в среде MatLAB: Учебное пособие.// - К.: НТУУ "КПИ", 2003. - 424 с.

REFERENCES

1. Dyakonov V.P.. MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6 v matematike i modelirovanii. Seriya «Biblioteka professionalov».-М.: SOLON-Press, 2005. -576 s.
2. Dyakonov V. P. Simulink 5/6/7: Samouchitel.// – М.: DMK Press, 2008. – 784 s.
3. Obrabotka dannyh v srede MATLAB: Metodicheskie ukazaniya k prakticheskim i laboratornym zanyatiyam / Sost.: A. P. Nemirko, L. A. Manilo.// SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2013. -35 s.
4. Nikolaev S. V., Vereschikov D. V. Primenenie Matlab@Simulink dlya resheniya prakticheskikh zadach modelirovaniya processov funkcionirovaniya aviacionnykh kompleksov: Uchebnoe posobie.//М.: Moskovskii aviacionnyi institut, 2021, 98 s.
5. Nadjim Horri, Mikolaj Pietraszko. Tutorial and Review on Flight Control Co-Simulation Using Matlab/Simulink and Flight Simulators.// School of Mechanical, Aerospace and Automotive Engineering, Coventry University, 2022, pp. 486-510.
6. John Smith, Emily Johnson. Modeling and Simulation of Aerodynamic Systems Using MATLAB/Simulink// International Journal of Aerospace Engineering. 2020, vol 15(3) pp 123-135
7. D.M. Braid, C.W. Johnson, G.D. Schillinger. An integrated test approach for avionics system development //Conference: Digital Avionics Systems, 2001. DASC. 20th Conference. Vol. 2
8. Bradley Thompson, Hwan-Sik Yoon. Internal Combustion Engine Modeling Framework in Simulink: Combustion Modeling// Evolutions in Mechanical Engineering, 2022, vol. 4(2)
9. Azarakhsh Keipour , Mohammadreza Mousaei, Dongwei Bai, Junyi Geng, Sebastian Scherer. UAS Simulator for Modeling, Analysis and Control in Free Flight and Physical Interaction// AIAA SciTech Forum 23-27 January 2023, National Harbor, MD & Online
10. Yongliang Li, Zhiqiang Zhang, Yuhang Wang, Wei Wang. Design and Implementation of Simulation System for Multi-UAV Cooperative Missions// Applied Sciences. 2023, 13(3) pp 1-14
11. William C. Messner, Dawn M. Tilbury. Control Tutorials for MATLAB and Simulink: User's Guide// Addison-Wesley, 1998, 32 pg.
12. MATLAB and Simulink for Data Analysis and Visualization// MathWorks Documentation Team. MathWorks<https://www.mathworks.com/help/matlab/data-analysis.html>

13. H. S. Paing, H. M. Htun, CH. S. Vin, Z. M. Nain. Kontrol vysoty i upravlenie traektornym dvizheniem avtonomnogo miniatyurnogo letatel'nogo apparata. // Moskva. Nacional'nyi issledovatel'skii universitet «MIET», 2021.- 13 s.
14. Programmno-modeliruyuschii kompleks dlya polunaturnogo modelirovaniya dinamiki manevrennogo samoleta. Kostin P.S., Vereschagin Y.O., Voloshin V.A.//M.: «Trudy MAI». Vypusk № 81, 30 c.
15. Lazarev Y. F. Nachala programmirovaniya v srede MatLAB: Uchebnoe posobie.// - K.: NTUU "KPI", 2003. - 424 s.

THE USE OF MATLAB AND SIMULINK IN THE TRAINING OF FUTURE AVIATION SPECIALISTS

Ahmadov L.N., Guliyeva Kh.N.
National Aviation Academy

The article explores MATLAB and its extension, Simulink, highlighting their significance across various scientific and engineering fields. It discusses how these tools are used in visual object-oriented programming, modeling linear and nonlinear dynamic systems, signal and image processing, system analysis, identification and modeling, fuzzy logic, neural networks, and more. A key focus of the article is the application of MATLAB and Simulink in the education of future aviation specialists. It examines how these tools help address challenges in learning essential subjects for professional training. The article also provides a comparison of MATLAB and Simulink packages with a number of other similar and specialized software tools used in engineering practice, especially in the field of aviation, for modeling and solving aviation problems. The discussion covers the role of MATLAB and Simulink in modeling aerodynamic processes, avionics systems, engine components, and flight simulators. It also looks at their application in designing unmanned aerial vehicles (UAVs), simulating control systems, and processing data from various aircraft sensors. These aspects are crucial in helping students grasp flight mechanics, operational requirements, and aircraft control system dynamics. The article explains how each model built using these tools contributes to developing students' technical skills and knowledge. It also provides guidance on creating Simulink models for key navigation-related tasks, such as modeling and integrating INS and GPS navigation systems, simulating autopilot functions, tracking flight trajectories, and designing collision avoidance systems. Additionally, the article presents examples of data processing in MATLAB for different aviation-related tasks. In conclusion, it emphasizes the importance and benefits of using MATLAB and Simulink in training aviation students, ensuring they gain practical experience and a deeper understanding of their field.

Keywords: training of aviation specialists, MATLAB, Simulink, ANSYS, X-Plane, Simcenter, modeling, simulation model, data processing, filtering, INS and GPS systems, visualization, noise simulation, flight simulators.

Rəyçilər: *t.e.d. Ağayev N.B.*
t.f.d. Dadaşov F.H.

Müəlliflər haqqında məlumat

| Soyadı, adı, atasının adı | İş yeri | Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı | Əlaqə |
|----------------------------------|----------------------------|--|---|
| Əhmədov Lütviyar Nurməmməd oğlu | Milli Aviasiya Akademiyası | “Kompüter sistemləri və proqramlaşdırma” kafedrasının dosenti, f.-r.e.n. | alutfiyar@gmail.com (+994) 50-385-69-18 |
| Quliyeva Xavər Nurməhəmməd qızı | Milli Aviasiya Akademiyası | “Kompüter sistemləri və proqramlaşdırma” kafedrasının müəllimi | quliyeva_xaver@mail.ru (+994) 55-680-48-70 |

UOT 004.896

DOI:10.30546/EMNAA.2025.27.01.110

QEYRI-SƏLİS SİSTEMLƏRİN İDENTİFİKASIYA MƏSƏLƏSİNİN HƏLLİNDƏ *max-min* KOMPOZİSIYA ƏMƏLİYYATININ TƏTBİQİ

Məmmədova K.A., Əliyeva Y.N.
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

max-min kompozisiya əməliyyatı qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsində fundamental vasitədir. Xüsusilə də, qeyri-səlis sistemlərin identifikasiyası məsələsinin həllində mühüm rol oynayır. Qeyri-səlis sistemlərin identifikasiya məsələsinin tədqiqində identifikasiya həlli müşahidə edilən məlumatlar əsasında giriş-çıxış qeyri-səlis çoxluqlar arasındakı əlaqəni ən yaxşı modelləşdirən qeyri-səlis əlaqənin müəyyən edilməsini nəzərdə tutur. Bu işdə qeyri-səlis münasibət tənlikləri şəklində təsvir edilmiş qeyri-səlis sistemlərin münasibətlərə görə identifikasiya məsələsinin həllində *max-min* kompozisiya əməliyyatının tətbiqi nəzərdə tutulmuş və qaydalar bazası əsasında identifikasiya alqoritmi qurulmuşdur. Məqsəd, *max-min* kompozisiya əməliyyatının tətbiqi ilə qeyri-səlis münasibət tənlikləri şəklində təsvir edilmiş qeyri-səlis idarəetmə sistemlərinin identifikasiya məsələsinin həllində prosesi daha adekvat təsvir etməkdir. Arzu olunan məqsəd və şərtləri ödəyən qeyri-səlis idarəetmənin nəticələrinin obyektiv qiymətləndirilməsi nəticəsində idarəetmə əməlləri öz qiymətləri çərçivəsində səlis qiymətlər çoxluğu kimi təyin edilir. Hər bir idarəetmə əməllərinə uyğun olaraq proqnozlaşdırma nəticələri əsasında müvafiq idarəetmə qaydaları seçilir.

Bu işdə üç formada dinamik proses analiz edilir: determinik, stoxastik və qeyri-səlis. Qeyri-səlis modellərin qurulması və identifikasiyası üsulları əsasında qeyri-müəyyənlik şəraitində dinamik modellərin təsviri üçün nisbətən uyğunlaşdırılmış qeyri-səlis TSK fərq modelinin qurulması və identifikasiyası metodologiyasının hazırlanması vacibliyi haqqında nəticə çıxarılmışdır. “Qeyri-səlis TSK – fərq” forması model olub, sol tərəfində qeyri-səlis çoxluqlar, sağ tərəfində isə r, s tərtibli fərq tənlikləri yerləşən produksiya qaydaları cəmindən ibarətdir. Məqalədə implikativ qeyri-səlis qaydalar və qeyri-səlis girişlər sistemi üzrə həyata keçirilən praktiki nəticə çıxarma metodundan istifadə olunmuşdur. Qeyri-səlis əməliyyatlardan və qeyri-səlis biliklər bazasından istifadə etməklə qeyri-səlis çoxluqlar şəklində *tərtib olunmuş* qeyri-səlis məntiqi çıxarışın əsasını L. Zadənin kompozisiya qaydaları təşkil edir. *max-min* kompozisiya əməliyyatına görə fərqlər cəmi hesablanmış və J meyarının minimal qiyməti tapılmışdır. Aparılan tədqiqatlara görə məlum olmuşdur ki, minimal meyar qiymət *max-min* kompozisiya əməliyyatına uyğundur.

Açar sözlər: dinamik proses, qeyri-səlis TSK fərq modeli, qeyri-səlis məntiq, *max-min* kompozisiya əməliyyatı, qeyri-səlis tənziqləmə qaydaları

Giriş

Qeyri-səlis idarəetmə alqoritminin formalaşdırılmasına iki evrestik yanaşma vasitəsilə nail olmaq olar. Daha çox insan ekspertizasının formalaşdırılmasından istifadə olunur. Belə formalaşdırılmaya tipik nümunə kimi texnoloji proseslərin idarə olunmasını göstərmək olar [1-2]. Digər yanaşma təcrübəli ekspertlərin və ya operatorların cavablarına əsaslanan dəqiq hazırlanmış sorğuların köməyi ilə idarəetmə alqoritminin formalaşdırılmasıdır:

-operatorun idarəedici fəaliyyətinin imitasiyası – bu halda qeyri-səlis qaydalar insanın idarəetmə fəaliyyətinin müşahidə olunması və giriş-çıxış əlaqələrinin araşdırılması əsasında formalaşdırıla bilər;

-prosesin qeyri-səlis modelinin simulyasiyası – linqvistik yanaşmada idarə olunan prosesin dinamik xarakteristikalarının linqvistik təsvirinə prosesin qeyri-səlis modeli kimi baxıla bilər. Qeyri-səlis modelə əsaslanaraq qeyri-səlis idarəedici qaydalar çoxluğu generasiya edilə bilər;

-öyrətmə ilə qeyri-səlis qaydaların generasiyası – öz-özünü təşkil edən tənzimləyicilərin köməyi ilə qeyri-səlis idarəetmə sistemini formalaşdırmaq olar [2]. Belə sistemlər iki qaydalar bazasından ibarət iyerarxik struktura malikdir: birinci baza, qeyri-səlis idarəetmə sisteminin ümumi qaydalar bazasıdır; ikinci baza isə, sistemin bütövlükdə arzu olunan fəaliyyətini təmin edən ümumi qaydalar bazasının yaradılması və dəyişdirilməsi üçün insanın öyrənmə qabiliyyətini əks etdirən meta-qaydalardan ibarətdir.

Öyrənmənin müasir yanaşmaları, məsələn, müasir Soft Kompüter, xüsusilə də neuro-fuzzy, qeyri-səlis genetik yanaşma, ehtimallı mühakimə biliklərin əldə olunmasına və qeyri-səlis idarəetmə sisteminin optimallaşdırılmasına imkan verir [3]. Bu kitab qeyri-səlis hesablamanın əsas konsepsiyaları və metodologiyalarının sisteməlik hesabını təqdim edən ilk kitabdır. Neyro-qeyri-səlis məntiq, neyro-genetik alqoritm, qeyri-səlis məntiq-genetik alqoritm və neyro-qeyri-səlis məntiq-genetik alqoritm, neyro-xaos və s. sistemlər haqqında çoxlu nümunəvi tətbiqlər və təcrübələrlə zəngin məlumatların daxil edilməsi xüsusilə diqqətə layiqdir.

[4]-də qeyri-xətti olan və qeyri-müəyyən şəraitdə işləyən idarəetmə sisteminin müəyyən edilməsi problemi həll edilir və qeyri-səlis məntiqin işləməsinə uyğun olaraq sistemin sintezi aparılır. Yüksək qeyri-müəyyən idarəetmə obyektini - buxar generatoru üçün qeyri-səlis idarəetmə alqoritminin işlənməsi, qeyri-səlis idarəetmə sisteminin arxitekturası və onun elementlərinin müəyyən edilməsi nəzərdən keçirilir. Bu məqalədə İES-in enerji bloklarının buxar generatorunun dinamik obyektini qeyri-səlis identifikasiyası müxtəlif qeyri-səlis implikasiyalar əsasında prosesin idarə edilməsinə təsirinin analizi və optimal həllinin təyini həyata keçirilir. Qeyri-səlis idarəetmə sisteminin məlumat bazası yaradılmış, qeyri-səlis idarəetmə sistemində müxtəlif qeyri-səlis idarəetmə alqoritmlərinin istifadəsi və orta kvadrat xətası baxımından optimal implikasiya müəyyən edilmişdir.

Qeyri-səlis determinantların və qeyri-səlis həllərin tapılması məqsədilə max–min kompozisiyası əsasında $A \otimes X = B$ formalı xətti tənliklərin həll edilə bilən sistemləri üçün səmərəli üsullar təklif edilir. Məqalədə qeyri-səlis determinantdan istifadə etməklə B üzərində xətti tənlik sistemlərinin unikal həllinin olmaması şərti formalaşdırılmışdır [5].

[6]-də məqsəd giriş və çıxış məlumatlarından qeyri-xətti sistemlərin modellərinin qurulması üçün riyazi vasitələri nəzərdən keçirməkdir. Sistemin faza müstəvisi hər biri xətti modelə əlaqəli olan subdomenlərə bölünür. Hər bir xətti model şəklində təmsil olunur. Xətti sistemlərin seçilmiş parametrlərini müəyyən etmək üçün ən kiçik kvadratlar üsulundan istifadə olunur. Qeyri-xətti sistemin ümumi çıxışını əldə etmək üçün qeyri-səlis təsvirdən istifadə olunur. Təklif olunan metodologiya rəqəmsal nümunələr üzərində sınaqdan keçirilmişdir.

[7-9]-də ardıcıl implikativ qaydalar və qeyri-səlis girişlərə əsaslanan praktik nəticəyə ümumi yanaşma təqdim olunur. Ardıcıl qaydalar hər bir giriş üçün qeyri-səlis sistemin çıxışlarını məhdudlaşdıran məhdudiyətləri təmsil edir. Onlar interpolativ əsaslandırma üçün uyğunlaşdırılmışdır. Nəticəyə yanaşma inferensial müstəqilliyin istifadəsinə əsaslanır. O, interval qiymətli

girişə görə qeyri-səlis çıxışın hesablanmasına əsaslanır. Qeyri-səlis girişlərin ikiqat dekompozisiyası α kəsikləri baxımından və bu kəsiklərin yalnız bir neçə qaydanın tətbiq olunduğu sahələrə görə bölünməsi baxımından həyata keçirilir. Məsələyə bir və iki ölçülü girişlər olan halda baxılmışdır. Yanaşmanın sənaye sahəsində məhsul istehsalı, məsələn, pendir istehsalı prosesinə tətbiqi nəzərdə tutulmuşdur.

Məqalədə implikativ qeyri-səlis qaydalar və qeyri-səlis girişlər sistemi üzrə həyata keçirilən praktiki nəticə çıxarma metodundan istifadə olunmuşdur. Qeyri-səlis giriş üçün α kəsiklərindən və girişlərin bölməli parçalanmasından istifadə etməklə nəticə dəqiq diskretləşdirilmişdir. Məhdudiyyətləri nəzərə alan ekspert biliklərinin modelləşdirilməsi zamanı Mamdani qaydaları istisna olmaqla bu cür qeyri-səlis sistemdən nəticə çıxarmaq daha səmərəlidir. Metodun əsas əhəmiyyəti məhsul istehsalı prosesinin sadələşdirilmiş proqnozlaşdırıcı diaqnostikası nümunəsində təsvir edilmişdir. Lakin məqalədə nəticələrin doğruluğunu təsdiqləyən ehtimal nəticələri verilməmişdir [10].

Bu işdə məqsəd, qeyri-səlis münasibət tənlikləri şəklində təsvir edilmiş qeyri-səlis sistemlərin münasibətlərə görə identifikasiya məsələsinin həllində *max-min* kompozisiya əməliyyatının tətbiqi ilə texnoloji prosesi daha adekvat formada təsvir etmək və idarəetmə alqoritmini qurmaqdır.

1. PROBLEMİN QOYULUŞU

Çox girişli və bir çıxışlı qeyri-səlis idarəetmə sisteminin konstruksiya edilməsində aşağıda təsvir edilən qeyri-səlis qaydalar tipindən istifadə olunur [1-3]:

$$\begin{aligned} \text{ƏGƏR } e_1^* = A_{11} \text{ VƏ } e_2^* = A_{12}, \dots, \text{ VƏ } e_N^* = A_{1N} \text{ onda } u^* = B_1 \\ \text{həmçinin} \\ \text{ƏGƏR } e_1^* = A_{21} \text{ VƏ } e_2^* = A_{22}, \dots, \text{ VƏ } e_N^* = A_{2N} \text{ onda } u^* = B_2 \\ \text{həmçinin} \\ \text{ƏGƏR } e_1^* = A_{m1} \text{ VƏ } e_2^* = A_{m2}, \dots, \text{ VƏ } e_N^* = A_{mN} \text{ onda } u^* = B_m \end{aligned} \quad (1)$$

Burada e_1^*, \dots, e_N^*, u^* – qeyri-səlis dəyişənlər (qeyri-səlis çoxluq və ya fazifikasiya olunmuş adi dəyişənlərdir); A_{i1}, \dots, A_{iN} və $B_i - e_1^*, \dots, e_N^*, u^*$ dəyişənlərinin qeyri-səlis linqvistik ifadələridir ($i = \overline{1, m}$) mənsubiyyət funksiyası və ya qeyri-səlis linqvistik nişanlardır.

Qeyri-səlis tənzimləmə qaydalarının aşağıdakı tiplərindən də istifadə oluna bilər.

$$R_i: \text{ƏGƏR } e_{i1} = A_{i1}, \dots, \text{ VƏ } e_{in} = A_{in}, \dots, \text{ ONDA } u^* = f_i(e_1, \dots, e_N) \quad (2)$$

Arzu olunan məqsəd və şərtləri ödəyən qeyri-səlis idarəetmənin nəticələrinin obyektiv qiymətləndirilməsi nəticəsində idarəetmə əməlləri çıxarılır. İdarəetmə əməlləri öz qiymətləri çərçivəsində səlis qiymətlər çoxluğu kimi təyin edilir. Hər bir idarəetmə əməllərinə uyğun olaraq proqnozlaşdırma nəticələri əsasında müvafiq idarəetmə qaydaları seçilir.

Qeyri-səlis idarəetmənin nüvəsi hesab edilən məntiqi çıxarış mexanizmi qeyri-səlis məntiq əsasında bazalaşdırılaraq aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilir:

1. Hər bir giriş dəyişənin cari səlis qiymətini bu dəyişənin qaydalarının şərti hissəsindəki mənsubiyyət funksiyaları ilə müqayisə etməklə onun hər bir linqvistik termə mənsub olma dərəcəsinin hesablanması, yəni fazifikasiyasının həyata keçirilməsi:

$$\mu_j(e) = \frac{1}{1+[c(e-e_j)]^2}, j = \overline{1, N}; \quad (3)$$

2. Hər bir qaydanın şərtləşdirilmiş hissədə mənsubiyyət qiymətlərinin kombinə edilməsi;
3. Aktivləşmənin gücünü təyin etmək üçün hər bir qaydanın şərt hissəsinə T-norma əməliyyatlarının tətbiq olunması [2]:

$$T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \max(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1) \quad (4)$$

4. Aktivləşmənin gücündən asılı olaraq hər bir qaydanın səlis və ya qeyri-səlis nəticələrinin generasiyası;

5. Çıxış dəyişənlərinin qiymətlərinin produksiyası üçün nəticələrin defazifikasiya olunması

$$u_0 = \frac{\sum_{i=1}^l u_i \mu_{B_i}(u)}{\sum_{i=1}^l \mu_{B_i}(u)} \quad (5)$$

2. PROBLEMİN HƏLLİ QAYDASI

Tutaq ki, qeyri-səlis model qeyri-səlis münasibət tənlikləri ilə təsvir edilir [9,10]:

$$\hat{X}_{i+1} = X_i * U_i * R(X_i, u_i, X_{i+1}) \quad (6)$$

burada, $X_{i+1} = \int \mu_{x_i}(x_i)/x_i$

$$U_i = \int \mu_{U_i}(u_i)/u_i$$

$$R = X_i ** U_i ** X_{i+1} \quad (7)$$

* $\in O_1 = \{sup - min, inf - max, t_1 - min, t_2 - prod, sup - prod\}$,

** $\in O_2 = \{\circ, \varphi, \beta, \varepsilon, \psi\}$ - kompozisiya əməliyyatlarıdır.

Elə kompozisiya əməliyyatını seçmək və \hat{R} -qeyri-səlis münasibətlərini hesablamaq tələb edilir ki, baxılan X_{i+1} parametrinin qiymətləri ilə (6) tənliyindən alınan \hat{X}_{i+1} arasında fərq minimal olsun.

Qeyri-səlis münasibət tənlikləri şəklində təsvir edilmiş qeyri-səlis sistemlərin münasibətlərə görə identifikasiya alqoritmi aşağıdakı məsələlərin həllini nəzərdə tutur:

1. Səlis və qeyri-səlis giriş-çıxış verilənlərinin yığılması və mühakimələr oblastının təyin edilməsi.
2. Verilənlərin klasterləşdirilməsi və ilkin verilənlərin və ya əsas qeyri-səlis çoxluqların qurulması.
3. Əsas qeyri-səlis çoxluqlar terminində yığılmış bütün verilənlərin ifadə olunması.
4. Sistemin strukturunun təyin edilməsi, yəni sistemin modelinin fiksə olunması.
5. Struktur parametrlərin hesablanması, yəni əlavə parametrlərin münasibətləri üzrə modelin keyfiyyət göstəricilərini minimallaşdıran və optimallaşdıran qeyri-səlis münasibətlər modelinin hesablanması.
6. Empirik verilənlərə münasibətlər üzrə alınmış modelin yoxlanması.

Giriş-çıxış verilənləri baxılan sistemin tədqiq olunması yolu ilə yığıla bilər və ölçmə qurğularından qeydiyyatdan keçmiş ola bilər. Bu verilənlər linqvistik xarakterli də ola bilər və müvafiq oblastda təyin olunmuş qeyri-səlis çoxluqlarla təsvir edilə bilər.

Sistemin tədqiq olunması nəticəsində verilənlər yığılır. Qeyri-səlis klaster-analiz üsulunun tətbiqi ilə bu verilənlər qeyri-səlis münasibətlərin hesablanması zamanı istifadə edilən qeyri-səlis çoxluqlarda qruplaşdırılır.

Giriş-çıxış oblastlarının təyin edilməsi yığılmış verilənlərin klasterləşdirilməsini həyata keçirir. Konkret tətbiq sahəsindən asılı olan, giriş-çıxış oblastlarına mənsub edilmiş linqvistik nişanların sayını əks etdirən qeyri-səlis çoxluqların sayı təyin edilir. məsələn, giriş oblastında üç linqvistik nişana, “kiçik”, “orta” və “böyük” girişlərinə bölmək olar. Verilmiş verilənlər çoxluğunu da üç klasterə bölmək olar.

Qeyri-səlis diskretləşdirmə və qeyri-səlis klasterləşdirmənin tətbiqi bütün verilənlərin təsvir olunmasını təmin edir [3-6].

3. QEYRİ-SƏLİS SİSTEMLƏRİN İDENTİFİKASIYA MƏSƏLƏSİNİN HƏLLİNDƏ KOMPOZİSIYA ƏMƏLIYYATININ TƏTBİQİ

Sistemin strukturunun təyin edilməsi üçün əvvəlcə sistemin çox giriş və bir çıxışa malik olmasını təyin etmək lazımdır. Sistemin strukturu kompozisiya əməliyyatının, xüsusilə də, sup-min, sup-prod, inf-max, t_1 -min, t_2 -prod və s. əməliyyatının seçilməsi ilə təyin edilir.

Kompozisiya əməliyyatı qeyri-səlis münasibət tənlikləri şəklində aşağıdakı kimi təsvir edilir:

$$X_{i+1} = X_i \circ U_i \circ R \quad (8)$$

Qeyri-səlis modelin strukturu təyin edilir. Burada, $X_i = \int \mu_{x_i} / X_i$

$$U_i = \int \mu_{u_i} / u_i, X_i \in V, U_i \in W$$

V, W – obyektin giriş-çıxış oblastıdır.

Bundan sonra sistemin struktur parametrləri təyin edilir. Yəni qeyri-səlis münasibətlər hesablanır. Bu məqsədlə, tətbiq olunan giriş-çıxış verilənlərinə klasterləşdirmə üsulunun tətbiqi nəticəsində alınmış N sayda $\{(X_i, Y_i)\}$ -qeyri-səlis giriş-çıxış verilənləri birliyindən istifadə edilir və onlar arasında qeyri-səlis münasibətlər hesablanır.

$$\hat{X}_{i+1} = X_i \circ U_i \circ R(x_i, u_i, x_{i+1}) \quad (9)$$

(9) tənliyi ilə təsvir olunmuş qeyri-səlis sistemin identifikasiya məsələsi - R qeyri-səlis münasibəti ifadə edir və bu qeyri-səlis tənliyin həlli ilə başa çatır.

(9) qeyri-səlis tənliyinin həlli kompozisiya əməliyyatının seçilməsindən asılıdır. Ona görə də (9) tənliyi ilə təsvir edilmiş qeyri-səlis sistemin identifikasiya məsələsinə, tədqiq olunan qeyri-səlis verilənlərin və qeyri-səlis münasibət tənliklərinin köməyi ilə alınmış çıxış modelləri arasında fərqlər cəminin optimallaşdırılma (minimallaşdırılma) məsələsi kimi baxıla bilər [7,8].

$$\min_{\substack{* \in \mathcal{O}_1 \\ R \in \mathfrak{R}}} J(*, R) = \min_{\substack{* \in \mathcal{O}_1 \\ R \in \mathfrak{R}}} \sum_{i=1}^N \rho(X_i * U_i R, X_{i+1}) \quad (10)$$

burada, $R = \cup_{i=1, N} X_i * U_i * X_{i+1}$

$\mathfrak{R} - \circ, \phi, \beta \varepsilon$ -kompozisiya əməliyyatının köməyilə hesablanmış qeyri-səlis münasibətlər birliyidir.

$J - X_i * U_i R$ və X_{i+1} qeyri-səlis çoxluqları arasında fərqlər cəmini ifadə edir.

$\rho - X_i * U_i R$ və X_{i+1} qeyri-səlis çoxluqları arasında məsafə funksiyasıdır. Məsafə funksiyalarının ümumi formalarından biri Minkovski məsafəsidir.

$$\rho(X_i * U_i R, X_{i+1}) = (\int \mu_{X_i * U_i R}(X_{i+1} - \mu_{X_{i+1}}(X_{i+1}))^p du)^{1/p} \quad (11)$$

$p = 1$ olanda Xemmin məsafəsi, $p = 2$ olanda isə Evklid məsafəsi olur.

Aydın ki, (9) qeyri-səlis münasibət tənliyi dəqiq həllə malik olduğu zaman $min J = 0$ olur.

Alınmış modelin yoxlanması müxtəlif üsullarla həyata keçirilir. J məsafəsinə J^* sərhəddini əlavə etməklə sistemin bu tələbləri ödəyə bilməsi yoxlanıla bilər.

Bu işdə qeyri-səlis münasibət tənlikləri şəklində təsvir edilmiş qeyri-səlis sistemlərin münasibətlərə görə identifikasiya məsələsinin həllində kompozisiya əməliyyatlarından biri- *max-min* kompozisiya əməliyyatının tətbiqi nəzərdə tutulmuşdur.

max-min kompozisiya əməliyyatına görə fərqlər cəmi hesablanır və J meyarının minimal qiyməti tapılır. Aparılan tədqiqatlara görə məlum olmuşdur ki, minimal meyar qiymət *max-min* kompozisiya əməliyyatına uyğundur.

Odur ki, qeyri-səlis münasibət tənlikləri şəklində təsvir edilmiş qeyri-səlis sistemlərin identifikasiya məsələsinin həllində kompozisiya əməliyyatının tətbiqi prosesi daha adekvat təsvir etməyə imkan verir [9].

Məntiqi çıxarış kompozisiya əməliyyatı aşağıdakı tautologiyalar üzərində bazalaşdırılır:

- modus ponens $(A \wedge (A \Rightarrow B)) \Rightarrow B$;
- modus tollens: $((A \Rightarrow B) \wedge \bar{B}) \Rightarrow \bar{A}$;
- silloqizm: $((A \Rightarrow B) \wedge (B \Rightarrow C)) \Rightarrow (A \Rightarrow C)$;
- kontropozisiya: $(A \Rightarrow B) \wedge (\bar{B} \Rightarrow \bar{A})$.

Səlis məntiqi çıxarışda daha çox modus ponens tətbiq edilir və aşağıdakı kimi yazılır:

| | |
|-----------------|--------------------------|
| Mühakimə | A həqiqidir |
| İmplikasiya | əgər A-dırsa, onda B-dir |
| Məntiqi çıxarış | B həqiqidir |

Modus ponens “əgər A-dırsa, onda B-dir” qaydası və “A həqiqidir” mühakiməsindən “B həqiqidir” nəticəsini çıxarır (A və B səlis məntiqi təsdiq etmədir).

Lakin, əgər presedent iştirak etmirsə, onda modus ponens həтта yaxın nəticələr almağa imkan vermir. Həтта A-ya yaxın olan həqiqidirsə, modus ponens tətbiq edilə bilməz. Qeyri-

müəyyən informasiya şəraitində qərarların qəbul edilməsi üsullarından biri də qeyri-səlis məntiqi çıxarışdır [3,5,10].

Qeyri-səlis məntiqi çıxarış qeyri-səlis əməliyyatlardan və qeyri-səlis biliklər bazasından istifadə etməklə qeyri-səlis çoxluqlar şəklində olur. Qeyri-səlis məntiqi çıxarışın əsasını L. Zadənin kompozisiya qaydaları təşkil edir.

L. Zadənin kompozisiya qaydaları aşağıdakı şəkildə formalaşır: Əgər giriş (x) və çıxış (y) dəyişənləri arasında \tilde{R} qeyri-səlis münasibət məlum olarsa, onda giriş dəyişəninin $x = \tilde{A}$ qeyri-səlis qiymətində çıxış dəyişəninin qeyri-səlis qiyməti $y = \tilde{A} \circ \tilde{R}$ kimi təyin edilir. Burada, $0-max-min$ kompozisiyasıdır [1,2,6].

Sadə bir misala baxaq. Qeyri-səlis qaydalar verilir. Tutaq ki, giriş və çıxış dəyişəninin qeyri-səlis qiymətləri $x = \tilde{A}$ və $y = \tilde{A} \circ \tilde{R}$ qeyri-səlis çoxluqlar şəklində verilir:

$$\tilde{A} = 0/1 + 0.1/2 + 0.5/3 + 0.8/4 + 1/5$$

$$\tilde{B} = 1/5 + 0.8/10 + 0.4/15 + 0.2/20$$

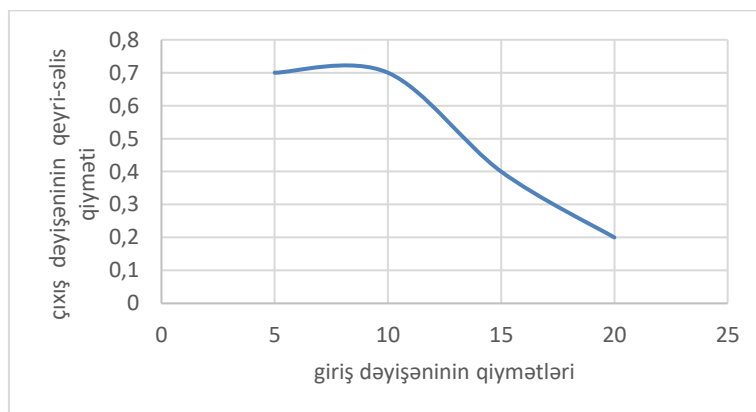
Əgər $x = \tilde{C} = 0.3/1 + 0.5/2 + 1/3 + 0.7/4 + 0.4/5$ olarsa, çıxış dəyişəninin qiymətini təyin edək.

Əvvəlcə minimumun tapılması əməliyyatını tətbiq etməklə mövcud “Əgər $x = \tilde{A}$ –dirsə, onda $y = \tilde{B}$ –dir” qaydası əsasında qeyri-səlis münasibət matrisi hesablanır:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.2 \\ 0.8 & 0.8 & 0.4 & 0.2 \\ 1 & 0.8 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix}$$

İndi isə $y = \tilde{C} \circ \tilde{R}$ ifadəsi üzrə çıxış dəyişəninin qeyri-səlis qiyməti hesablanır (şəkil 1):

$$y = 0.7/5 + 0.7/10 + 0.4/15 + 0.2/20$$



Şəkil 1. Çıxış dəyişəninin qrafiki

NƏTİCƏ

Məqalədə qeyri-müəyyənlik şəraitində texnoloji obyektlərin dinamik xarakteristikalarının təsviri üçün təyin edilən qeyri-səlis TSK modelinin qurulması və identifikasiyası məsələsi həll edilmişdir. Struktur və parametrik identifikasiya alqoritmlərinin köməyi ilə təyin edilməsində ehtiyacı olan qeyri-səlis fərq modelinin meyar, parametr və struktur elementlərinin seçilməsinə

əsaslanan identifikasiya məsələsi formalaşdırılmışdır.

Texnoloji prosesin dəyişən şəraitinə tez sazlanma xüsusiyyəti ilə fərqlənən və yüksək dəqiqliklə onun qeyri-xətti dinamik xarakteristikalarını təsvir edən qeyri-səlis fərq TSK modeli qurulmuşdur. Xətti tənliklərin əmsallarının, qaydalar sayının, mənsubiyyət funksiyasının parametrlərinin, fərq tənliklərinin tərtibinin identifikasiyası və onların yerinə yetirilməsi ardıcılığını həyata keçirən identifikasiya alqoritmlərinin hazırlanmasında kompozisiya əməliyyatı tətbiq edilmişdir. Aparılan tədqiqatlara görə məlum olmuşdur ki, minimal meyar qiymət *max-min* kompozisiya əməliyyatına uyğundur.

ƏDƏBİYYAT

1. Lofti A. Zadeh. Probability theory and fuzzy logic. 2006, 160p.
2. Lotfi A Zadeh, Rafik A Aliev. Fuzzy Logic Theory and Applications. Part I and Part II. 2018, 612 p.
3. Rafik Aziz Aliev, Rashad Rafiq Aliyev. Soft Computing And Its Applications. World Scientific Publishing Company. 2001, 460 p.
4. Gardashova L.A., Mammadova K.A. Optimal Implication Based Fuzzy Control System for a Steam Generator. 15th International conference on applications of fuzzy systems, Soft computing and artificial intelligence tools. ICAFS 2022. August 26 - 27 2022, Budva – Montenegro. DOI: [10.1007/978-3-031-25252-5_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25252-5_34)
5. Ali Abbasi Molai, Esmail Khorram . An algorithm for solving fuzzy relation equations with $\max-T$ composition operator. Information Sciences. Volume 178, Issue 5, 1 March 2008, Pages 1293-1308. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020025507004963>
6. Saeid Abbasbandy et. al. Numerical solution of fuzzy \max - \min systems. Applied Mathematics and Computation 174(2):1321-1328. DOI:10.1016/j.amc.2005.05.043
7. Jones H., Dubois D., Guillaume S., Charnomordic B. 2D inference with fuzzy implicative rules and fuzzy inputs. April 11, 2008, https://www.irit.fr/~Didier.Dubois/Papers0804/JDGC_IEEE07
8. Catalin Dumitrescu, Petrica Ciotirnae and Constantin Vizitiu. Fuzzy Logic for Intelligent Control System Using Soft Computing Applications. 2021, 21, 2617. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/8/2617>
9. Бураков М.В., М.С. Брунов, Структурная идентификация нечеткой модели, Тр. СПИИРАН, 2014, выпуск 34, с.232–246. <https://www.mathnet.ru/links/0cd18f9775059d2b929452fc87a4810f/trspy743>
10. Кудинов Ю.И., Сулова СЛ. Исследование нечетких динамических моделей и алгоритмов идентификации //Сборник научных трудов Международной конференции " Современная металлургия начала нового тысячелетия ". - ЛиНёцк: ЛГТУ, 2005. - ч.3.- с.88-92.

REFERENCES

1. Lofti A. Zadeh. Probability theory and fuzzy logic. 2006, 160p.
2. Lotfi A Zadeh, Rafik A Aliev. Fuzzy Logic Theory and Applications. Part I and Part II. 2018, 612 p.
3. Rafik Aziz Aliev, Rashad Rafiq Aliyev. Soft Computing And Its Applications. World Scientific Publishing Company. 2001, 460 p.
4. Gardashova L.A., Mammadova K.A. Optimal Implication Based Fuzzy Control System for a Steam Generator. 15th International conference on applications of fuzzy systems, Soft computing and artificial intelligence tools. ICAFS 2022. August 26 - 27 2022, Budva – Montenegro. DOI: [10.1007/978-3-031-25252-5_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25252-5_34)
5. Ali Abbasi Molai, Esmail Khorram . An algorithm for solving fuzzy relation equations with max- T composition operator. Information Sciences. Volume 178, Issue 5, 1 March 2008, Pages 1293-1308. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020025507004963>
6. Saeid Abbasbandy et. al. Numerical solution of fuzzy max–min systems. Applied Mathematics and Computation 174(2):1321-1328. DOI:10.1016/j.amc.2005.05.043
7. Jones H., Dubois D., Guillaume S., Charnomordic B. 2D inference with fuzzy implicative rules and fuzzy inputs. April 11, 2008, https://www.irit.fr/~Didier.Dubois/Papers0804/JDGC_IEEE07
8. Catalin Dumitrescu, Petrica Ciotirnae and Constantin Vizitiu. Fuzzy Logic for Intelligent Control System Using Soft Computing Applications. 2021, 21, 2617. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/8/2617>
9. Burakov M.V., M.S. Brunov, Strukturnaya identifikatsiya nechetkoy modeli, Tr. SPIIRAN, 2014, vypusk 34, s. 232-246. <https://www.mathnet.ru/links/0cd18f9775059d2b929452fc87a4810f/trspy743>
10. Kudinov Yu.İ., Suslova S.L. İssledovanie nechetkikh dinamicheskikh modeley i algoritmov identifikatsii// Sbornik nauchnykh trudov Mejdunarodnoy konferentsii “Sovremennaya metallurgiya nachala novogo tysyacheletiya” . LiNetsk: LGTU, 2005. -ch.3. -s.88-92

APPLICATION OF max-min COMPOSITION OPERATION IN SOLUTION OF THE IDENTIFICATION PROBLEM OF FUZZY SYSTEMS

Mammadova K.A., Aliyeva Y.N.

Azerbaijan State Oil and Industry University

The max-min composition operation is a fundamental tool in fuzzy set theory. In particular, it plays an important role in solving the problem of identification of fuzzy systems. In the study of the identification problem of fuzzy systems, the identification solution involves determining the fuzzy relationship that best models the relationship between input-output fuzzy sets based on the observed data. In this work, the application of the max-min composition operation is envisaged in solving the problem of identification of fuzzy systems described in the form of fuzzy relational equations, and an identification algorithm is built based on the rule base. The goal is to more adequately describe the process of solving the problem of identifying fuzzy control systems described in the form of fuzzy

relational equations by applying the max-min composition operation. As a result of an objective assessment of the results of fuzzy control that satisfy the desired goals and conditions, control commands are determined as a set of fuzzy values within their values. Appropriate control rules are selected based on the prediction results in accordance with each control command.

In this work, dynamic processes are analyzed in three forms: deterministic, stochastic, and fuzzy. Based on the methods of constructing and identifying fuzzy models, it is concluded that it is necessary to develop a relatively adapted fuzzy TSK difference model construction and identification methodology for describing dynamic models under uncertainty. The form “Fuzzy TSK – difference” is a model, which consists of a set of production rules with fuzzy sets on the left side and r,s -ordered difference equations on the right side. The article uses a practical inference method based on the system of implicative fuzzy rules and fuzzy inputs. The basis of fuzzy logical inference, which is composed in the form of fuzzy sets using fuzzy operations and a fuzzy knowledge base, is L. Zadeh's composition rules. The sum of differences was calculated according to the max-min composition operation and the minimum value of the J criterion was found. According to the conducted studies, it was found that the minimum criterion value corresponds to the max-min composition operation.

Keywords: *dynamic process, fuzzy TSK difference model, fuzzy logic, max-min composition operation, fuzzy adjustment rules.*

Rəyçi: *f.-r.f.d., dos.Yaqubov Ə.H.*

t.e.n., dos. Rəhimova N.Ə.

Müəlliflər haqqında məlumat

| Soyadı, adı, atasının adı | İş yeri | Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı | Əlaqə |
|----------------------------------|---|--|--|
| Məmmədova Kifayət Aslan qızı | Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti | “Kompüter mühəndisliyi” kafedrası, dosent | ka.mamedova@yandex.ru mob: (+994) 50-488-17-03 |
| Əliyeva Yeganə Novruz qızı | Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti | “Kompüter mühəndisliyi” kafedrasının dosenti | yegane.aliyeva.1969@mail.ru mob: (+994) 51-519-46-77 |

UOT: 65.656

DOI:10.30546/EMNAA.2025.27.01.112

**AZƏRBAYCAN HAVA YOLLARINDA KOD ŞERİNQ MÜQAVİLƏLƏRİ: TƏNZİMLƏMƏ
TƏLƏBLƏRİ VƏ GƏLİRLƏRİN BÖLÜŞDÜRMƏ METODU**

Kərimov B.Ə., Cəbrayilov R.B.
Milli Aviasiya Akademiyası

Kod şerinq müqavilələri aviaşirkətlər arasında strateji əməkdaşlıq modelini təşviq edir və bu əməkdaşlıq müştəri məmnuniyyətini artırmaq, əməliyyat səmərəliliyini yüksəltmək məqsədi daşıyır. Bu müqavilə modeli aviaşirkətlərin bir-birinin uçuşlarını öz brendləri altında təqdim etməsinə imkan verir. Nəticədə sərnişinlər daha geniş marşrut seçimi, daha rahat səyahət imkanı və vaxtlarına qənaət edərək daha effektiv planlama edə bilirlər. Aviasiya sənayesinin inkişafında mühüm rol oynayan bu razılaşmalar sərnişin daşımalarını artırmaqla yanaşı, aviaşirkətlərin resurslarını daha səmərəli şəkildə idarə etməyə də şərait yaradır. Kod şerinq aviasiya tarixində ilk dəfə 1967-ci ildə tətbiq olunmuş və 1989-cu ildən etibarən daha geniş tətbiq sahəsi qazanmışdır. Bu müqavilələr Avropada isə 1993-cü ildən sonra daha da genişlənmişdir. Zamanla bu yanaşma, həm də bazarda aviaşirkətlər üçün rəqabət üstünlüyü yaradaraq daha geniş xidmət şəbəkələri qurmağa imkan vermişdir.

Müasir dövrdə kod şerinq müqavilələri yalnız iqtisadi baxımdan səmərəli deyil, həm də hüquqi tələblərə uyğunluq və təhlükəsizlik məsələlərinə diqqət yetirir. Məlumat təhlükəsizliyi və şifrələmə tələbləri, kiber təhlükəsizlik protokolları, mülkiyyət hüquqlarının dəqiq müəyyən edilməsi və beynəlxalq hüquq normalarına uyğunluq bu müqavilələrin mühüm tərkib hissəsidir. Bu səbəbdən, kod şerinq aviaşirkətlərə yalnız sərnişin daşımaları deyil, həm də hüquqi və texnoloji məsələlərdə birgə əməkdaşlıq etmək imkanı verir. Bu müqavilələrin səmərəliliyini artıran digər amillərə müştəri xidmətlərinin integrasiyası, gəlirin ədalətli bölüşdürülməsi və mübahisələrin həlli mexanizmləri də aiddir. Kod şerinq müqavilələrinin müasir tələbləri aviaşirkətlərin fəaliyyətini daha səmərəli və müasir şəkildə həyata keçirməyə şərait yaradır. Bu da öz növbəsində müştəri məmnuniyyətini artırır, aviaşirkətlərin bazar mövqeyini gücləndirir və sektorun inkişafını sürətləndirir. Aviasiya sektorunda davamlı inkişafı dəstəkləyən bu əməkdaşlıqlar müştərilərə daha keyfiyyətli xidmətlər təqdim etməklə yanaşı, aviaşirkətlərin qlobal bazardakı iştirakını genişləndirir. Bu model daha az xərclə geniş əhatə dairəsi və daha yüksək səmərəlilik təmin etməklə həm sərnişinlərə, həm də aviaşirkətlərə fayda gətirir.

Açar sözlər: aviasiya, aviaşirkət, kod şerinq müqaviləsi, əməkdaşlıq, tənzimləmə tələbləri, gəlir bölgüsü, müştəri məmnuniyyəti.

Kod şerinq müqaviləsi, iki və daha artıq aviaşirkətin bir araya gələrək səmərəli əməkdaşlıq modelini formalaşdırdığı bir mexanizmdir. Bu müqavilə çərçivəsində, tərəflərdən biri “operator” statusuna malikdir və öz adından uçuşları həyata keçirir, eyni zamanda bu reyslərə bilet satışını təşkil edir. Digər aviaşirkətlər isə “marketing” tərəfdaşları rolunu icra edərək, operator aviaşirkətin

reyslərini öz adlarından təqdim edirlər. Bu yanaşma, yalnız bir marşrutda aviareyslərin kommersiya istismarı üçün deyil, həmçinin bazarda rəqabət üstünlüyü yaratmaq məqsədini güdür. Kod şerinq, aviaşirkətlərin resurslarını daha optimal istifadə etməyə və sərnişin daşımalarının əhatə dairəsini genişləndirməyə imkan yaradır [1].

Qeyd etmək istəyirəm ki, 1967-ci il aviasiya tarixində mühüm bir dövr hesab olundu, çünki bu il Richard A. Henson, “Allegheny Airlines” ilə birlikdə koddan birgə istifadəni razılaşırdı. Bu razılaşma, aviaşirkətlərin bir-birinin marşrutlarından və resurslarından daha səmərəli istifadə etməyə başlaması üçün bir növ bünövrə oldu. Beləliklə, Hensonun təşəbbüsü, kod şerinq müqavilələrinin ilk nümunəsi kimi tarixə düşdü və aviasiya sahəsində əməkdaşlığın yeni bir dövrünün başlanğıcı oldu.

Kod şerinq termini 1989-cu ildən etibarən “Qantas” və “American Airlines” tərəfindən geniş şəkildə istifadə edilməyə başlandı. 1990-cı ildən etibarən bu iki aviaşirkət, Avstraliyanın müxtəlif şəhərləri ilə ABŞ-ın daxili şəhərləri arasında ilk kod şerinq müqaviləsi əsasında uçuşlar həyata keçirdi. Bu, aviasiya sənayesində sərnişinlərin daha geniş marşrut seçimi imkanı qazanmasına, eyni zamanda aviaşirkətlərin fəaliyyətini artırmasına səbəb oldu [2].

Avropada kod şerinq müqavilələrinin populyarlığı 1993-cü ildən sonra, Avropa İttifaqının deregulyasiyasından sonra artmağa başladı. Deregulyasiya, aviasiya bazarının daha açıq və rəqabətə davamlı olmasına yol açdı, bu da aviaşirkətlərin bir-biri ilə əməkdaşlığa yönəlməsini təşviq etdi. Avropa bazarında bu cür razılaşmaların yayılması, həm sərnişinlər üçün daha çox uçuş seçimi yaratdı, həm də aviaşirkətlərin öz resurslarını daha səmərəli şəkildə idarə etmələrinə imkan yaratdı.

Bu dövrdən sonra kod şerinq müqavilələri beynəlxalq aviasiya sektorunun ayrılmaz bir hissəsinə çevrildi. Aviaşirkətlər, daha geniş marşrut şəbəkələri və müştəri məmnuniyyətini artırmaq üçün bu strategiyadan istifadə etməyə başladılar.

Müasir dövrdə kod şerinq, sərnişinlərə daha rahat və etibarlı səyahət imkanı təqdim edir, eyni zamanda aviaşirkətlərin maliyyə dayanıqlığını artırır [3].

Kod şerinq müqavilələri, aviaşirkətlər arasında strateji əməkdaşlıq modelidir ki, bu da müştəri məmnuniyyətini artırmaq, əməliyyat səmərəliliyini yüksəltmək və daşımalar bazarında iştirakını genişləndirmək məqsədini güdür. Bu müqavilələr sayəsində aviaşirkətlər, bir-birinin uçuşlarını öz brendi altında təqdim edərək müştərilərə daha geniş və rahat seçim imkanı yaradır. Bununla yanaşı, müasir aviasiya mühitinin dinamikliyi və qlobal tənzimləmələrin sürətlə dəyişməsi, bu müqavilələrə yeni tələblər qoymuşdur. Aşağıdakı bölmələrdə bu tələblərin hər biri ətrafında tərəfimizdən daha ətraflı müzakirələr aparılmış və onların bu sektora təsiri dəyərləndirilmişdir.

1. Məlumatın təhlükəsizliyi və şifrələmə tələbləri. Müasir aviasiya sənayesində məlumat təhlükəsizliyi, müştəri etimadının artırılması üçün ən vacib məsələlərdən biridir. Aviaşirkətlər, müştəri məlumatlarını, uçuş detallarını və digər həssas informasiyaları qorumaq üçün müasir şifrələmə standartlarından istifadə etməlidirlər. Məsələn, “Advanced Encryption Standard” (AES) kimi qabaqcıl şifrələmə metodları, məlumatların təhlükəsizliyini təmin edir. Eyni zamanda, məlumatların şifrələnməsi üçün iki faktorlu autentifikasiya sistemlərinin tətbiqi, müştəri məlumatlarının qorunmasını daha da gücləndirir. Belə yanaşma, müştəri məlumatlarının gizliliyini artıraraq, aviaşirkətlərin müştəri etimadını qazanmasına imkan yaradır.

Aviaşirkətlər, yalnız müştəri məlumatlarını qorumaqla kifayətlənməməlidirlər, eyni zamanda, kiber təhlükəsizlik protokollarını da həyata keçirməlidirlər. Bu, mütəmadi təhlükəsizlik auditləri, kiber hücumlara qarşı mübarizə planları və təhlükəsizlik testləri ilə həyata keçirilir.

Aviaşirkətlərin təhlükəsizlik mütəxəssisləri ilə sıx əməkdaşlığı, sistemin çatışmazlıqlarını aşkar etmək və riskləri minimuma endirmək üçün zəruridir. Bu tədbirlər, aviaşirkətlərin kiber hücumlara qarşı mübarizə qabiliyyətini artıraraq, müştəri etimadını daha da möhkəmləndirir [4].

2. Mülkiyyət hüquqları və istifadə şərtləri. Kod şerinq müqavilələrinin hüquqi çərçivəsi, iştirak edən aviaşirkətlər arasında mülkiyyət hüquqlarının dəqiq müəyyən edilməsini tələb edir. Hər bir tərəf, hansı mülkiyyət hüquqlarına malik olduğunu, brend adlarının, proqram təminatının və xidmətlərin necə istifadə olunacağını açıq şəkildə ifadə etməlidir. Mülkiyyət hüquqlarının pozulması halında hansı hüquqi tədbirlərin görülməyi, müqavilədə ətraflı şəkildə qeyd edilməlidir. Bu yanaşma, tərəflər arasında mübahisələrin yaranma ehtimalını azaltmağa kömək edir və müqavilənin hüquqi qüvvəsini artırır.

Kod şerinq müqavilələrinin tərkib hissəsi olan gəlir bölüşdürmə mexanizmləri, mütləq şəkildə aydınlaşdırılmalıdır. Hər bir aviaşirkət, həyata keçirdiyi uçuşlardan əldə edilən gəlirin necə bölüşdürülməyini dəqiq bilməlidir. Bu, mübahisələrin qarşısını alır və tərəflərin öhdəliklərini daha şəffaf edir. Gəlir bölüşdürmə mexanizmlərinin aydınlaşdırılması üçün müstəqil maliyyə ekspertlərinin cəlb edilməsi, bu prosesin şəffaflığını artırır və tərəflər arasında qarşılıqlı etimadı gücləndirir [5].

3. Beynəlxalq standartlara uyğunluq. Aviasiya sektoru qlobal bir mühitdə fəaliyyət göstərdiyindən, beynəlxalq hüquq normalarına və standartlara uyğunluq mütləqdir. Kod şerinq müqavilələri, Beynəlxalq Mülki Aviasiya Təşkilatı (ICAO) və Beynəlxalq Hava Nəqliyyatı Assosiasiyası (IATA) kimi beynəlxalq orqanların tələblərinə riayət etməlidir. Hər bir aviaşirkət, fəaliyyət göstərdiyi ölkələrin qanunvericilik sistemlərini nəzərə almalı və bu tənzimləmələri tətbiq etməlidir. Bu yanaşma, sektorda hüquqi çətinliklərin yaranma ehtimalını azaldır və müştəri etimadını artırır.

Aviaşirkətlər, beynəlxalq hüquq normalarını başa düşmək və tətbiq etmək üçün hüquqi mütəxəssislərlə sıx əməkdaşlıq etməlidirlər. Bu, onların beynəlxalq bazarlarda daha rəqabət-qabiliyyətli olmasına kömək edir. Müqavilələrin hazırlanmasında və icrasında hüquqi uyğunluğun təmin edilməsi, mübahisələrin yaranma ehtimalını azaldır. Eyni zamanda, hüquqi mütəxəssislərin iştirakı, müqavilələrin icrasının düzgünlüyünü və etibarlılığını artırır [6].

4. Müştəri xidmətlərinin inteqrasiyası. Müştəri məmnuniyyətinin artırılması üçün kod şerinq müqavilələrində müştəri xidmətlərinin inteqrasiyası mühüm tələblərdəndir. Aviaşirkətlər, müştəri xidmətlərini standartlaşdırmalı, bronlaşdırma sistemlərini birləşdirməli və uçuş sonrası xidmətlərin inteqrasiyasını təmin etməlidirlər. Bu yanaşma, müştəri təcrübəsini müsbət yöndə inkişaf etdirir. Məsələn, müştərilərə bütün bronlaşdırma proseslərini bir mərkəzdən idarə etmək imkanı vermək, onların uçuşlarını izləmək və hər hansı bir dəyişiklik barədə məlumatlandırmaq, müştəri məmnuniyyətini artırır və onların aviaşirkətə bağlılığını gücləndirir.

Aviaşirkətlər, birgə səyahət proqramları yaradaraq müştəri loyallığını gücləndirə bilərlər. Bu, müştərilərə müxtəlif aviaşirkətlərin xidmətlərindən eyni anda faydalanmaq imkanı təqdim edir. Müşahidələr göstərir ki, müştərilərə əlavə mükafatlar, endirimlər və eksklüziv xidmətlər təqdim edilməsi, onların aviaşirkətlərə olan bağlılığını artırır. Bu cür proqramlar, müştərilərin aviaşirkət seçimində daha inamlı olmasına səbəb olur [6].

5. Anlaşmazlıqların həlli mexanizmləri. Kod şerinq müqavilələrində mübahisələrin həlli yollarının aydın şəkildə müəyyən edilməsi vacibdir. Aviaşirkətlər, tərəflər arasında mübahisələrin daha səmərəli həlli üçün arbitraj məhkəmə və digər alternativ mübahisə həlli üsullarını tətbiq

etməlidirlər. Bu yanaşma, hüquqi prosedurların uzun müddət davam etməsinin qarşısını alır və razılaşmaların daha sürətli həyata keçirilməsinə imkan verir. Eyni zamanda, bu cür mexanizmlər, tərəflərin arasındakı əlaqələrin pozulmadan davam etməsini təmin edir.

Müqavilələrdə mübahisələrin həlli üçün prosedurların və vaxt çərçivələrinin aydın şəkildə müəyyən edilməsi vacibdir. Bu, tərəflərin hüquqlarını və öhdəliklərini daha yaxşı başa düşmələrinə kömək edir. Mübahisələrin həlli üçün vaxt çərçivələrinin tətbiqi, tərəflərin anlaşmalarını daha səmərəli bir şəkildə həyata keçirməyə imkan yaradır. Eyni zamanda, bu, tərəflər arasında şəffaflığı artıraraq, gələcəkdə baş verə biləcək anlaşmazlıqların qarşısını alır [5].

Kod şerinq müqavilələri, aviaşirkətlər arasında müştəri bazasını genişləndirmək və əməliyyat səmərəliliyini artırmaq məqsədilə həyata keçirilir. Bu müqavilələr çərçivəsində gəlirin düzgün hesablanması, tərəflər arasında ədalətli bir əməkdaşlığın təmin edilməsi üçün vacibdir.

Gəlirin hesablanması üçün müxtəlif düsturlar və prinsiplər mövcuddur [7]. Qeyd edim ki, verilmiş düsturlar ümumi yanaşmalar əsasında analogi olaraq aviasiya sahəsinə uyğunlaşdırılmışdır.

1. Gəlirin hesablanması üçün əsas düsturlar.

A. Ümumi gəlirin hesablanması:

Ümumi gəlir (TG), bütün uçuşlardan əldə edilən gəlirin cəmini ifadə edir. Bu, aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$TG = \sum_{i=1}^n P_i \times Q_i \quad (1)$$

Burada:

- P_i — Hər bir uçuşun bilet qiyməti;
- Q_i — Hər bir uçuşda satılan bilet sayı;
- n — Uçuşların ümumi sayı.

B. Gəlir bölüşdürülməsi:

Kod şerinq müqaviləsində gəlirin bölüşdürülməsi, adətən əvvəlcədən razılaşdırılmış faiz nisbətləri əsasında həyata keçirilir. Gəlir bölüşdürülməsi üçün seçilən faiz nisbətləri, aviaşirkətlərin bazar vəziyyəti, təqdim etdikləri xidmətlər, müqavilənin şərtləri və iqtisadi amillər nəzərə alınaraq müəyyən edilir. Məsələn:

$$G = TG \times R \quad (2)$$

Burada:

- G — Hər bir aviaşirkətə düşən gəlir.
- R — Tərəflər arasında razılaşdırılmış bölüşdürmə nisbəti (məsələn, 0.7 və 0.3).

C. Gəlirin təyinatı:

Gəlirin təyinatı, müştəri xidmətləri, əlavə xidmətlər və digər amilləri əhatə edə bilər. Bu, aşağıdakı düsturla ifadə edilə bilər:

$$G_t = G_{\text{əsas}} + G_{\text{əlavə}} \quad (3)$$

Burada:

- G_t — Təyinat gəliri.
- $G_{\text{əsas}}$ — Əsas uçuşlardan əldə edilən gəlir.
- $G_{\text{əlavə}}$ — Əlavə xidmətlər (məsələn, çanta haqqı, yemək, sığorta və s.) üçün gəlir.

2. Tərəflərin gəlirlərinin hesablanması.

Müqavilə çərçivəsində gəlirin bölüşdürülməsi üçün aşağıdakı addımlar izlənilir:

1. Gəlirin toplanması: Hər iki aviaşirkət, müvafiq uçuşlardan əldə edilən ümumi gəliri hesablayır.
2. Bölüşdürmə faizinin müəyyənləşdirilməsi: Müqavilədə əvvəlcədən razılaşdırılmış faiz nisbətləri əsasında, gəlirin necə bölüşdürülməyi aydın şəkildə müəyyən edilir.
3. Hesablamaların aparılması: Hər bir aviaşirkətə düşən gəlir aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$$\begin{aligned}G_{\text{aviaşirkətA}} &= TG \times R_A \\G_{\text{aviaşirkətB}} &= TG \times R_B\end{aligned}\quad (4)$$

Burada: R_A və R_B - Hər bir aviaşirkətin razılaşdırılmış bölüşdürmə nisbətləri.

3. Gəlir hesablamalarında diqqət edilməsi lazım olan məsələlər.

- Bilet ixtisarlari: Müştəri ixtisarlari və geri qaytarma hallari, gəlir hesablamalarına təsir edə bilər. Bu hallarin dəqiq qeydə alınması vacibdir.
- Valyuta mübadiləsi: Fərqli valyutalarda uçuşlar təqdim edildikdə, mübadilə məzənnələrinin də nəzərə alınması tələb olunur.
- Vergi və rüsumlar: Gəlirin hesablanması, müvafiq vergilərin və rüsumların da nəzərə alınması önəmlidir. Bu, hər bir aviaşirkətin əldə etdiyi real gəliri düzgün hesablamağa kömək edir.

Nümunə:

“AZAL” (Azərbaycan Hava Yolları) və başqa bir aviaşirkət (məsələn, “Lufthansa”) arasında kod şərinq müqaviləsi imzalanıb. Hər iki aviaşirkət, aşağıdakı uçuşları təqdim edir:

Məlumatlar:

- ✓ 1-ci uçuş: AZAL
- ✓ Bilet qiyməti (P_1): 200 AZN
- ✓ Satılan bilet sayı (Q_1): 150
- ✓ 2-ci uçuş: Lufthansa
- ✓ Bilet qiyməti (P_2): 250 AZN
- ✓ Satılan bilet sayı (Q_2): 100

1. Ümumi gəlirin hesablanması:

A. AZAL üçün:

$$TG_{\text{AZAL}} = P_1 \times Q_1 = 200 \text{ AZN} \times 150 = 30\,000 \text{ AZN}$$

B. Lufthansa üçün:

$$TG_{\text{Lufthansa}} = P_2 \times Q_2 = 250 \text{ AZN} \times 100 = 25\,000 \text{ AZN}$$

C. Ümumi Gəlir:

$$TG_{\text{ümumi}} = TG_{\text{AZAL}} + TG_{\text{Lufthansa}} = 30\,000 \text{ AZN} + 25\,000 \text{ AZN} = 55\,000 \text{ AZN}$$

2. Gəlirin bölüşdürülməsi:

Tərəflər arasında gəlirin bölüşdürülməsi üzrə razılaşdırılmış faiz nisbətləri aşağıdakı kimidir:

- AZAL: 70% ($R_1 = 0.7$)
- Lufthansa: 30% ($R_2 = 0.3$)

Hər Aviaşirkətə düşən gəlirin hesablanması:

A. AZAL üçün:

$$TG_{AZAL} = TG_{\text{gümumi}} \times R_1 = 55\,000 \text{ AZN} \times 0.7 = 38\,500 \text{ AZN}$$

B. Lufthansa üçün:

$$TG_{\text{Lufthansa}} = TG_{\text{gümumi}} \times R_2 = 55\,000 \text{ AZN} \times 0.3 = 16\,500 \text{ AZN}$$

Nümunənin nəticəsi:

Beləliklə, kod şerinq müqaviləsi çərçivəsində “AZAL” və “Lufthansa” arasında əldə edilən gəlir aşağıdakı kimi bölünür:

✓ **AZAL: 38 500 AZN**

✓ **Lufthansa: 16 500 AZN**

Nəticə. Kod şerinq müqavilələri, aviaşirkətlər arasında əməkdaşlığı artıraraq müştəri məmnuniyyətini yüksəltməkdə mühüm rol oynayır. Yeni tələblərin qəbul edilməsi, aviaşirkətlərin fəaliyyətini daha müasir və səmərəli şəkildə həyata keçirməyə imkan yaradır. Məlumatın təhlükəsizliyinin artırılması, mülkiyyət hüquqlarının dəqiq müəyyən edilməsi, beynəlxalq standartlara uyğunluq, müştəri xidmətlərinin birgə inteqrasiyası və anlaşmazlıqların səmərəli həlli, aviasiya sektorunun gələcəyində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Eyni zamanda, kod şerinq müqavilələri çərçivəsində gəlirin düzgün hesablanması, aviaşirkətlər arasında ədalətli əməkdaşlığı təmin edir. Müvafiq düsturların tətbiqi və gəlirin bölüşdürülməsi mexanizmlərinin dəqiq müəyyən edilməsi, tərəflərin müvafiq gəlir əldə etməsinə imkan yaradır.

Bu yanaşmalar, uzunmüddətli müştəri məmnuniyyətini artıraraq aviaşirkətlərin bazar iştirakını gücləndirir. Aviasiya sektoru, rəqəmsal transformasiyaya, davamlı inkişaf prinsiplərinə və müştəri mərkəzli yanaşmalara fokuslanaraq kod şerinq müqavilələrinin daha geniş və dərin aspektlərini ələ almalıdır. Nəticədə, bu yanaşmalar sektorun davamlı inkişafına imkan yaradacaq, müştərilərə daha keyfiyyətli xidmətlər təqdim edəcək və aviaşirkətlərin bazar mövqeyini gücləndirəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Cəbrayilov R.B., Kərimov B.Ə. “Azərbaycan Hava Yolları” QSC-də kod şerinq müqavilələrinin aviadaşımalarına təsiri // Heydər Əliyevin anadan olmasının 101-ci ildönümünə həsr olunmuş "Azərbaycanda nəqliyyatın aktual problemləri" XXV elmi-texniki tələbə konfransı, - Bakı: Milli Aviasiya Akademiyası - 7-8 may, - 2024, - s. 146-148.
2. Əliyev, S.İ. Aviaşirkətlərin xarici nümayəndəliklərinin işinin təşkili. /Dərs vəsaiti. – Bakı: Milli Aviasiya Akademiyası, - 2023. - 220 s.
3. Cəbrayilov R.B., Ələkbərova G.C. Aviaşirkət əməkdaşlıqlar çərçivəsində kod şerinq müqavilələri // “Fevral məruzələri 2024: Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı” IX Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı, - Bakı: Milli Aviasiya Akademiyası - 8-10 fevral, - 2024, - s. 255-256.
4. Codeshare agreement between Great Lakes Aviation LTD. and United airlines, INC.: [Electronic resource] / Chicago - September, 2011.
URL: <https://www.sec.gov>
5. Codeshare Agreement between, JetBlue Airways Corporation and American Airlines, Inc: [Electronic resource] / Texas - July, 2020.
URL: <https://contracts.justia.com>

6. Shaw, S. Airline Marketing and Management / S. Shaw – London: Routledge – 2016. – 336 p.
7. Gitman, L. J. Principles of Managerial Finance / L.J.Gitman, C. J. Zutter – Boston: Pearson – 2018. – 928 p.

REFERENCES

1. Cebrayilov R.B., Kerimov B.E. “Azerbayoan Hava Yollary” GSJ-de kod shering mugavilelerinin aviadashymalara tesiri // Heyder Eliyevin anadan olmasynyn 101-ji ildonumune hesr olunmush "Azerbayjanda neqliyyatyn aktual problemleri"XXV elmi-tehniki telebe konfransy, - Baky: Milli Aviasiya Akademiyasy - 7-8 may, - 2024, - s. 146-148.
2. Eliyev, S.İ. Aviashirketlerin khariji numayendeliklerinin ishinin teshkili. /Ders vesaiti. – Baky: Milli Aviasiya Akademiyasy, - 2023. - 220 s.
3. Cebrayilov R.B., Elekberova G.J. Aviashirket emekdashlyglar cherrchivesinde kod shering mugavileleri // “Fevral meruzeleri 2024: Aviakosmik meselelerin hellinde genjlerin yaradyjy potensialy” IX Beynelkhalg elmi-praktiki genjler konfransy, - Baky: Milli Aviasiya Akademiyasy - 8-10 fevral, - 2024, - s. 255-256.
4. Codeshare agreement between Great Lakes Aviation LTD. and United airlines, INC.: [Electronic resource] / Chicago - September, 2011.
URL: <https://www.sec.gov>
5. Codeshare Agreement between, JetBlue Airways Corporation and American Airlines, Inc: [Electronic resource] / Texas - July, 2020.
URL: <https://contracts.justia.com>
6. Shaw, S. Airline Marketing and Management / S. Shaw – London: Routledge – 2016. – 336 p.
7. Gitman, L. J. Principles of Managerial Finance / L.J.Gitman, C. J. Zutter – Boston: Pearson – 2018. – 928 p.

CODE-SHARING AGREEMENTS IN AZERBAIJAN AIRLINES: REGULATORY REQUIREMENTS AND REVENUE DISTRIBUTION METHOD

***Karimov B.A., Jabrailov R.B.
National Aviation Academy***

Code-sharing agreements promote a strategic collaboration model between airlines, aimed at enhancing customer satisfaction and increasing operational efficiency. This agreement model allows airlines to present each other's flights under their own brands. As a result, passengers have access to a wider range of routes, more convenient travel options, and the ability to plan more efficiently while saving time. These agreements, which play a crucial role in the development of the aviation industry, not only increase passenger traffic but also enable airlines to manage their resources more effectively. Code-sharing was first introduced in 1967 in aviation history and gained wider application from 1989 onwards. In Europe, these agreements expanded further after

1993. Over time, this approach has also created a competitive advantage for airlines in the market, allowing them to establish broader service networks. In the modern era, code-sharing agreements are not only economically efficient but also pay attention to legal requirements and security issues. Data security and encryption requirements, cybersecurity protocols, accurate definition of ownership rights, and compliance with international legal standards are crucial components of these agreements. Therefore, code-sharing allows airlines to collaborate not only on passenger transportation but also in legal and technological matters. Other factors that enhance the efficiency of these agreements include customer service integration, fair revenue distribution, and dispute resolution mechanisms. The modern requirements of code-sharing agreements enable airlines to operate more efficiently and in a more contemporary manner. This, in turn, increases customer satisfaction, strengthens airlines' market positions, and accelerates the sector's growth. These collaborations, which support sustainable development in the aviation sector, not only provide higher-quality services to customers but also expand airlines' participation in the global market. This model also offers broader coverage and higher efficiency at lower costs, resulting in benefits for both passengers and airlines.

Code-sharing agreements are a strategic approach that enhances customer satisfaction by allowing airlines to present each other's flights under a unified code. The article discusses the importance of code-sharing agreements in the context of modern aviation, focusing on compliance with information security, property rights, and international standards. It also emphasizes how fair collaboration is ensured through proper revenue calculation and distribution mechanisms. Thus, meeting these requirements strengthens airlines' participation in the transportation market and increases customer trust. The article highlights the necessity of making strategic decisions aligned with modern demands to forecast the future of the aviation sector.

Keywords: Aviation, airline, code-sharing agreement, collaboration, regulatory requirements, revenue distribution, customer satisfaction.

Rəyçilər: *t.e.d., prof. Əhmədov H.M.*
t.f.d., dos. Nəcəfov E.M.

Müəlliflər haqqında məlumat

| Soyadı, adı, atasının adı | İş yeri | Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı | Əlaqə |
|--------------------------------------|-------------------------------|---|---|
| Kərimov Bala Ağa Əsəd oğlu | Milli Aviasiya Akademiyası | “Avianəqliyyat istehsalatı” kafedrasının müəllimi, i.f.d., dosent | bkarimov22@mail.ru mob: (+994) 50 213-37-05 |
| Cəbrayilov Ramin Baldadaş oğlu | Milli Aviasiya Akademiyası | “Nəqliyyatda daşımaların və idarəetmənin təşkili mühəndisliyi”, magistrant | rcabrayilov.30239@naa.edu.a z mob: (+994) 55 247-66-04 |

УДК: 665.7.038

DOI:10.30546/EMNAA.2025.27.01.115

**ВЛИЯНИЕ СОПОЛИМЕРА БУТИЛМЕТАКРИЛАТА И АКРИЛАМИДА НА
УНИВЕРСАЛЬНУЮ СМАЗКУ, ПОЛУЧЕННУЮ НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ
АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ**

¹Аскерова К.Т., ¹Мамедова С.И., ¹Ладохина Н.П., ¹Аббасова Ш.Б.,
¹Гасанова М.А., ²Юзбашева Л.Н.

¹Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики Институт химии
присадок им. академика А. М. Кулиева
²Национальная Академия Авиации

В статье представлены результаты исследований по влиянию сополимеров бутил-метакрилата (БМА) с акриламидом на универсальные смазочные материалы на основе отработанного моторного и индустриального масла. Изучены физико-химические свойства смазочных материалов на основе применяемого индустриального масла И-40А, синтетического масла Турбоникойл-321 и получены определенные результаты. Установлено, что добавление сополимера в смазочный материал улучшает его качественные характеристики. При этом отработанные авиационные моторные масла не используются в качестве отходов, а перерабатываются в наноразмерные смазочные материалы путем взаимодействия с различными загустителями, окисленным хлопковым маслом, канифолью и ацетатом меди при определенной температуре и давлении. Это также имеет большое экологическое значение. В статье отражены свойства и области применения высококачественной смазки, полученной в результате воздействия сополимера акриламида и бутилметакрилата на полученную смазку. Наличие синтетического масла в базовом масле позволяет смазке иметь более широкую область применения. При этом большое значение имеет сохранение ее стабильности в условиях вакуума при высоком давлении и температуре, а также высокая герметичность.

В статью включен график, демонстрирующий высокую температуру каплепадения (ТКП) в пропелленте с добавлением полимера. После взаимодействия смазочного материала, полученного из отработанного полусинтетического авиационного моторного масла, с сополимером акриламида БМА получается смазочный материал, отличающийся от других своим качеством, пластичностью и адгезионными свойствами, что подробно описано в статье. Этот сополимер повышает стойкость смазочных материалов к окислению и улучшает их термическую стабильность.

Ключевые слова: *бутилметакрилат, акриламид, канифоль, сополимеризация, отработанные синтетические масла, ацетат, полимер.*

Введение. Известно, что в настоящее время с каждым днем растет потребность в уплотнительных и смазочных материалах с низкой температурой замерзания и высокой стабильностью для герметизации нефтегазовой арматуры, кранов, вентилях и винтов,

смазывания и защиты бурильных и других трубных резьб, а также для арматуры, работающей под высоким давлением (плоские и пробковые краны и т.п.), и устройств, работающих под вакуумом. С другой стороны, выявление направлений повторного использования отработанных синтетических и полусинтетических масел также весьма актуально и имеет большое экологическое значение.

Минеральные синтетические или полусинтетические масла используются в качестве самой основной и важной дисперсной фазы при приготовлении пластичных смазок. Как показывают литературные данные, хорошие результаты могут быть получены при использовании в качестве дисперсной фазы высоковязких масел [1]. При использовании таких присадок, как фталоцианид меди, фталоцианид кобальта и Keroflux без добавления металлического порошка можно получить высококачественный герметик-смазку для нефтегазовой арматуры. В качестве дисперсной фазы для этих смазок рекомендуется использовать синтетическую смесь масел В-3V или минеральную.

Из литературы следует, что основным компонентом при приготовлении пластичных смазок являются минеральные или синтетические масла. В зависимости от области применения используются различные масла. Влияние природы и количества масел на смазочные свойства систематически не изучалось. Сведений о влиянии отработанных масел (автомобильных, трансформаторных, дизельных и авиационных турбинных, синтетических или полусинтетических) на смазочные материалы нет. Учитывая это, сравнительное исследование влияния отработанных масел на реологические свойства смазочных материалов по сравнению с неочищенными маслами, с одной стороны, позволяет снизить себестоимость смазочных материалов, а с другой стороны, является весьма актуальным с экологической точки зрения

Установлено, что для получения газонерастворимой смазки, используемой в магистральных газопроводах, распределительных сетях и компрессорных станциях, необходимо в качестве базового компонента взять канифольное масло, а в качестве загустителей - розинат кальция, алкилбензолсульфанат и антиоксидант (ионол) [2].

Уплотнительные смазки на основе мочевины обладают повышенной термостойкостью, прочностью на сдвиг и адгезией, сохраняя при этом уплотнительные свойства при низких и высоких температурах [3,4]. Для улучшения низкотемпературных свойств необходимо в смесь углеводородных и эфирных масел добавлять полусинтетическое масло в соотношении 1: 0,1-0,5. Добавка ДФ-11 (0,1-10%) применяется для повышения стойкости к износу, сколам и коррозии. Количество каустической соды должно составлять 5-10%.

Для получения резьбовых смазок, работающих в зоне высоких температур, в качестве базового компонента использовался керосин [5].

Для получения высокотемпературной стойкой смазки авторы в качестве базовых компонентов берут метилсиликон и базовое масло 150BS. Эти масла загущены нанометрическим диоксидом кремния SiO₂ [6]. Полученная смазка имеет высокую температуру каплепадения.

Для получения химически пассивной пластиковой уплотнительной смазки, нерастворимой в масле и, особенно, в сероуглероде, в качестве загустителя использовали 8,3% коллоидного оксида кремния (IV), а в качестве дисперсной фазы – 88% глицерина и 3,3% полиэтиленгликоля [7]. Полученная смазка применяется для защиты движущихся

механизмов от воздействия CS_2 и других агрессивных веществ при температурах от -20° до $+60^\circ$. В другом источнике для получения высокотемпературной стойкой смазки в качестве загустителя используют алюмосиликат, а в качестве дисперсной фазы — полиэфир, нафтеновые углеводороды и т. д. [8].

При изготовлении смазки в качестве базовых компонентов используют синтетический эфир пентаэритрита (синтетическая кислота (C7-C9)), полисилоксан ПЭС-5 и метилфенил-силоксановые жидкости с применением метилаэросила для улучшения стабильности и реологических свойств коллоидной системы [9].

Для получения уплотнительной смазки для арматуры магистральных газопроводов и компрессорных станций в качестве базовых компонентов используют канифольное масло, ионол, кальциевое мыло [10].

Научные исследования показывают, что при использовании в качестве базовых масел индустриального масла И-40А и отработанного авиационного моторного масла (Турбоникойл-321) при производстве универсальных загущающих смазок наблюдается их повышенное ТКП. Это обусловлено кинематической вязкостью авиационного масла ($V_{50}=9,7$ Сст) [11].

Цель данной работы заключается в изучении влияния сополимера акриламида и БМК на полученную универсальную нанокompозитную смазку.

Из литературных источников известно, что для снижения коэффициента трения смазочных материалов, обеспечения их стабильности независимо от температуры и минимизации потерь энергии при трении используются различные полимеры, такие как полиамиды, полиакрилаты, полиэфир, полиизобутилен (ПИБ), полиолефины и сополимеры стирола и бутадиена. [12]

Для повышения износостойкости синтезированной новой смазки, предотвращения ее чрезмерного загустевания при низких температурах и чрезмерного разжижения при высоких температурах были проведены эксперименты с использованием сополимера бутилметакрилата [13,14]. Соплимерная смазка, увеличивает срок службы механических узлов, в которых она используется, обеспечивает работу смазки в более широком диапазоне температур, предотвращает попадание загрязнений в систему и контролирует чистоту. Это также снижает потери энергии и повышает эффективность.

Как видно из таблицы, показатели качества смазки с добавлением бутилметакрилата выше. Влияние количества масла «Турбоникойл 321» в качестве дисперсной фазы на температуру каплепадения смазочного материала показано на рисунке 1, где кривая **a** представляет собой смазку на основе отработанного масла «Турбоникойл 321» с полимерными присадками, кривая **b** - наносмазку без полимера.

Как видно из рисунка, температура каплепадения (ТКП) полученной смазки снижается, когда количество полимерной смазки составляет от 40% до 50%. При увеличении количества отработанного авиационного масла с 40% до 50% ТКП резко возрастает до $200^\circ C$, а при дальнейшем увеличении количества масла ТКП резко снижается и при 60% составляет $160^\circ C$.

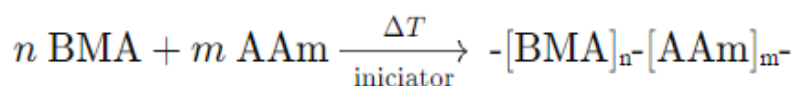
Сравнение свойств смазочного материала, полученного на основе отработанного масла Турбоникойл-321 со смазочным материалом с добавлением полимера

Таблица 1

| № | Показатели | Смазка на основе индустриального масла Литол-24 | Смазка, полученная на основе отработанного масла Турбоникойл-321, (с добавлением бутилметакрилата), вязкость $V_{50}=40-45$ сСт | | | Смазка, полученная на основе отработанного масла Турбоникойл-321, вязкость $V_{50}=40-45$ сСт | | |
|---|-------------------------------|---|---|----------|----------|---|----------|----------|
| | | | Опыт 1 | Опыт 2 | Опыт 3 | Опыт 1 | Опыт 2 | Опыт 3 |
| 1 | Температура каплепадения, °С | 165-170 | 130 | 135 | 135 | 120 | 130 | 125 |
| 2 | Коллоидная стабильность, % | 7 | 5-6 | 5 | 4 | 4-5 | 5 | 3 |
| 3 | Пенетрация, мм | 210-250 | 160-170 | 180-200 | 170-180 | 150-160 | 180-200 | 160-170 |
| 4 | Коррозия, г/м ² | Устойчив | Устойчив | Устойчив | Устойчив | Устойчив | Устойчив | Устойчив |
| 5 | Критическая нагрузка, Рк, кгс | 800 | 800 | 300 | - | 700 | 200 | - |
| 6 | Сварочная нагрузка, Рс, кгс | 1800 | 950 | 1300 | - | 900 | 120 | - |
| 7 | Индекс потребления, Ип | 38 | - | - | - | - | - | - |

Можно сделать вывод, что количество обоих смазочных материалов, используемых в качестве дисперсной фазы, не должно превышать 50%. Причина этого, вероятно, связана с тем, что в зоне за пределами жидкокристаллической решетки преобладает масляная фаза.

При добавлении сополимера бутилметакрилата в новую смазку происходит взаимодействие между синтетическим маслом. [15] Таким образом, происходит этерификация или радикальное взаимодействие с аминогруппой (-NH₂) в синтетическом масле, что увеличивает гидрофобные или гидрофильные свойства сополимера, вязкость синтетического масла и его смазочную способность. Бутилметакрилат (БМА) — винилсодержащий мономер, поэтому он может образовывать сополимеры с различными функциональными группами путем радикальной полимеризации. Как мономер с аминогруппой (-NH₂), он сополимеризуется с акриламидом (ААм, C₃H₅NO) или этиленимином (C₂H₅N). Сополимеризация акриламида и БМА проводится в присутствии радикальных частиц (например, АІВN – 2,2'-Азобисизобутиронитрил) или пероксидов (например, бензоилпероксида) с образованием акриламида (ААм, NH₂-CH=CH-C=O):



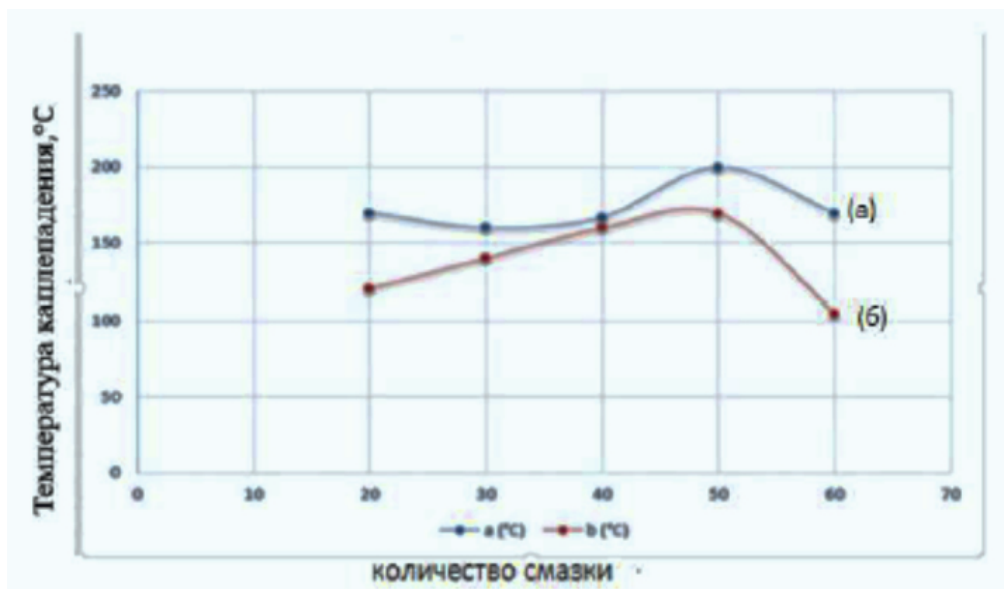


Рисунок 1. Зависимость количества полимерной смазки от ТКП

Электронно-дефицитная двойная связь C=C бутилметакрилата связана с аминогруппой (-NH₂).

Добавление полимера в универсальную смазку изменяет некоторые ее свойства. Например, повышает высокую механическую и химическую стойкость, фрикционные и смазочные свойства, высокую адгезию и эластичность, а также химическую и термическую стойкость.

Синяя кривая (40°C) - увеличение вязкости смазки с повышением концентрации сополимера.

Красная кривая (100°C) - вязкость смазки при более высоких температурах незначительно увеличивается.

Влияние сополимера бутилметакрилата на вязкость универсальной смазки

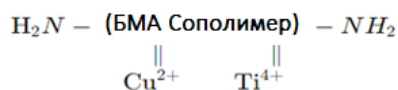
Как видно из рисунка 2 и таблицы 2, с увеличением количества сополимера БМА с NH₂-группой вязкость также увеличивается. Высокая вязкость увеличивает срок службы смазки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что добавление сополимера БМА с группами NH₂ увеличивает вязкость смазочного материала, что улучшает защиту от высоких нагрузок и износа. Поскольку в состав смазки входят наночастицы меди и титана, происходит сополимеризация наночастиц меди (Cu) и титана (Ti) с группами бутилметакрилата (-NH₂):

Бутилметакрилатный сополимер $-NH_2 + Cu^{2+} \rightarrow NH_2 - Cu^{2+}$ координационный комплекс

Бутилметакрилатный сополимер $-NH_2 + Ti^{4+} \rightarrow NH_2 - Ti^{4+}$ координационный комплекс.

Схематично:



Как видно здесь, частицы Cu^{2+} и Ti^{4+} присоединены к полимеру посредством координационных связей с группами NH_2 .

Таблица 2

| Концентрация сополимера (%) | Вязкость η (мПа·с) @ 40°C | Вязкость, η (мПа·с) @ 100° |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 10 | 77 | 13.8 |
| 15 | 85 | 15.5 |
| 17 | 90 | 16.3 |
| 25 | 110 | 20.8 |
| 35 | 140 | 26.5 |
| 42 | 165 | 30.2 |

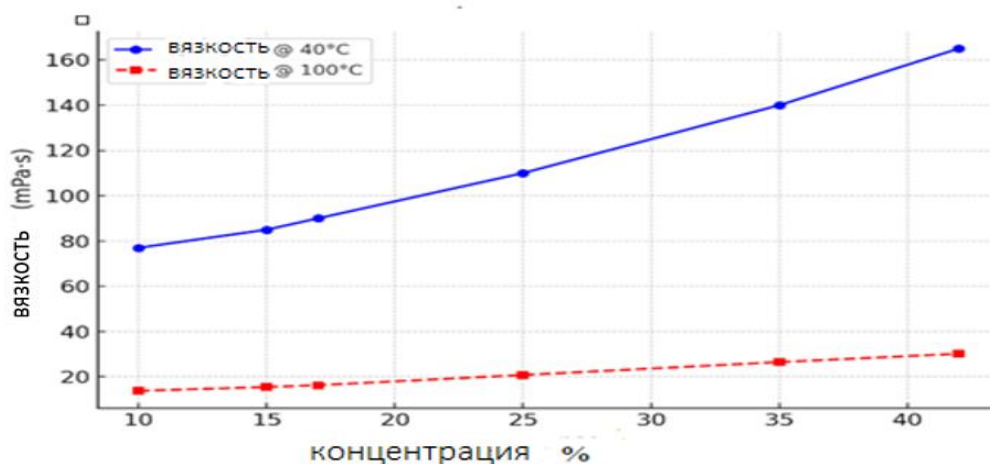


Рисунок 2. График зависимости вязкости смазки от концентрации сополимера

Смазка, полученная из отработанного полусинтетического авиационного моторного масла, по своим качествам, пластичности и адгезионным свойствам превосходит другие промышленные смазки — Арматол-238, Литол-24. Она имеет светло-коричневый цвет, так как Турбоникойл-321, взятый в качестве базового масла, является синтетическим маслом. Проведенные исследования показывают, что универсальная смазка, полученная с использованием отработанного авиационного моторного масла, может найти широкое применение не только в герметизации нефтегазовой арматуры, но и благодаря высоким трибологическим свойствам в наземных механизмах и машинах, а также может быть использована даже в герметизации аэрокосмических приборов.

ВЫВОДЫ

1. Сополлимер бутилметакрилата и акриламида повышает термическую стабильность смазки, увеличивая устойчивость к окислению и термическому разложению;
2. Повышает вязкость, улучшая эксплуатационные характеристики масла в условиях высоких температур и давления;
3. Улучшает антифрикционные свойства смазки, что продлевает срок службы оборудования и снижает потребление энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конесев Г.В., Мирюков Р.А., Вокучев В.А., Иванов Г.Е., Смолин А.Б., Матвеев Ю.Г., Кондрашов Д.В., Солюходов Ю.И., Янгиров Ф.Н., Шерешой В.В., Латынов А.Ф., Соловьев А.Л., Юнусов М.С. // Смазка для шарошечных долот с герметизированными опорами-Заявка 2000107556/04 -(Россия) заявл.27.03.2000 опубл. 10.12.2001; -2003-20-15 П214П
2. Губарев О.С., Любинин И.А., Клюк Б.О., Краснокутский О.Ю., Мнищенко Г.Г., Бутовец В.В., Стахурский О.Д., Македонский О.О., Губарев Р.О., //Уплотнительная смазка-Пат.39797 (Украина-заявл. 20,08,-1998 опубл. 15.06.2001; РЖХим-2002-15-19П220П)
3. Cari-Asoa Mitsurani, Mikani Hidepovi, Karamira Takayuki. Koremeto Takahira.Takemira Kupio «Смазка для уплотнения автомобильных подшипников» - Пат США 6605574-заявл.16.01.2002-опубл. 12.08.2003; РЖ.Хим-2004-12-1911225П
4. Билецкий М.С. «Уплотнительная смазка нарезных соединений обсадных труб» Пат 63516 (Украина) Заявл.25,04,2003. Оpubл.15.01.2004 РЖХим-2004- №17-19 и 211
5. Макеев Н.М., Косаткина Н.Н., Ветошкин В.В. «Резбовая смазка для свинчивания обсадных и бурильных труб» -А.С. 1694608(СССР)-Заявл. 19.05.89 Оpubл. 30.11.91. Б.И. -№ 44; РЖХим.-1992- 19П247П.
6. Qin Xiao-dong, Zianq Xiao-Linq. Получение высокотемпературной консистентной смазки с наночастицами SiO₂//Acta Petrol Sin Petrol proses Sec-2002-18-№ 3, -с 80-85.
7. Shime Kyunq C // Смазывающие герметики-Пат. США 4378297-заявл.10.09.81 опубл.29.03.83; Ржхим-1983-24П329П
8. Prakash Khatri, Matawan, Dry Thermal Grease. NJ (US) United States Patent Khatri. Patent No.: US 6,475,962 B1 (45) Date of Patent: Nov. 5, -2002
9. Губанов В.Н., Егорова Г.В., Тузенко В.И. // Смазки для герметизации резьбовых соединений- Пат.2231540 (Россия)-заявл.17.03.03.-опубл. 27.06.04; РЖХим-2004-2119П197П)
10. Уманская О.И., Ищук Ю.А., Абаджева Р.М., Стеречинский В.Б. «Модификация и стабилизация структуры силикагелевых смазок и химия топлив и масел» - 1990, -№3.- С. 27-28 РЖхим-1992-19П 228П
11. Məmmədov S.Ə., Fətəlizadə F.A., Fərzəliyev M.F., İsmayılova N.C., İsmayılov İ.P., Mehdiyev Y.İ. “Kipləşdirici sürtkünün alınma üsulu” AR İ 20130011, qeyd olunub 18.03.2013
12. J.Doe., A.Smith «Поли(бутилметакрилат) как модификатор вязкости в смазочных

- маслах»- 2018 Journal of Lubricant Technology
13. L. Brown, M. Green., «Синтез и применение сополимеров бутилметакрилата в смазочных материалах»-2020 Lubrication Science
 14. Рудник, Л.Р. Присадки к смазочным материалам. Свойства и применение: пер. с англ. 2-го изд./ Л.Р. Рудник; под ред. А.М. Данилова. – СПб. ЦОП «Профессия», 2013. – 928 с.
 15. Казанцев, О.А. Влияние состава поли(мет)акрилатных загущающих присадок на температуру застывания гидравлических масел / О.А. Казанцев, С.И. Самодурова, А.П. Сивохин, А.А. Мойкин, А.С. Меджибовский // Нефтехимия. – 2014. – Т. 54, -№ 1. – С. 73–78.

REFERENCES

1. Konesev Q.V., Miryukov R.A., Vokuçev V.A., Ivanov Q.E., Smolin A.B., Matveyev Y.Q., Kondraşov D.V., Solyuxodov Y.I., Yanqirov F.N., Şereşoy V.V., Latınov A.F., Solovyev A.L., Yunusov M.S. // Smazka dlya şaroşeçnıx dolot s germetizirovannımi oporamı - Zayavka 2000107556/04 (Rossiya) zayavl. 27.03.2000 opubl. 10.12.2001; -2003-20-15 P214P
2. Qubarev O.S., Lyubinin I.A., Klyuk B.O., Krasnokutskiy O.Y., Mnişenko Q.Q., Butoveç V.V., Staxurskiy O.D., Makedonskiy O.O., Qubarev R.O. // Uplotnitelnaya smazka – Pat. 39797 (Ukrayina – zayavl. 20.08.1998 opubl. 15.06.2001; RJXim-2002-15-19P220P)
3. Cari-Asoa Mitsurani, Mikani Hidepovi, Karamira Takayuki. Koremeto Takahira.Takemira Kunio «Smazka dlya uplotneniya avtomobilnıx podşibnikov» - Pat SŞA 6605574-zayav.16.01.2002-opub. 12.08.2003; RJ.Xim-2004-12-1911225P
4. Bileçkiy M.S. «Uplotnitelnaya smazka narezniş soyedineniy obsadnıx trub» Pat. 63516 (Ukrayina) Zayavl. 25.04.2003. Opubl. 15.01.2004 RJ.Xim. -2004 №17-19 i 211
5. Makeyev N.M., Kosatkina N.N., Vetoşkin V.V. «Rezbovaya smazka dlya svinçivaniya obsadnıx i burilnıx trub» - A.S. 1694608 (SSSR) - zayavl. 19.05.89 Opubl. 30.11.91. B.I. № 44; RJ.Xim.-1992-19P247P.
6. Qin Xiao-donq, Zianq Xiao-Linq. //Poluçeniye vıskotemperaturnoy konsistentnoy smazki c nanoçastiçami SiO₂//Acta Petrol Sin Petrol proses Sec-2002-18-№ 3, c 80-85.
7. Shime Kyunq C.// Smazıvayuşıye qermetiki –Pat. SŞA 4378297-zayavl. 10.09.81 opubl. 29.03.83; RJ.Xim.-1983-24P329P
8. Prakaş Khatri, Matawan, Dry Thermal Grease. NJ (US) United States Patent Khatri. Patent No.: US 6,475,962 B1 (45) Date of Patent: Nov. 5, -2002
9. Qubanov V.N., Yeçorova Q.V., Tuzehko V.İ. //Smazki dlya qermetizaçii rezbovıx soyedineniy- Pat.2231540 (Rossiya)-zayavl.17.03.03.-opubl. 27.06.04; RJ.Xim.-2004-2119P197P)
10. Umanskaya O.I., İşyuk Y.A., Abadjeva R.M., Stereçinskiy V.B. «Modifikatsiya i stabilizaçiya strukturu silikagelovıx smazok i ximiya topliv i masel» - 1990, -№3. -S. 27-28 RJ.Xim.-1992-19P 228P.
11. Məmmədov S.Ə., Fətəlizadə F.A., Fərzəliyev M.F., İsmayılova N.C., İsmayılov İ.P., Mehdiyev Y.İ. “Kipləşdirici sürtkünün alınma üsulu” AR İ 20130011, qeyd olunub 18.03.2013
12. J.Doe., A.Smith «Poli(butilmetakrilat) kak modifikator vıazkosti v smazoçnıx maslax » - 2018 Jurnal of Lubricant Technology

13. L.Brown, M. Green., «Синтез и применение сополимеров бутилметакрилата в смазочных материалах»-2020 Lubrication Science
14. Rudnik, L.R. Prasadki k smazoçnim materialam. Svoystva i primeneniye: per. s angl. 2-ço izd. / L.R. Rudnik; pod red. A.M. Danilova. – SPb.: ÇOP «Professiya», -2013. – 928 s.
15. Kazañçev, O.A. Vliyaniye sostava poli(met)akrilatnıx zaguşyayuşıx prisadok na temperaturu zastıyaniya qıdravlıçeskıx masel / O.A. Kazañçev, S.I. Samodurova, A.P. Sivoxin, A.A. Moykin, A.S. Medjibovskiy // -Nefteşimiya. – 2014. – T. 54, -№ 1. – S. 73–78.

**İŞLƏNMİŞ TƏYYARƏ MÜHƏRRİK YAĞLARINDAN SİNTEZ EDİLMİŞ
UNİVERSAL SÜRÜKÜ YAĞINA BUTİL METAKRİLLATIN AKRİLAMİD
İLƏ SOPOLİMERİNİN TƏSİRİ**

¹Əsgərova K.T., ¹Məmmədova S.İ., ¹Ladoxina N.P., ¹Abbasova Ş.B.,
¹Həsənova M.A., ²Yüzbaşova L.N.

¹Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akad. A. M. Kuliyev adına
Aşqarlar Kimyası İnstitutu, ²Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə butil metakrilatın akrilamid ilə sopolimerlərinin işlənmiş mühərrik yağı və sənaye yağı əsasında alınmış universal sürüküyə təsirinin tədqiqatlarının nəticələri təqdim olunur. İstifadə olunan sənaye yağı – İ-40A, sintetik yağ- Turbonikoil- 321 əsasında alınan sürükülərin fiziki kimyəvi xassələri tədqiq edilmiş və müəyyən nəticələr əldə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, sopolimerin sürüküyə əlavə edilməsi onun keyfiyyət göstəricilərini yüksəldir. Eyni zamanda işlənmiş təyyarə mühərrik yağları tullantı olaraq deyil, yenidən müxtəlif qatılaşdırıcılar, oksidləşmiş pambıq yağı, kanifol, mis asetatla müəyyən temperatur və təzyiqdə qarşılıqlı təsirdə olaraq nano tərkibli sürükü alınır. Bu da ekoloji cəhətdən mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Alınmış sürüküyə butil metakrilatın akrilamid sopolimerinin təsiri nəticəsində alınan yüksək keyfiyyət göstəricilərinə malik sürükünün xassələri və tətbiq sahələri məqalədə öz əksini tapmışdır. Baza yağın tərkibində sintetik yağın olması sürükünün daha geniş tətbiq sahəsinə malik olmasına zəmin yaradır. Belə ki, vakuum şəraitində, yüksək təzyiq və temperaturda sabitliyini qoruyub saxlaması, hermetiklik qabiliyyətinin yüksək olması mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Polimer qatılmış sürükünün DDT-nun yüksək olmasını göstərən qrafik məqalədə öz əksini tapmışdır. İşlənmiş yarı sintetik təyyarə mühərrik yağı ilə alınmış sürükü BMA-ın akrilamid sopolimeri ilə qarşılıqlı təsirdə olduqdan sonra öz keyfiyyətinə, plastikliyinə və adgeziya xassələrinə görə digər sənaye sürükülərindən fərqlənən sürükü alınır və bu barədə məqalədə geniş məlumat verilmişdir. Bu sopolimer, sürükülərin oksidləşməyə qarşı müqavimətini gücləndirir və onların termal sabilliyini yaxşılaşdırır.

Açar sözlər: butilmetakrilat, akrilamid, kanifol, sopolimerləşmə, tullantı sintetik yağlar, polimer.

THE EFFECT OF BUTYL METHACRYLATE AND ACRYLAMIDE COPOLYMER ON A UNIVERSAL-PURPOSE LUBRICANT BASED ON USED AVIATION OILS

¹Askerova K.T., ¹Mamedova S.I., ¹Ladokhina N.P., ¹Abasova Sh.B.,
¹Gasanova M.A., ²Yuzbasheva L.N.

¹Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Chemistry of Additives named after Academician A.M. Kuliyeв, ²National Aviation Academy

The article presents the results of studies on the effect of butyl methacrylate-acrylamide copolymers on universal lubricants based on waste motor and industrial oil. The physicochemical properties of lubricants based on the used industrial oil I-40A, synthetic oil Turbonicoil-321 were studied and certain results were obtained. It was found that adding the copolymer to the lubricant improves its quality characteristics. At the same time, waste aviation motor oils are not used as waste, but are processed into nanosized lubricants by interacting with various thickeners, oxidized cottonseed oil, rosin and copper acetate at a certain temperature and pressure. This is also of great environmental importance. The article reflects the properties and areas of application of high-quality grease obtained as a result of the effect of acrylamide-butyl methacrylate copolymer on the resulting grease. The presence of synthetic oil in the base oil allows the grease to have a wider range of applications. In this case, maintaining its stability under vacuum, high pressure and temperature conditions, as well as high hermeticity, is of great importance.

The article includes a graph demonstrating the high content of DDT in a propellant with the addition of a polymer. After the interaction of a lubricant obtained from waste semi-synthetic aviation motor oil with a copolymer of acrylamide BMA, a lubricant is obtained that differs from other industrial lubricants in its quality, plasticity and adhesive properties, which is described in detail in the article. This copolymer increases the resistance of lubricants to oxidation and improves their thermal stability.

Keywords: butyl methacrylate, acrylamide, rosin, copolymerization, waste synthetic oils, acetate, polymer.

Рецензенты: д.х.н., проф. Мамедова П. Ш.
к.т.н., доц. Омарова Г. Дж.

Сведения об авторах

| Фамилия, имя, отчество | Место работы | Ученая степень, ученое звание, должность | Контакты |
|---------------------------|---|---|--|
| Аскерова Кямаля Таги кызы | Институт Химии Присадок имени акад. А.М. Кулиева, лаборатория «Тонкого органического синтеза» | Научный сотрудник лаборатории «Тонкого органического синтеза» | kamalaasgarova@yandex.com моб: (+994) 77-420-07-89 |

| | | | |
|--|--|---|--|
| Мамедова Севгили Исмайыл кызы | Институт Химии Присадок имени акад. А.М. Кулиева, лаборатория «Тонкого органического синтеза» | Доктор философии по химии, заведующий лабораторией «Тонкого органического синтеза» | alximikseva@mail.ru моб: (+994)_55-388-98-55 |
| Ладохина Нина Петровна | Институт Химии Присадок имени акад. А.М. Кулиева, лаборатория «Тонкого органического синтеза» | Доктор философии по химии, доцент, ведущий научный сотрудник | ninalad70@gmail.com моб: (+994)_70-266-33-70 |
| Аббасова Шафаг Бахрам кызы | Институт Химии Присадок имени акад. А.М. Кулиева, лаборатория «Тонкого органического синтеза» | Научный сотрудник лаборатории «Тонкого органического синтеза» | abbasovhakim@gmail.com моб: (+994) 51-516-88-44 |
| Гасанова Махира Абузар кызы | Институт Химии Присадок имени акад. А.М. Кулиева, лаборатория «Тонкого органического синтеза» | Инженер по химии лаборатории «Тонкого органического синтеза» | kamalaasgarova@yandex.com моб: (+994) 50-775-71-95 |
| Юзбашева Лала Назим кызы | Национальная Академия Авиации Научно- исследовательский институт | Старший научный сотрудник отдела «физики полупроводниковых преобразователей и техники», к.н.х. | lala_analitik@mail.ru ; lala.analitik65@gmail.com моб: (+994) 50-775-71-95 |

UOT:629.73.07

DOI:10.30546/EMNAA.2025.27.01.126

**FROM COPPER TO FIBER: THE EVOLUTION OF AVIONICS SYSTEMS
IN AIRCRAFT THROUGH FIBER OPTIC INNOVATION**

Ismailov I.M, Garayev R.N.
National Aviation Academy

In recent years, the complexity of modern aircraft and the need for reliable and fast data transmission systems have driven the aviation industry to seek advanced communications technologies. In this regard, fiber optics are particularly well suited to the stringent requirements of aviation due to their numerous advantages, including lighter weight, immunity to electromagnetic interference, high data throughput, and increased durability in harsh weather conditions. Fiber optic systems offer significant gains in data capacity, electromagnetic interference immunity, and weight reduction. These elements support vital functions including avionics, in-flight entertainment, and sophisticated monitoring systems, making aircraft operations safer and more efficient. A detailed comparison with conventional copper systems demonstrates how fiber optics may enhance airplane performance and save operational costs by lowering fuel consumption and prolonging system life. Although fiber optic systems offer many advantages, there are disadvantages and challenges that hinder their widespread use. High initial costs, complex maintenance, and the need for specialized training for installation and repair are some of the challenges. In addition, fiber optic components have durability issues due to aviation-specific environmental factors such as temperature extremes and vibrations. Based on the above, this paper reviews the development of aviation communication systems and the current state of fiber optic applications in these systems to examine the integration of fiber optic communication systems in aircraft, substantiating the advantages of fiber optics over traditional copper systems in terms of efficiency, performance, and reliability, laying the foundation for the idea of replacing copper systems to support next-generation aircraft avionics. The paper also highlights the importance and future opportunities of fiber optics in aviation and summarizes key ideas in this area.

Keywords: *Fiber Optic Information System, ARINC 429, ARINC 629, Avionics, FCS - Flight Control System, FBW - Flight Control System.*

Introduction. In today's aircraft, communications and data transmission play a critical role in operational efficiency, safety, and passenger comfort. Fiber optic communication systems have emerged as a key technology to meet the growing demand for high-speed, high-bandwidth data transmission. These systems use light to transmit data, offering a number of advantages over traditional electrical cables, including greater bandwidth, higher data rates, and improved signal integrity over long distances. In aircraft systems, fiber optic networks are increasingly being used to connect a variety of onboard communications systems, from avionics and flight management to in-flight entertainment and cabin management. Fiber optics can support the transmission of large amounts of data at high speeds, which is important for systems such as radar, GPS, and electronic

flight displays (EFDs), all of which require real-time data exchange for optimal performance. There are significantly more advantages to optical communications than data capacity. Fiber optics are immune to electromagnetic interference (EMI) and radio frequency interference (RFI), which is especially important in the electrically noisy environment of an aircraft. In addition, fiber optic cables are lightweight and compact, which offers significant weight savings, a key consideration in aircraft design where every kilogram counts. As the aviation industry moves toward increasingly complex, data-intensive systems, the transformative function of fiber optic communication systems will continue to play a key role in the development of aviation communications and networking technologies in improving the efficiency, reliability and safety of aircraft systems.

Purpose of the work

In order to improve the efficiency of information exchange and the quality of information transmission in modern avionics systems, it is possible to use a fiber-optic system that has certain advantages over the information exchange systems currently used on aircraft, and the study of the possibility of transmitting laser converters/transmitters in a fiber-optic system and their reliability in aviation systems raises the question of determining their reliability. As a result, questions are proposed to determine the efficiency of installing such systems on aircraft and study their impact on flight safety.

ARINC 429 Protocol

ARINC 429 was also known as the Digital Data Transfer System (DITS). It was first introduced in 1977 and has since become the most widely used ARINC standard in the aviation industry. Although ARINC 429 acted as a data transmission medium, it did not comply with data bus standards. This is because a typical data bus allows for multi-directional data transfer between multiple points over wires. However, ARINC 429 only allowed for one-way data flow between points. Up to 20 terminals can be accommodated on an ARINC 429 communication bus, and the speed of information exchange between terminals can be up to 12.5 or 100 kbps. In addition, the ARINC 429 protocol could not be integrated into the IMA (Integrated Modular Avionics) system, which made it very difficult to use this system in modern aircraft. The data bus is still preferred in the aviation industry due to lower maintenance and operating costs. Figure 1 shows the schematic diagram of the ARINC 429 bus [1].

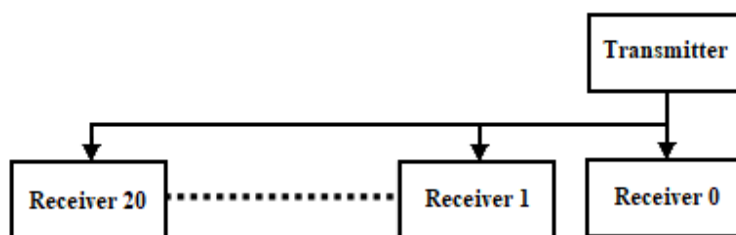


Figure 1. ARINC 429 bus structure

Although the ARINC 429 protocol is still used in modern aircraft, the astronomical development of modern avionics systems, as well as the growth in speed and terminal requirements, made it clear that this system could not meet the new standards. A new replacement bus was already needed. ARINC 629 played an important role in solving most of the problems of modern aviation. The following subheading examines in detail the technical characteristics and structure of the ARINC 629 protocol, as well as its application in modern aircraft.

ARINC 629 Protocol

ARINC 629 was first introduced in 1995. It is currently used in aircraft such as the Airbus A330,350 and Boeing 777, 787, 747-8. The ARINC 629 digital information interchange system was introduced on the B777, Boeing's first electronically controlled aircraft. This was made possible by nearly two decades of effort by Boeing and its suppliers. ARINC 629 is a faster, half-duplex format used in the Boeing 777, which can connect up to 120 terminals (the Boeing 777 uses only 46). Increasing demands for data exchange between aircraft systems have led to the need to develop high speed, highly reliable data buses. The development costs of such systems are high, and their reuse in new aircraft designs is highly desirable. The advances in the development, integration and certification of the ARINC 629 bus have clearly demonstrated that it is capable of supporting applications beyond the 777. Unlike ARINC 429, ARINC 629 is considered a complete data bus because it operates in multi-terminal and multi-directional modes. This means that each terminal can transmit data to and receive data from all other terminals connected to the data bus. In addition, no physical connection is required to transmit information (Figure 2). This allows for greater freedom in the transfer of data between aircraft systems [2].

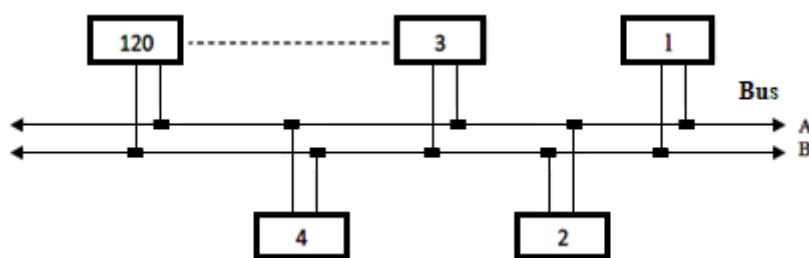


Figure 2. ARINC 629 bus structure

It also has a high data rate of 2 Mbps. At present, despite its widespread use in aviation, it requires high maintenance costs. Also, the communication bus of most systems must be converted from the ARINC 429 protocol to the ARINC 629 protocol when operating devices installed on aircraft. This, in turn, makes it difficult for manufacturers to integrate new systems into aircraft, and also creates the need to install additional devices. Despite all this, the ARINC 629 system is widely used in modern avionics systems. In addition, since this system can be integrated into the proposed FOIMS (Fiber-optic information management system), it can be used for a longer period with minor changes in future designs. However, the rapid development of aviation systems indicates that soon.

Fiber Optic Systems: Basics and Features

Long flexible glass or plastic strands called fiber optics are used to transmit light signals. The main characteristic of fiber optic cables is their ability to transmit light over long distances with low loss, making them ideal for applications that require fast data transfer. In the context of aircraft control systems, fiber optic cables offer the following benefits:

1. **Reduced Weight.** Conventional aircraft wiring is bulky and heavy, significantly increasing the weight of the airframe. In contrast, fiber optic cables are significantly lighter, helping to reduce the overall weight of the aircraft and improve performance and fuel efficiency.

2. **Immunity to EMI.** Conventional electrical systems are susceptible to EMI, which can interfere with control and communication signals, causing malfunctions or failures. Fiber optics are extremely reliable in areas with strong electromagnetic fields, including near radar or other

communications systems, because they transmit light rather than electrical signals, making them immune to EMI.

3. Increased data rates. Over long distances, fiber optic connections can transmit data at extremely high speeds without signal degradation. This capability is critical for modern aircraft, whose safe operation depends on the rapid and efficient transmission of real-time data from control systems.

4. Increased safety and reliability. Compared to conventional hydraulic and electrical systems, fiber optic systems are less susceptible to mechanical wear because they have fewer moving parts. This reduces the likelihood of failure in critical control systems and improves their long-term reliability.

5. High bandwidth. With its extremely high bandwidth, fiber optics can transmit multiple signals simultaneously. This is critical for modern aircraft, since complex flights often require multiple control systems to interact [3].

Fiber Optic Systems Used in Aircraft Primary Control Systems

Fly-by-light is a new concept that uses fiber optic communication networks instead of traditional fly-by-wire (FBW) systems. Control signals are transmitted electrically between the aircraft's flight control surfaces and the cockpit in a standard fly-by-light system. Using fiber optic cables instead of electrical lines offers a number of advantages to fly-by-light systems. Fiber optics provide a faster and more reliable communication route, and its resistance to EMI makes it particularly well suited for use in complex aircraft where electrical interference is common.

There is some interest in considering the integration of fly-by-light technology into future military and commercial aircraft. In addition to reducing the likelihood of signal degradation, these technologies allow more precise control of the flight surfaces, improving stability and maneuverability. Ailerons, elevators, and rudder are some of the primary flight control systems that govern the basic operations of an aircraft. Adding fiber optic cables to these systems enables faster and more accurate control signal transmission, ensuring that the aircraft responds to pilot inputs more quickly and reliably. By eliminating traditional hydraulic lines and electrical connections, these systems are generally lighter and more reliable. To ensure safety in the event of component failure, aircraft primary control systems must operate with a high level of redundancy. In this regard, fiber optic systems provide a clear advantage. Redundancy can be incorporated into fiber optic networks so that control signals can be rerouted along alternative routes in the event of a failure. This improves the overall safety of the aircraft and increases fault tolerance. In addition, fiber optics can be used to enhance the diagnostic and monitoring capabilities of primary control systems. Fiber optic connections allow for continuous monitoring of the functionality and health of control systems due to the high data rate. This reduces the likelihood of mechanical failures and improves aircraft maintenance by enabling real-time diagnostics and early detection of potential problems. For aircraft control systems, the transition to autonomous flight systems brings both new opportunities and challenges. Autonomous flight is made possible by fiber optic technology, which offers high data rates and immunity to interference. For example, autonomous aircraft require real-time transmission of control signals from sensors, actuators, and flight control computers. Fiber optics offer a reliable way to meet these communication requirements. The pilots' analog commands are converted into digital signals using a fiber optic signal generator. This signal is subsequently converted into a light signal using a fiber optic signal converter before being

transmitted to the control computer. The

received light signals are decoded and then transmitted to the appropriate control surfaces. Here, the control actuator also converts the received impulses into motion. The subsystem immediately notifies the main control computer that there are no problems with the commands when they are executed. Figure 3 shows the block diagram of the information exchange system and the structure of the modular avionics system using the proposed fiber optic data transmission. Figure 4 shows the block diagram of the fiber optic cable control [3, 5, 6].

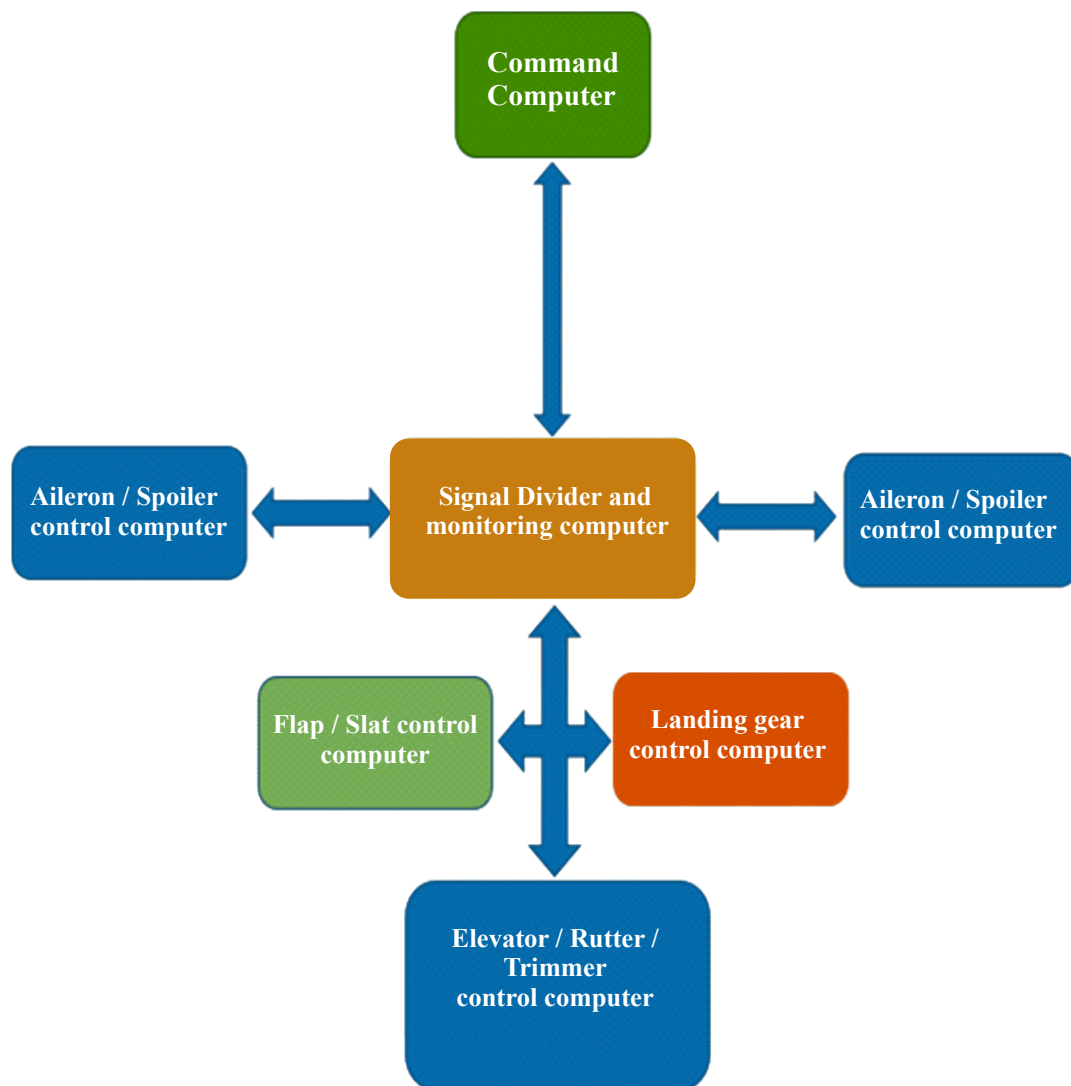


Figure 3. Structure of fiber-optic information exchange system



Figure 4. Fiber Optic Cable Control Block Diagram:
1 - FOSG (Fiber Optic Signal Generator). 2 - Signal Divider/Controller. 3 - Fiber-optic Bus

Mathematical model of a laser-type optical source

Figure 5 shows the structural diagram of the proposed optical transmission system.

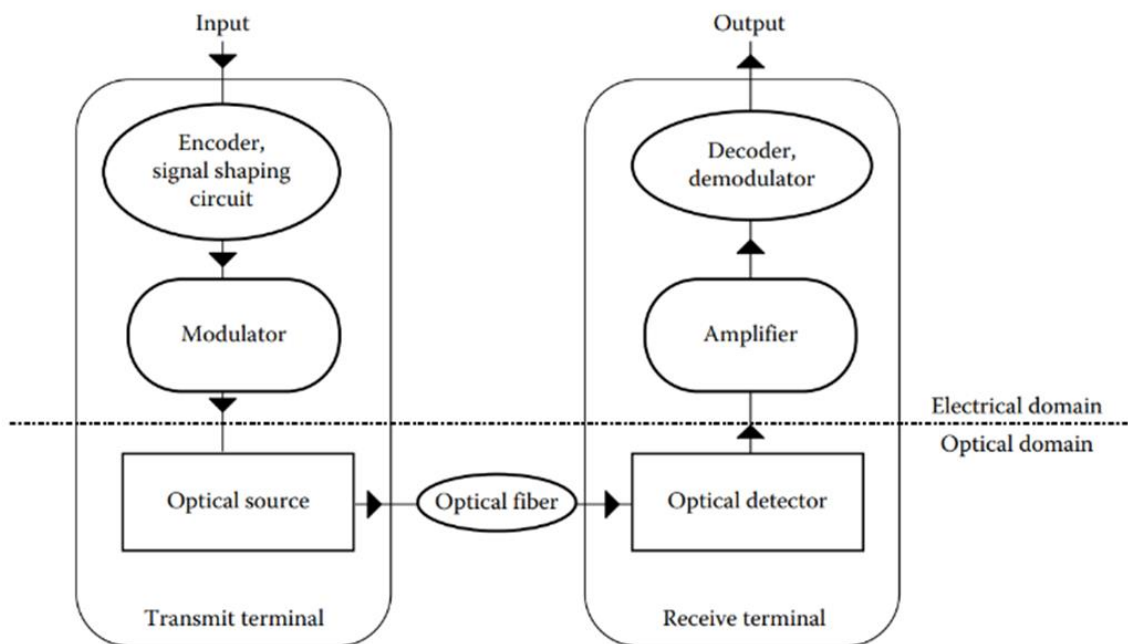


Figure 5. Block diagram of the optical transmitter

Figure 6 depicts the pulse rise and fall characteristics of a laser diode based on laser current intensity. The x-axis denotes time, and the y-axis represents laser current. The graph shows the movement of current from a minimal value I_{low} to a maximum value I_{on} then a decay back to the lower level.

- Rise Time (t_r): The duration it takes for the laser current to increase from a low to a high state. This is crucial for determining the laser's response speed and efficiency.
- Steady-State: A period where the current remains stable at its peak intensity I_{on} ensuring continuous laser output.
- Fall Time (t_f): The time taken for the current to drop back to its lower value, marking the end of the pulse.

Such graphs are essential in laser modulation and pulsed laser applications, helping to understand the dynamic response of laser diodes in optical communication, material processing, and medical applications.

Here the input signals are coded by the encoder and then transmitted through the modulator to the laser circuit. The optical circuit consists of a semiconductor laser.

$$I(t) = I_{bias} + \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k I_p(t - kT)$$

Here:

$I(t)$ is a digital pulse signal

A_k is the sequence of input data

$I_p(t)$ is the transmitted image of the current pulse.

T is the period for one bit

I_{bias} is the current used for the laser

The shape of the pulse current is determined by the following formula:

$$I_p(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ I_m \left[1 - \exp\left(-t^2/\tau_r^2\right) \right] & 0 \leq t \leq T \\ I_m \left[1 - \exp\left(-T^2/\tau_r^2\right) \right] \cdot \exp\left(-t^2/\tau_r^2\right) & t > T \end{cases}$$

Here:

I_m - is the peak modulation current

τ_r - determines the rise or fall time of the pulse.

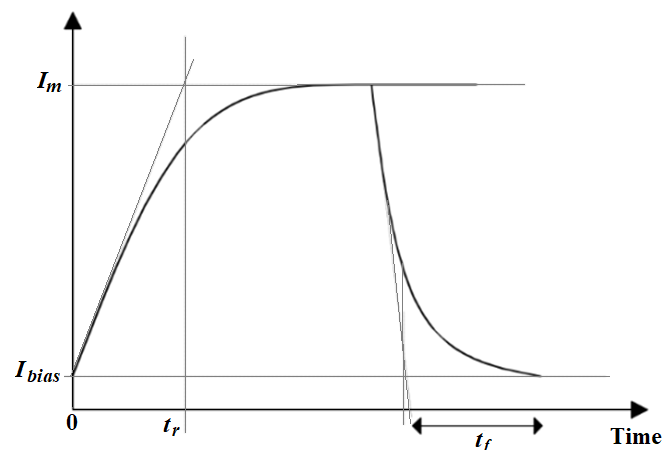


Figure 6. Graph of pulse rise and fall depending on laser current intensity

Three velocity equations for a single-mode laser transmitter are given. These velocity equations can be used to computer simulate the frequency response and waveform of the output power.

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{I(t)}{qV_a} - \frac{N(t)}{\tau_n} - v_0 a_0 \frac{N(t) - N_0}{1 + \varepsilon_c S(t)} S(t)$$

$$\frac{dS(t)}{dt} = \left(\Gamma a_0 v_g \frac{N(t) - N_0}{1 + \varepsilon_c S(t)} - \frac{1}{\tau_p} \right) S(t) + \frac{\beta \Gamma N(t)}{\tau_n}$$

$$\frac{d\phi_m(t)}{dt} = \frac{\alpha}{2} \left(\Gamma v_g a_0 (N(t) - N_0) - \frac{1}{\tau_p} \right)$$

The parameters of this velocity equation are:

1. Γ — optical limitation coefficient.
2. v_g — velocity of the directed light wave.
3. a_0 — gain factor coefficient.
4. N_0 — carrier transparency density.
5. ε_c constant gain increment
6. τ_p — photographic lifetime.
7. β — spontaneous emission fraction.
8. τ_n — electron carrier lifetime.
9. q -electron charge.
10. V_a — active layer volume.
11. α — optical linewidth increasing factor.
12. ϕ_m — optical phase.

In the first equation, the electron density $N(t)$ increases with increasing current $I(t)$. The volume of the active layer decreases due to spontaneous emission of photon densities V_a and $S(t)$. Similarly, in the second equation, the photon density $S(t)$ and spontaneous emission increase with increasing $S(t)$ while the photon lifetime τ_p decreases due to internal and specular losses.

$$\tau_p = \frac{1}{v_g (\alpha_i + \alpha_m)}$$

Here:

α_i and α_m denote the waveguide loss coefficient and the mirror loss coefficient, respectively. The carrier lifetime, τ_n , is also related to the loss of electrons due to spontaneous emission. Nonradiative recombination is shown in the following equation.

$$\tau_n = \frac{N(t)}{R_{sp} + R_{nr}}$$

Here:

R_{sp} - means the spontaneous emission rate.
 R_{nr} - means nonradiative recombination.

The change in the output optical power over time is determined by the following equation:

$$m(t) = \frac{S(t)V_a\eta_0 h\nu}{2\Gamma\tau_p}$$

Here:

$h\nu$ - means the photon energy

η_0 - means the total differential quantum efficiency [4].

Conclusion

An important development in the aviation sector is the incorporation of fiber optic technology into aircraft control systems. High data transmission speeds, more capacity, and immunity to electromagnetic interference are few advantages of fiber optics, all of which are essential for the intricate and safety-critical control systems of modern airplanes. Furthermore, fiber optic cables' small size and low weight contribute to an overall decrease in aircraft weight, which enhances performance and fuel economy. Fiber optics has emerged as a game-changing solution to the increasing needs for more effective, dependable, and secure communication within aircraft, improving modern aviation's functioning and safety. Fiber optics will surely become much more important in determining the direction of aviation control systems as technology develops.

REFERENCES

1. [ARINC-429 Tutorial and Reference - Aerospace DAQ, Test, HIL - UEI \(ueidaq.com\)](#). ARINC 429 protocol tutorial
2. [ARINC 629 Digital Data Bus Specifications \[2023\] \(logic-fruit.com\)](#). ARINC 629 protocol tutorial
3. https://www.researchgate.net/figure/5-Attenuation-of-an-optical-fiber-as-a-function-of-the-wavelength_fig3_291147735/download
4. <https://math.mit.edu/~stevenj/18.369/spring16/Laser-Math@NEU.pdf>
5. İ.M.İsmayilov, R.N.Qarayev. Methods and ways for improving exchange of information in the flight control system. Informatics and Control Problems 43 Issue 1 (2023) jurnal homepage:www.icp.az/
6. İ.M.İsmayilov, R.N.Qarayev. Technical and technological solutions for improving the information exchange system of aircraft. 2nd International Conference on Problems of Logistics? Management and Operation in East-West Transport Corridor (PLMO 2023) DOI:10.54381/plmo2023.23

MİSDƏN FİBERƏ: FİBER OPTİK İNNOVASİYALAR VASİTƏSİLƏ TƏYYARƏLƏRDƏ AVİONİKA SİSTEMLƏRİNİN TƏKAMÜLÜ

İsmayilov İ.M, Qarayev R.N.
Milli Aviasiya Akademiyası

Son illərdə müasir təyyarələrin mürəkkəbliyi və verilənlərin ötürülməsinin etibarlı, həmçinin cəld sistemlərinə olan ehtiyac səbəbindən aviasiya sənayesi qabaqcıl kommunikasiya texnologiyalarının tətbiq olunmasını tələb edir. Bu baxımdan, optik liflər özünün çoxsaylı üstünlükləri, o cümlədən daha az çəki, elektromaqnit müdaxiləsinə qarşı toxunulmazlıq, məlumatın ötürülməsinin yüksək buraxma qabiliyyəti və sərt hava şəraitində artan davamlılıq kimi bir çox üstünlüklərinə görə aviasiyanın sərt tələblərinə xüsusilə uyğundur. Yanacaq sərfinin azaldılması və sistemlərin

ömrünün uzaldılması hesabına təyyarələrin xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması və istismar xərclərinin azaldılması üçün optik liflərin potensialı ənənəvi mis sistemləri ilə diqqətli müqayisə yolu ilə təsvir edilmişdir. Optik lifli sistemlərin bir çox üstünlükləri olsa da, onların geniş yayılmasına mane olan çatışmazlıqlar və çətinliklər də mövcuddur. Yüksək ilkin xərclər, xidmətin mürəkkəbliyi, quraşdırma və təmir üçün heyətin xüsusi öyrədilməsi zərurəti – bütün bunlar həmin çətinliklərin bir hissəsidir. Bundan əlavə, aviasiya üçün spesifik olan optik lifli komponentlərin temperatur və vibrasiyalar kimi xarici mühitin təsiri səbəbindən uzunmüddətlik ilə problemləri mövcuddur.

Yuxarıda yazılanlara əsaslanaraq, məqalədə aviasiya rabitə sistemlərinin inkişafı, eləcə də bu sistemlərdə optik liflərdən istifadənin mövcud vəziyyəti haqqında məlumatların analizi əsasında təyyarələrdə optik lifli rabitə sistemlərinin integrasiyası məsələləri araşdırılmışdır. Burada ənənəvi mis sistemləri ilə müqayisədə optik lifin üstünlükləri səmərəlilik, məhsuldarlıq və etibarlılıq baxımından əsaslandırılmış və gələcək nəsil hava gəmilərinin avionikasını dəstəkləmək üçün mis sistemlərin dəyişdirilməsinin zəruriliyi ideyasının əsası qoyulmuşdur. Məqalədə həmçinin aviasiyada lifli optikanın əhəmiyyəti və gələcək imkanları vurğulanmış və bu sahədə əsas ideyalar ümumiləşdirilmişdir.

Açar sözlər: FOIMS - Fiber Optik İnformasiya Mübadilə Sistemi, ARINC 429, ARINC 629, Avionika, FCS - Uçuş İdarəetmə Sistemi, FBW – Simli uçuş idarəetmə sistemi.

Reviewer: DSc (Tech.), prof. Abdullaev P.Sh.
Ph.D., Associate prof. Garayev G.İ.

Information about the author

| Name, surname, fathers name | Workplace | Position, scientific degree, scientific name | Contact |
|-----------------------------|---------------------------|--|---|
| Ismailov Ismail Mahmud | National Aviation Academy | Professor, corresponding Member of ANAS | iismayilov@naa.edu.az mob: (+994) 50-387-02-79 |
| Garayev Razi Niyazi | National Aviation Academy | Doctoral student of Avionics department | garayev.razi@gmail.com mob: (+994) 50-387-02-79 mob: (+994) 50-733-73-32 |

MÜNDƏRİCAT

AVİASYA VƏ RAKET-KOSMİK TEXNİKASI

1. Pilotsuz uçuş aparatlar ilə elektron-optik müşahidənin aparılması və tətbiq imkanlarının optimallaşdırılması. Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A. 1

AVİASIYA TƏHLÜKƏSİZLİYİ

2. İzah edilə bilən emosiya analizi üçün qeyri-səlis qərar dəstəyi sistemi. Qardaşova L.A., Şirinov R.H., İbrahimova S.R. 14

AVİASIYA METEOROLOGİYASI

3. Kür –Araz ovalığının Xəzər ətrafı hissəsində hava temperaturunun müasir xüsusiyyətləri. Hüseynov N.Ş., Hüseynov C.S., İsmayılova N.N. 26

İNFORMASIYANIN EMALI

4. Hava limanlarında idarəetmənin təkmilləşdirilməsində smart texnologiyaların tətbiqi. Həbibullayev S.B., Heydərzadə N.A. 37
5. Aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanmasında Matlab və Simulink-dən istifadə Əhmədov L.N., Quliyeva X.N. 46
6. Qeyri-səlis sistemlərin identifikasiya məsələsinin həllində max-min kompozisiya əməliyyatının tətbiqi. Məmmədova K.A., Əliyeva Y.N. 58

NƏQLİYYAT LOGİSTİKASI

7. Azərbaycan Hava Yollarında kod şərinq müqavilələri: tənzimləmə tələbləri və gəlirlərin bölüşdürmə metodu. Kərimov B.Ə., Cəbrayilov R.B. 68

MATERIALŞÜNASLIQ

8. İşlənmiş təyyarə mühərrik yağlarından sintez edilmiş universal sürtkü yağına butil metakrilatın akrilamid ilə sopolimerinin təsiri Əsgərova K.T., Məmmədova S.İ., Ladoxina N.P., Abbasova Ş.B., Həsənova M.A., Yüzbaşova L.N. 76

İNFORMASIYA TEXNOLOGİYALARI

9. Misdən fiberə: fiber optik innovasiyalar vasitəsilə təyyarələrdə avionika sistemlərinin təkamülü. İsmayılov İ.M, Qarayev R.N. 87

CONTENTS

AVIATION AND ROCKET SPACE TECHNOLOGY

1. Electro-optical observation with unmanned aerial vehicles and optimization of application possibilities. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. 1

AVIATION SECURITY

2. A fuzzy decision support system for explainable emotion analysis. Gardashova L.A., Shirinov R.H., Ibrahimova S.R. (Нечеткая система поддержки принятия решений для объяснимого анализа эмоций. Гардашова Л.А., Ширинов Р.А., Ибрагимова С.Р.) 14

AVIATION METEOROLOGY

3. Contemporary characteristics of air temperature in the around the Caspian part of the Kur-Araz valley. Huseynov N.Sh., Huseynov C.S., Ismayilova N.N. 26

INFORMATION PROCESSING

4. Application of smart technologies in improving management at airports. Habibullayev S.B., Heydarzada N.A. 37
5. The use of matlab and simulink in the training of future aviation specialists Ahmadov L.N., Guliyeva Kh.N. 46
6. Application of max-min composition operation in solution of the identification problem of fuzzy systems. Mammadova K.A., Aliyeva Y.N. 58

TRANSPORT LOGISTICS

7. Code-sharing agreements in Azerbaijan Airlines: regulatory requirements and revenue distribution method. Karimov B.A., Jabrailov R.B. 68

MATERIALS SCIENCE

8. The effect of butyl methacrylate and acrylamide copolymer on a universal-purpose lubricant based on used aviation oils. Askerova K.T., Mamedova S.I., Ladokhina N.P., Abasova Sh.B., Gasanova M.A., Yuzbasheva L.N. (Влияние сополимера бутилметакрилата и акриламида на универсальную смазку, полученную на основе отработанных авиационных масел. Аскерова К.Т., Мамедова С.И., Ладохина Н.П., Аббасова Ш.Б., Гасанова М.А., Юзбашева Л.Н.) 76

INFORMATION TECHNOLOGY

9. From copper to fiber: the evolution of avionics systems in aircraft through fiber optic innovation. Ismailov I.M, Qarayev R.N. 87

Məqalələrin təqdim olunma qaydaları

Məqalələr Azərbaycan, rus və ingilis dillərində qəbul olunur. Hər bir məqaləyə Azərbaycan, rus və ingilis dillərində xülasə və açar sözlər verilməlidir. Çapa təqdim olunan məqalələr A4 formatda, 12 ölçülü şriftlə (cədvəllər, şəkillər və şəkilaltı yazılar 11 ölçülü şriftlə), ağ kağızda bir intervalla çap olunmalıdır. Boşluqlar: vərəqin bütün kənarlarından 2 sm. Məqalənin həcmi: orijinal məqalələr üçün 10, icmal məqalələr üçün 15 səhifədən artıq olmamalıdır. Məqalələr 2 nüsxədə çap və elektron variantda (WORD) təqdim olunur. Əlyazmalar müəlliflərə qaytarılmır. Digər təşkilatlardan olan müəlliflərin məqalələri onların işlədiyi təşkilatın məktubu ilə birlikdə təqdim olunmalıdır.

Məqalələrə müsbət rəy verildikdən sonra redaksiya heyətinin qərarı ilə çap olunur.

1. Hər bir məqalə onun UOT-u və ya PACS-ı, DOI-si, adı, müəlliflərin adı, ata adı, soyadları, elektron ünvanları, təşkilatın adı, məqalənin yazıldığı dildə bir intervalla çap olunmalı, qısa annotasiya və açar sözlərlə başlanmalıdır.

2. Ədəbiyyata istinad (References):

- ədəbiyyata istinad məqalədə rast gəlinəni ardıcılıqla işlənməlidir.

Sitat gətirmə qaydası:

- dövrü jurnallardakı məqalələr: müəlliflərin A.A. Soyadları, məqalənin adı, dövrü jurnalın adı, çap olunma ili, cildi, nömrəsi, səhifə nömrəsi;

- konfrans materialları və tezislər: müəlliflərin A.A. Soyadları, konfrans materialları və ya tezis adı, konfransın adı, keçirildiyi yer və il, çap materialının cildi, nömrəsi və səhifələri;

- kitablar: müəlliflərin soyadları, kitabın adı, çap olunduğu nəşriyyat, il və yer, səhifələrin sayı, təkrar istinadlarda isə səhifə nömrəsi verilir.

References - ədəbiyyatın orijinal dildə ingilis əlifbası ilə verilmiş variantıdır.

3. Annotasiya.

Annotasiya digər iki dildə 200-250 sözdən az olmayaraq, ayrıca vərəqdə çap olunmalıdır.

4. Açar sözlər.

Azərbaycan, rus və ingilis dillərində 8-10 söz.

5. Rəsmlər və şəkillər.

Rəsmlər və şəkillər yazıları və izahatları ilə ayrıca təqdim olunmalıdır. Ölçülər: 6 sm x 6 sm-dan az və 23sm x 16 sm-dan çox olmayaraq. Qrafiklərin koordinat oxları minimum rəqəm tərkibli olmalıdır. Koordinat oxlarının adları çox aydın yazılmalıdır. Qrafiklərdəki hər bir xətt nömrələnmiş və izahlı şəkildə olan yazılarla verilməlidir.

6. Cədvəllər.

Cədvəllər ayrıca vərəqdə çap olunmalıdır. Onlar nömrələnəli və başlıqla verilməlidir.

7. Məqalənin sonunda müəlliflər haqqında məlumat verilir: adı, soyadı və atasının adı; elmi dərəcəsi və adı; elektron ünvanı; iş yeri və ünvanı; işin icra olunduğu şöbə, laboratoriya və ya kafedra; maraq dairəsi.

Verilmiş tələblərə uyğun gəlməyən məqalələrə baxılmır!!!

Publication guidelines for articles in the Scientific Journal of National Aviation Academy

Articles are accepted in Azerbaijani, Russian or English. Each article should have an abstract and keywords in Azerbaijani, Russian and English. Articles submitted for publication should be printed with one interval on white A4 paper, font size 12 (tables, figures and captions for figures, font size 11). Margins: 2 cm on all edges page. Article length for original articles is no more than 10 pages, and 15 pages for review articles. Both articles should be submitted in 2 copies in printed and electronic version. The copies must be typed in the Microsoft Word text editor. Manuscripts of articles are not returned to the authors. For authors from other organizations, articles are accompanied by a letter and an examination certificate from the organization where they work. Articles are reviewed.

Only the articles received positive review of the Editorial Board are published.

1. Each article begins with UDC or PACS, DOI, title, information about the author(s), email address, name of the organization and a brief annotation in the original language of the article and keywords published in one interval.

2. References to literature (References):

- references should follow the order that are cited in the article

- Citation order:

- articles in periodicals: Author's full name, title of the article, title of the periodical, year of publication, volume and page numbers;

- conference publications and abstracts: Author's full name, title of the conference publication or abstract, conference title, place and year of the conference, volume number, page numbers.

- books: Author's full name, title of the book, publisher, date and place, number of pages; when referring again, the page number is also given.

References – is the referred version of the original literature give with Latin script.

3. Abstract. The abstract of at least 200-250 words in two other languages printed on a separate paper.

4. Key words in Azerbaijani, Russian and English, 8-10 words.

5. Drawings and photographs with inscriptions and explanations are attached separately. Dimensions: not less than 6x6 cm and not more than 23x16 cm. The coordinate axes of the graphs must contain minimum numbers. The names of the coordinate axes must be written very clearly. Each line in the graphs should be given with numbered and well-explained figure captions.

6. Tables should be numbered, titled and printed on a separate sheet.

7. The author(s) information is given at the end of the article: full name; academic degree and academic title; place of work and address; department, laboratory or chair where the work was fulfilled; sphere of scientific interests; email address; contact numbers.

Articles that do not meet these requirements will not be considered!!!

Texniki redaktor

Q.C. Vəliyeva

Korrektorlar

k.f.d. L.N. Yüzbaşova, Z.A. Məmmədova, J.R. Əliyeva

Dizayner

T.V. Binnətəliyeva

“Elmi Məcmuə”nin redaksiya heyəti tərəfindən
nəşrə hazırlanmış və çapına icazə verilmişdir.

Technical editor

G.J.Valiyeva

Correctors

Phd (Chem.) L.N. Yuzbashova , Z.A. Mammadova, J.R. Aliyeva

Dezinger

T.V. Binnataliyeva

"Scientific Journal" prepared for publication by the
editorial board and permission to print

Çapa hazırlanmışdır: 10.05.2025
“Elmi Məcmuə”
“Azərbaycan Hava Yolları” Qapalı Səhmdar Cəmiyyəti
Hava Limanlarının İstismarı Baş İdarəsinin
Poliqrafiya Mərkəzində çap olunmuşdur.
Formatı - 60x84 ¹/₈.
Tiraj 50 nüsxə.