

Milli Aviasiya Akademiyası



ISSN 1811-7341

ELMİ MƏCMUƏ

Cild 26, №4, 2024

National Aviation Academy
SCIENTIFIC JOURNAL
Volume 26, №4, 2024

Baş redaktor

F.-r.e.d., akademik Arif Mir Cəlal oğlu Paşayev

Elmi redaktor

T.e.d., prof. Rasim Nəsim oğlu Nəbiyev

Redaksiya heyətinin üzvləri (elm sahələri üzrə)

Texnika elmləri

T.e.d., prof. Afiq Rəşid oğlu Həsənov (redaktor)

T.e.d., prof. Ədalət Soltan oğlu Səmədov

F.-r.e.d., prof. Məsud Arif oğlu Əfəndiyev, Helmhols Mərkəzi, Münhen, Almaniya

F.-r.e.d., prof. Əli Tofiq oğlu İsmayılzadə, Karlsruhe Texnologiya İnstitutu, Almaniya

T.e.d., prof. Aleksandr Alekseyeviç İqolkin, Samara Universiteti, Rusiya

T.e.n., dos. Oleq Borisoviç Spiridonov, Cənub Federal Universiteti, Rusiya

T.e.d., prof. İsmayıl Mahmud oğlu İsmayılov

T.e.d., prof. Əhəd Xanəhməd oğlu Canəhmədov

T.e.d., prof. Pərviz Şahmurad oğlu Abdullayev

F.-r.e.d., prof. Kərim Rəhim oğlu Allahverdiyev

T.e.d., prof. Xəqani İmran oğlu Abdullayev

F.-r.e.d., prof. Kamal Əsgər oğlu Əsgərov

T.e.d., prof. Nazim Şəkər oğlu Hüseynov

T.e.d., prof. Aytac Nəzif qızı Bədəlova

F.-r.e.n., prof. İslam Əsəd oğlu İsgəndərov

T.e.n., dos. Elman Mehdi oğlu Nəcəfov

T.e.n., dos. Fuad Həsən oğlu Dadaşov

Hüquq elmləri

H.e.d., prof. Ayxan Xankişi oğlu Rüstənzadə (redaktor)

Prof. Dr. Cavid Sədulla oğlu Abdullazadə, Ankara Universiteti, Türkiyə

Prof. Dr. Yener Ünver, Özyeğin Universiteti, Türkiyə

Prof. Dr. Ömer Çınar, İbn Haldun Universiteti, Türkiyə

H.e.d., prof. Nazim Həsən oğlu Cəfərli

H.e.d., prof. Sübhan Fərmayıl oğlu Əliyev

H.e.d. Fərdin Yaşar oğlu Xəlilov

H.e.d., dos. Rauf Məmməd oğlu Qarayev

İqtisad elmləri

İ.f.d., dos. Gulnarə Telman qızı Əhmədova (redaktor)

İ.e.d., prof. Heydər Sərdar oğlu Həsənov

İ.e.d., prof. Rustem Tursunoviç Yuldashev, Moskva Dövlət Beynəlxalq Münasibətlər İnstitutu, Rusiya

İ.e.d., prof. Səlim Yanvar oğlu Müslümov

İ.e.d., prof. Sərvər Alcan oğlu Abbasov

İ.e.d., prof. Elnur Məhəmməd oğlu Sadiqov

İ.e.n., dos. Fəridə Fərid qızı Ələkbərova

İ.f.d., dos. Vəfa Qurban qızı Nəcəfova

İ.f.d., dos. Fuad Mürvət oğlu Mirzəyev

"Elmi Məcmuə"nin bölmələri: aviasiya və raket-kosmik texnikası, aeronaviqasiya, aviasiya təhlükəsizliyi, aviasiya meteorologiyası, aerokosmik monitoring və ətraf mühitin qorunması, cihazqayırma, radioelektronika, telekommunikasiya, informasiyanın emalı, nəqliyyat logistikası, fizika, bərk cisim elektronikasi, materialşünaslıq, informasiya texnologiyaları, sistemli analiz, idarəetmə sistemləri, hüquq, iqtisadiyyat, menecment, ictimai elmlər.

“Elmi məcmuə” 1999-cu ildə Azərbaycan Respublikası Mətbuat və İnformasiya nazirliyində qeydiyyatdan keçmişdir (Qeyd. № 492).

Jurnal Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının “Azərbaycan Respublikasında məqalələrin dərc olunması tövsiyə edilən dövrü elmi nəşrlərin siyahısı”na daxildir.

Redaksiyanın ünvanı: AZ1045, Bakı şəh., Mərdəkan pr. 30, Milli Aviasiya Akademiyası

Tel. (+994) 12 525 98 08 + 24 88. E-mail: em@naa.edu.az Veb sayt: <https://scientific-journals.naa.edu.az/>



aak.gov.az

<https://aak.gov.az>



Editor-in-chief

DSc (Phys. & Math.), Academician Arif M. Pashayev

Scientific Editor

DSc (Tech.), prof. Rasim N. Nabiye

Members of the editorial board (by scientific fields)

Technical sciences

DSc (Tech.), Prof. Afiq R. Hasanov (**editor**)

DSc (Tech.), Prof. Adalat S. Samadov

DSc (Phys. & Math.), Prof. Messoud A. Efendiev, Helmholtz Zentrum München, Germany

DSc (Phys. & Math.), Prof. Ali T. Ismail-Zadeh, Karlsruhe Institute of Technology, Germany

DSc (Tech.), Prof. Alexander A. Igolkin, Samara University, Russia

Ph.D (Tech.), Ass. Prof. Oleg B. Spiridonov, Southern Federal University, Russia

DSc (Tech.), Prof. Ismail M. Ismailov

DSc (Tech.), Prof. Ahad Kh. Janahmadov

DSc (Tech.), Prof. Parviz Sh. Abdullayev

DSc (Phys. & Math.), Prof. Karim R. Allahverdiyev

DSc (Tech.), Prof. Khagani I. Abdullayev

DSc (Phys. & Math.), Prof. Kamal A. Asgarov

DSc (Tech.), Prof. Nazim Sh. Huseynov

DSc (Tech.), Prof. Aytaj N. Badalova

Ph.D (Phys. & Math.), Prof. Islam A. Isgandarov

Ph.D (Tech.), Ass. Prof. Elman M. Najafov

Ph.D (Tech.), Ass. Prof. Fuad H. Dadashov

Legal sciences

DSc (Law), Prof. Aykhan Kh. Rustamzadeh (**editor**)

Prof. Dr. (Law), Javid S. Abdullazadeh, Ankara University, Türkiye

Prof. Dr. (Law), Yener Unver, Özyeğin University, Türkiye

Prof. Dr. (Law), Omer Chinar, İbn Haldun University, Türkiye

DSc (Law), Prof. Nazim H. Jafarli

DSc (Law), Prof. Subhan F. Aliyev

DSc (Law) Fardin Y. Khalilov

DSc (Law), Ass. Prof. Rauf M. Garayev

Economic sciences

Ph.D (Econ.), Ass. Prof. Gulnara T. Ahmedova (**editor**)

D.Sc (Econ.), Prof. Heydar S. Hasanov

D.Sc (Econ.), Prof. Rustem T. Yuldashev, Moscow State Institute of International Relations, Russia

D.Sc (Econ.), Prof. Salim Y. Muslumov

D.Sc (Econ.), Prof. Sarvar A. Abbasov

D.Sc (Econ.), Prof. Elnur M. Sadigov

Ph.D (Econ.), Ass. Prof. Farida F. Alakbarova

Ph.D (Econ.), Ass. Prof. Vafa G. Najafova

Ph.D (Econ.), Ass. Prof. Fuad M. Mirzayev

Categories of the "Scientific Journal": aviation and rocket space technology, air navigation, aviation security, aviation meteorology, aerospace monitoring and environmental protection, instrumentation, radio electronics, telecommunications, information processing, transport logistics, physics, solid-state electronics, materials science, information technology, system analysis, control systems, law, economics, management, social sciences.

“Scientific Journal” was registered at the Ministry of Press and Information of the Republic of Azerbaijan in 1999 (Reg. № 492).

The journal is included into the recommended list of periodical scientific publications of Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Azerbaijan.

Address: AZ1045, Baku, Mardakan Ave. 30, National Aviation Academy

Tel. (+994) 12 525 98 08 + 24 88. E-mail: em@naa.edu.az Website: <https://scientific-journals.naa.edu.az/>

AVIASIYA VƏ RAKET-KOSMİK TEXNİKASI

UOT 533.69.048: 004.942

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1010

BORT NƏZARƏT-ÖLÇÜ SİSTEMİ İLƏ VTOL MİKRO PUA-NIN TƏYYARƏ UÇUŞ REJİMİNDƏ TƏDQIQI

Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.İ.
Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə, VTOL (vertical take-off and landing – şaquli qalxıb enən) tipli pilotsuz mikro uçuş aparatının mühərriklərinin əsas texniki parametrlərini və planerin fəzada vəziyyətini müəyyən edən məlumatların uçuş zamanı qeydə alınması üçün işlənmiş bort nəzarət-ölçü sisteminin təsviri verilmişdir. Bu sistemdən istifadə etməklə VTOL mikro pilotsuz uçuş aparatının (PUA) təyyarə uçuş rejimində həm mühərriklərini diaqnostik yoxlaması və vəziyyətini qiymətləndirməsi üçün sınaq uçuşunun yerinə yetirilməsinin metodikası işlənmişdir. Həmçinin, sınaq uçuşları zamanı mühərriklərin hər birinin dövrlər sayı, cərəyan sərfi və temperaturu, eləcə də planerin üç koordinat oxu üzrə bucaq dəyişmələri və təcili ölçülərək qeydə alınmış və bu qiymətlər əsasında qeyd edilmiş parametrlərin zaman qrafikləri qurulmuşdur. Qurulmuş zaman qrafiklərinin təhlili pilotsuz uçuş aparatının qalxma, asılma, uçma və enmə rejimlərində bilavasitə tədqiq etməyə imkan verir.

Hazırlanmış bort nəzarət-ölçü sistemindən istifadə etməklə uçuşdan əvvəl, uçuş müddətində və uçuşdan sonra kiçik ölçülü mini və mikro pilotsuz uçuş aparatlarının mühərriklərinin diaqnostikasını aparması, yəni mühərriklərin nasazlığı səbəbindən uçuş zamanı havada mümkün uçuş hadisələrinin bilavasitə müəyyən edilməsinin və uyğun müdaxilənin yerinə yetirilməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir.

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

1. Giriş

Mexatronika, informasiya texnologiyaları, aerokosmik və s. sahələrdə süni intellektin tətbiqi ilə əldə edilmiş nailiyyətlər pilotsuz uçuş aparatlarının inkişafını daha yüksək səviyyəyə qaldırmağa imkan vermişdir. Hazırda pilotsuz mikro uçuş aparatlarının (mikro PUA-nın) həm laboratoriya sınaqları, həm də praktiki uçuşları zamanı statik və dinamik rejimlərdə mühərriklərin texniki parametrlərini kompleks şəkildə ölçmək, ölçülmüş qiymətləri və digər telemetrik məlumatları qeydə almaq, eləcə də real vaxtda operatorun idarəetmə pultunun monitoruna ötürmək məsələsinin həlli olduqca aktualdır. Orta və böyük ölçülü PUA-larda bu məsələnin həlli məqsədi ilə tələb olunan sayda duyğac və “uçuş məlumatlarının qeyd edicisi”-ni (FDR - Flight Data Recorder) çox asanlıqla bortda yerləşdirmək mümkündür [1-3].

Mövcud mikro PUA-da bəzi telemetrik məlumatların (məsələn, üfüqi və şaquli uçuş sürəti, uçuş hündürlüyü və uzaqlığı, uçuşun davam etmə müddəti, akkumulyatorun gərginliyinin və cərəyan sərfinin qiyməti, GPS peyklərinin sayı) real vaxtda radioötürücü vasitəsi ilə bortdan yerə ötürülməsi

məlumdur. Bu məlumatlar həm yerüstü idarəetmə stansiyasında, həm də operatorun monitorunda qəbul edilir [4-6].

[7]-də mikro PUA-ların güc sisteminin texniki parametrlərinə və planerinin vəziyyət göstəricilərinə nəzarət etmək, eləcə də bu parametrlər haqqında məlumatları kompleks şəkildə toplamaq üçün işlənmiş bort nəzarət-ölçü sistemi (BNÖS) təsvir edilmişdir.

BNÖS vasitəsi ilə mikro PUA-nın güc sisteminə daxil olan kollektorsuz elektrik mühərriklərinin texniki parametrləri və planerinin vəziyyət göstəriciləri haqqında məlumatları sinxron qeydə almaq mümkündür. Burada, texniki parametrlərə dörd qaldırıcı və bir dartı mühərrikinin dövrlər sayı - $RPM_1...RPM_5$ (revolution per minute), cərəyan sərfi - $I_1...I_5$ və temperaturu - $T_1...T_5$ aiddir. Planerinin vəziyyət göstəriciləri qismində, təyyarə oxlarının və sürət vektorunun istiqaməti haqqında məlumat yaradan giroskopun - $G_1...G_3$ və akselerometrin - $A_1...A_3$ göstərişləri istifadə edilir.

BNÖS yuxarıda qeyd edilən parametrləri PUA-nın həm yerdə işləməsi və həm də uçuş zamanı qeydə almağa imkan verir. Eyni zamanda uçuş zamanı mühərriklərin dövrlər sayı radioötürücü vasitəsi ilə qəbuledici monitor qismində istifadə edilən yerüstü idarəetmə pultuna ötürülür və qeyd olunur. Pultun ekranında indikasiya olunan dövrlər sayına əsasən real uçuş zamanı uçuş aparatının güc sisteminə, nəticədə uçuşların təhlükəsizliyinə nəzarət edilir. Parametrlərin qeydə alınmış qiymətlərinə əsasən uçuş aparatının növbəti uçuşa buraxılması qərarlaşdırılır [1, 2, 8].

İşin məqsədi – işlənərək hazırlanmış bort nəzarət-ölçü sistemindən istifadə edərək VTOL tipli mikro PUA-nın mühərriklərinin texniki parametrləri haqqında sistemli olaraq məlumatları toplamaqla müxtəlif uçuş rejimlərində PUA-nın güc elementlərinin diaqnostikasını aparmaq və yaranan problemləri real vaxt rejimində aşkarlamaqdır.

2. VTOL-təyyarə uçuş rejimində aparılan sınaqlar

Hibrid uçuş konsepsiyasına əsaslanan VTOL mikro PUA-nın uçuş dayanıqlığını yoxlamaq məqsədi ilə aerodrom şəraitində sınaq uçuşları keçirilmiş və güc sisteminin BNÖS vasitəsi ilə əldə olunmuş göstəriciləri tədqiq olunmuşdur.

PUA-nın uçuşunu VTOL-təyyarə rejimlərində tədqiq etmək üçün PUA-nın həm dartı, həm də qaldırıcı mühərriklərinə uyğun pərlər bərkidilmiş, günün fərqli vaxtlarında uçuş üçün əlverişli meteoroloji şəraitdə, davam etmə müddəti 7...8 dəqiqə olmaqla 10 sınaq uçuşu icra olunmuşdur (şəkil 1).

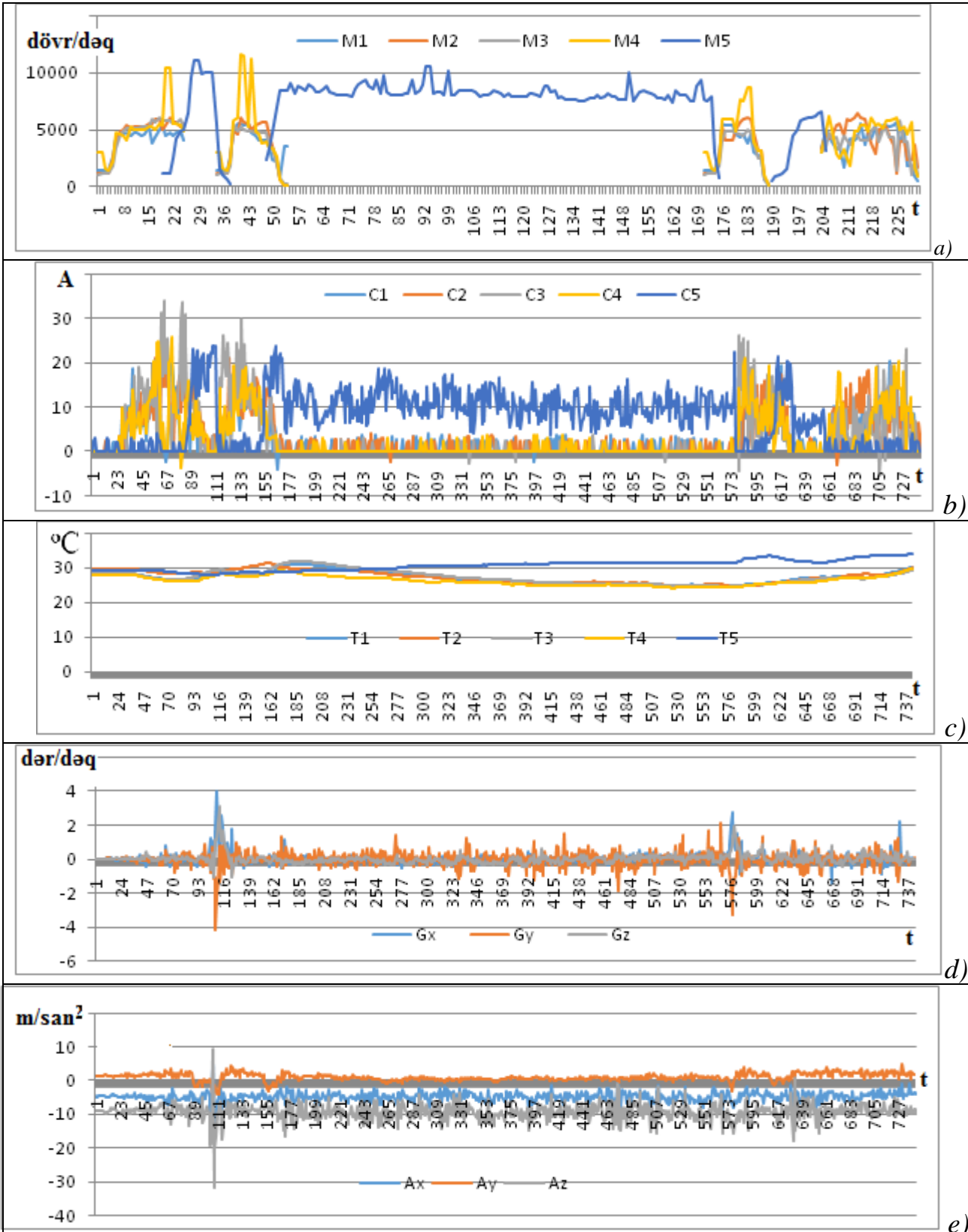
Məqalədə, qeydə alınmış və arxivləşdirilmiş məlumatlardan nümunə olaraq bir uçuşun nəticələrinə əsasən qurulmuş zaman qrafikləri ardıcılıqla verilmişdir. Mühərriklərin texniki parametrlərinin və ətalətli ölçü modulunun (İMU) çıxış siqnallarının uzlaşması tədqiqatın doğruluğunu nümayiş etdirir. Uçuş zamanı qeydə alınmış qiymətlərin sinxron dəyişməsinə göstərmək üçün müxtəlif parametrlərin zaman qrafikləri eyni miqyasda tərtib edilmişdir (şəkil 1).

2.1. Sınaq

Sınaqlar zamanı havanın temperaturu 25 °C, təzyiqi 757 mm.c.s., azimutu 200° olan küləyin sürəti artan 6-7 m/san, küləyin şiddəti 11-12 m/san olmuşdur.

Mühərriklərin dövrlər sayının qrafiklərinə əsasən sınaq uçuşu yeddi mərhələyə bölünmüşdür (şəkil 1).

1. PUA VTOL rejimində uçuşa başlamış və uçuş müddəti 30 san davam etmişdir. Bu rejimdə qaldırıcı mühərriklərin dövrlər sayı 5000 dövr/dəq-dən çox, lakin dartı mühərrikinin dövrlər sayı sıfıra bərabər olmuşdur.



Şəkil 1. Mürəkkəb meteoroloji şəraitdə VTOL-təyyarə uçuş rejimində aparılmış sınaq uçuşları zamanı BNÖS vasitəsilə qeydə alınmış qiymətlər əsasında qurulmuş: mühərriklərin dövrlər sayının (RPM, dövr/dəq.) - a, cərəyan sərfinin (A) - b, temperaturunun (°C) - c; akselerometrın - d və giroskopun - e çıxış siqnallarının zaman qrafikləri

2. Təyyarə rejiminə keçid başlayır. Bu mərhələdə qaldırıcı mühərriklərin dövrlər sayı sifra qədər azalmış, dartı mühərrikinin dövrlər sayı 10000 dövr/dəq-dən çox olmuşdur. Təyyarə rejimində 25 saniyə uçuşdan sonra küləyin şiddətinin artması qeydə alınmış və təhlükəsizlik məqsədi ilə VTOL rejiminə keçid edilmişdir.

3. PUA VTOL rejimində 1-2 m hündürlüyə qədər yerə yaxınlaşdırılmış, mühərriklərin dövrlər sayı “qaz” dəstəyinə görə 20...25 %-ə uyğun olmuşdur.

4. VTOL rejimindən təyyarə rejiminə keçid etməklə uçuş davam etdirilmişdir. Ən uzunmüddətli uçuş bu mərhələdə yerinə yetirilmişdir. Uçuş müddətində PUA küləyə qarşı dayanıqlıq göstərmişdir.

5. Təcrübə məqsədi ilə təyyarə rejimindən VTOL rejiminə keçid edilmişdir.

6. VTOL rejimində 30 saniyə uçuşdan sonra PUA təkrar təyyarə rejiminə qaytarılmışdır.

7. Uçuşun sonunda təyyarə rejimindən VTOL rejiminə keçid etməklə UA-nın təhlükəsiz enişi təmin edilmişdir.

Şəkil 1a - şəkil 1c-də göstərilmiş zaman qrafiklərindən PUA-nın uçuş mərhələlərinə uyğun mühərriklərin dövrlər sayını, cərəyan sərfini və temperaturunu müəyyən etmək mümkündür.

Şəkil 1a və şəkil 1b-də qrafiklərin müqayisəsindən görünür ki, uçuşun 3-cü və 4-cü mərhələsində küləyin şiddətinin artması səbəbindən havada asılma və təyyarə rejimlərində aerodinamik tarazlığı saxlamaq üçün tələb olunan gücə uyğun olaraq qaldırıcı və dartı mühərriklərinin dövrlər sayı və cərəyan sərfi artmışdır.

PUA-nın “VTOL-təyyarə” və əksinə keçid anlarını həm dövrlər sayının (şəkil 1a), həm də İMU-nun çıxış siqnallarının (şəkil 1d və şəkil 1e) zaman qrafiklərindən aydın görmək mümkündür. Eləcə də zaman qrafiklərindən görünür ki, mühərriklər yerdə işlədiyi müddətdə İMU-nun çıxış siqnalları hamardır, lakin havaya qalxma anından başlayaraq çıxış siqnallarında küylərin səviyyəsi nisbətən artır. Beləliklə, İMU-nun çıxış siqnallarında küylərin səviyyəsinə əsasən PUA-nın yerdə və ya havada olmasını müəyyən etmək mümkündür.

Nəticə

1. VTOL tipli pilotsuz mikro uçuş aparatının mühərriklərinin əsas texniki parametrlərini və planerin fəzada vəziyyətini müəyyən edən məlumatların uçuş zamanı qeydə alması üçün işlənmiş bort nəzarət-ölçü sistemindən istifadə etməklə VTOL mikro PUA-nın təyyarə uçuş rejimində mühərriklərini diaqnostik yoxlaması və vəziyyətini qiymətləndirməsi aparılmış və sınaq uçuşlarının yerinə yetirilməsi metodikası işlənmişdir.

2. Sınaq uçuşları zamanı mühərriklərin hər birinin dövrlər sayı, cərəyan sərfi və temperaturu, eləcə də planerin üç koordinat oxu üzrə bucaq dəyişmələri və təcili ölçülərək qeydə alınmaqla parametrlərin zaman qrafikləri qurulması və təhlili pilotsuz uçuş aparatının vəziyyətini birbaşa qiymətləndirməyə imkan verir.

3. Hazırlanmış bort nəzarət-ölçü sistemindən istifadə etməklə uçuşdan əvvəl, uçuş müddətində və uçuşdan sonra kiçik ölçülü mini və mikro pilotsuz uçuş aparatlarının mühərriklərinin diaqnostikasını aparmaq və mühərriklərin nasazlığı səbəbindən uçuş zamanı havada mümkün uçuş hadisələrinin bilavasitə müəyyən etmək və uyğun müdaxilənin yerinə yetirilmək mümkündür.

ƏDƏBİYYAT

1. R.N. Nəbiyev, A.A. Abdullayev, Q.İ. Qarayev, V.A. Abbasov. Kiçik ölçülü konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatları üçün bort nəzarət-ölçü sistemi. -Milli Aviasiya Akademiyası, -Elmi Məcmuə. -Cild 25, №4, -2023. -s. 1-12. doi: 10.30546/EMNAA.2023.25.4.1
2. Abdullayev A.A., Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ. Pilotsuz mikro uçuş aparatları üçün bort nəzarət-ölçü sisteminin yaradılması və stasionar rejimdə sınaqları. Fevral məruzələri. IX Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı materialları. 8-10 fevral 2024. -Bakı. Milli Aviasiya Akademiyası, -s. 156-159. <https://doi.org/10.30546/EMNAA.AZ00086>.
3. Nabiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Garayev, G.I. Study of the designed convertiplane-type micro UAV in stationary and multicopter flight modes with the on-board control-measurement system // ISUDEF-24 International Symposium on Unmanned Systems: AI, Design, and Efficiency, -22-23 may 2024-cü il, -Bakı, -Azərbaycan.
4. К.И. Куат. Определение аэродинамических характеристик беспилотного летательного аппарата самолетного типа аналитическими методами. -Вестник Томского Государственного Университета, -№78, -2022, -с. 112-124. DOI: 10.17223/1998821/78/9.
5. М.А.Х. Хамза. Проектирование системы сбора полетной информации для расчета аэродинамических характеристик БПЛА. Онтология проектирования. -№1, том 13, -2023, -с. 93-98, DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-90-98.
6. С.А. Клешнина и др. Устройство регистрации и передачи телеметрической информации беспилотного летательного аппарата. Патент-изобретение, RU 182090 C1 // Описание изобретения к патенту Федеральная Служба по интеллектуальной собственности Российская Федерация. -№ 22, 03.08.2018.
7. Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.İ. Bort nəzarət-ölçü sistemi ilə konvertoplan tipli mikro PUA-nın VTOL rejimində tədqiqi. -Milli Aviasiya Akademiyası, -Elmi Məcmuə, -Cild 26, №1, 2024.- s. 17-29. DOI: 10.30546/ JNAA.2024.26.1.17
8. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.I. (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>

REFERENCES

- R.N. Nebiyev, A.A. Abdullayev, G.İ. Garayev, V.A. Abbasov. Kichik olchulu
1. konvertoplan tipli pilotsuz uchush aparatlary uchun bort nezaret-olchu sistemi. Milli Aviasiya Akademiyasy, Elmi Mejmue. Jild 25, №4, 2023. s. 1-12. doi: 10.30546/EMNAA.2023.25.4.1
 2. Abdullayev A.A., Nebiyev R.N., Garayev G.İ. Pilotsuz mikro uchush aparatlary uchun bort nezaret-olchu sisteminin yaradylmasy ve stasionar rejimde synaglary. Fevral meruzeleri. IX Beynəlxalq elmi-praktiki genjler konfransy materiallary. 8-10 fevral 2024. Baky. Milli Aviasiya Akademiyasy, s. 156-159. <https://doi.org/10.30546/EMNAA.AZ00086>.
 3. Nabiyev, R.N., Abdullayev, A.A., Garayev, G.I. Study of the designed convertiplane-type micro UAV in stationary and multicopter flight modes with the on-board control-

- measurement system // ISUDEF-24 International Symposium on Unmanned Systems: AI, Design, and Efficiency, 22-23 may 2024-cü il, Bakı. Azərbaycan.
4. K.İ. Kvat. Opredelenie aerodinamicheskikh kharakteristik bespilotnogo letatel'nogo apparata samoletnogo tipa analiticheskimi metodami. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, №78, 2022, s.112-124, DOI: 10.17223/1998821/78/9
 5. M.A.Kh. Khamza. Proektirovanie sistemi sbora poletnoy informatsii dlya rascheta aerodinamicheskikh kharakteristik BPLA. Ontologiya proektirovaniya. №1, tom 13, 2023, s.93-98, DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-90-98.
 6. S.A. Kleshnina i dr. Ustroystvo registratsii i peredachi telemetricheskoy informatsii bespilotnogo letatel'nogo apparata. Patent-izobretenie, RU 182090 C1// Opisanie izobreteniya k patentu Federal'naya Sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti Rossiyskaya Federatsiya. № 22, 03.08.2018. <https://patents.google.com/patent/RU182090U1/ru>
 7. Nebiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.İ. Bort nezaret-olchu sistemi ile konvertoplan tipli mikro PUA-nyn VTOL rejiminde tedgigi. Milli Aviasiya Akademiyasy, Elmi Mejmue, Jild 26, №1, 2024. s. 17-29. doi: 10.30546/JNAA.2024.26.1.17
 8. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.I. (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>

RESEARCH OF A VERTICAL TAKEOFF AND LANDING MICRO UAV IN THE PLANE MODE WITH THE ONBOARD CONTROL - MEASUREMENT SYSTEM

***Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev Q.I.
National Aviation Academy***

The article describes the onboard control-measurement system developed for recording the main technical parameters of vertical takeoff and landing (VTOL) micro-UAV motors and the data determining the airframe's attitude during the flight. Using this system, the methodology of conducting a test flight has been developed to perform a diagnostic check of its motors and assess its condition using the VTOL micro-UAV in plane mode. Also, during the test flights, the number of revolutions, current consumption, and temperature of each motor, as well as angular changes along the three coordinate axes and acceleration of the airframe, were measured and recorded, and time graphs of the parameters were created based on these values.

Analysis of the created time graphs allows for direct researching of the UAV in take-off, hover, flight and landing modes. The possibility of small-sized mini and micro unmanned aerial vehicles to diagnose their motors before, during, and after the flight, that is, to directly identify possible flight events in the air during the flight due to engine failure and to perform appropriate intervention has been shown by using of the developed onboard control - measuring system.

Key words: VTOL, micro unmanned aerial vehicle, onboard control - measurement system, inertial measurement unit, accelerometer, gyroscope, RPM.

Rəyçi: t.e.d., prof. Abdullayev P.Ş.

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Nəbiyev Rasim Nəsim oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Milli Aviasiya Akademiyası, ETİ Aviasiya Elektronika şöbəsinin müdiri, t.e.d., prof.	pnabiyev@naa.edu.az mob: (+994) 55 754 76 46
Abdullayev Anar Arif oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Milli Aviasiya Akademiyasının doktorantı, f-r.f.d.	anarcfarov09@mail.ru mob: (+994) 77 756 48 75
Qarayev Qədir İsxan oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Milli Aviasiya Akademiyası, ETİ Aviasiya Elektronika şöbəsinin böyük elmi işçisi, t.f.d.	radir.garayev@naa.edu.az mob: (+994) 70 321 81 15

AVIASIYA TƏHLÜKƏSİZLİYİ

UOT: 656.225

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1012

HAVA NƏQLİYYATINDA 3-CÜ SİNİF TƏHLÜKƏLİ YÜKLƏRİN EMALININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ İSTİQAMƏTLƏRİ

İsmayilov P.İ., Əzimli L.E.
Milli Aviasiya Akademiyası

Hava nəqliyyatının təhlükəsizliyi məsələsinə baxılarkən qlobal hava nəqliyyatında getdikcə daha mühüm yer tutan təhlükəli yüklərin hava nəqliyyatı ilə təhlükəsiz daşınmasına xüsusi diqqət yetirilməlidir. Dünyada bütün nəqliyyat vasitələri ilə daşınan yüklərin yarısından çoxu təhlükəli yüklərdir. Bu yüklər müxtəlif qlobal tibbi, sənaye, kommersiya, tədqiqat tələbləri və prosesləri üçün vacibdir.

Məqalədə hava nəqliyyatı ilə daşınan 3-cü sinif təhlükəli yüklərin alışıma və ilkin qaynama nöqtələrinin hesablanması ətraflı surətdə araşdırılmışdır. Bununla yanaşı bu sahədə bəzi tədqiqatçıların fikirlərinə də yer verilmişdir. Təklif olunan işin məqsədi qarışıqların alışıma və ilkin qaynama nöqtələrinin dəqiq hesablanması, eyni zamanda qablaşdırma materiallarından düzgün istifadə etməklə baş verə biləcək insident və hadisələrin sayını minimuma endirməkdir.

***Açar sözlər:** təhlükəli yük, alışıma nöqtəsi, ilkin qaynama nöqtəsi, SDS, tezalışan mayelər, yük daşıma, hava nəqliyyatı, qablaşdırma, aviasiya.*

Təhlükəli yüklərin daşınması zamanı hər bir nəqliyyat növünün öz beynəlxalq standart qaydaları mövcuddur. Buna baxmayaraq, hava nəqliyyatı ilə təhlükəli yüklərin daşınması zamanı hələ də fəvqəladə vəziyyətlərdə ən böyük zərər, xəsarət və zədələr müşahidə olunur. Məhz bu səbəbdən BMT-nin təhlükəli yüklərin emalına dair ekspert komitəsinin tövsiyələrinə, Çikaqo konvensiyasının 18 nömrəli əlavəsinə, Beynəlxalq Mülki Aviasiya Təşkilatının (ICAO) Təhlükəli Yüklərin Hava Nəqliyyatı ilə Təhlükəsiz Daşınması üzrə Texniki Təlimata və IATA-nın təhlükəli yük qaydalarının tələblərinə riayət etmək çox vacibdir [1].

Təhlükəli yüklərin hava gəmiləri ilə daşınması zamanı mövcud qaydaların düzgün yerinə yetirilməsi və onlara ciddi əməl olunması uçuş təhlükəsizliyinin yüksək səviyyədə təmin edilməsinə ilkin zəmin yaradır. Hava nəqliyyatı ilə daşınan təhlükəli yüklərin statistikasına nəzər yetirsək, birinci yerdə tezalışan mayelərin, ikinci yerdə isə korroziya edici maddələrin gəldiyinin şahidi olmuş olarıq. Bu baxımdan 3-cü sinif təhlükəli yüklərin (tezalışan mayelər) təhlükəsiz emalı və daşınmasını həyata keçirmək üçün təhlükəsizlik protokolları və təlimatların müntəzəm nəzərdən keçirilməsi və yenilənməsi vacib şərtlərdən biridir [2].

İşin məqsədi. Təhlükəli yüklərin daşınması müasir və dinamik təchizat zəncirinin reallığıdır. Məqalənin məqsədi tezalışan mayelərin alışıma, o cümlədən ilkin qaynama nöqtələrinin dəqiq hesablanması və buna uyğun olaraq, düzgün qablaşdırma materiallarından istifadə etməklə baş verə biləcək insident və hadisələrin sayını minimuma endirməkdir.

Təhlükəli yüklərin daşınmasında yanğına səbəb olan üç əsas element – yanacaq, oksigen və istilik mənbələri nəzərə alınmalıdır:

1. **Yanacaq:** Tezalıışan mayelər bu kateqoriyaya daxildir və yanacaq rolunu oynayır.
2. **Oksigen:** Hava gəmisinin yük bölməsində canlı heyvan olmadığı təqdirdə oradakı oksigenin miqdarını azaltmaqla alışma riskini qarşısını xeyli almaq mümkündür.
3. **İstilik:** Maddələr yalnız alışma nöqtəsinə çatdıqda buxarlanır və alışmaya məruz qalır. Təyyarələrdə istilik mənbələrini minimuma endirmək və qablaşdırma zamanı istilik keçirməyən konteynerlərdən istifadə edilməsi tövsiyə edilir.

Yanğın üçbucağı: Təyyarələrin yük bölmələrində bu üç elementdən biri aradan qaldırılırsa, yanğın riski effektiv şəkildə azaldıla bilər.

Hava nəqliyyatında təhlükəli yüklərin emalı IATA-nın təhlükəli yük qaydalarında verilən qablaşdırma təlimatlarının tələblərinə və xüsusi müddəalara uyğun olaraq həyata keçirilir. Bir qablaşdırmaya düşən təhlükəli yükün miqdarı sərnişin və yük hava gəmiləri üzrə kəskin fərqlənir. Yük hava gəmiləri ilə müqayisədə sərnişin hava gəmilərində təhlükəli yüklərin miqdarına olan məhdudiyətlər daha sərtir. Məsələn, hər ikisi 3-cü sinfə aid olan toluol və heptan IATA-nın ən son qüvvədə olan qaydalarına əsasən BMT spesifikasiyalı kombinə edilmiş qablaşdırma ilə sərnişin təyyarəsində 5 L daşımağa icazə verilsə, bu hədd yük hava gəmisində 60 litrdir. Uçuş zamanı və yerdə fəvqəladə hallarda davranış prosedurları isə təhlükəli yükün hansı hava gəmisində daşınmasından asılı olmayaraq eynidir. Bu isə öz növbəsində aviaşirkət və yerüstü xidmət işçilərindən təhlükəli yüklərlə bağlı fəvqəladə hallar zamanı yüksək peşəkar hazırlıq tələb edir.

Təhlükəli yüklər xüsusiyyətlərinə görə doqquz sinfə bölünür. 3-cü sinif təhlükəli yüklər qapalı qabda 60°C, açıq qabda isə 65.6°C temperaturda tezalıışan buxar emissiya edən mayelər hesab edilir. Bu kateqoriyaya benzin, spirt, aseton, boya, kerosin, həlledicilər və s. kimi bir növ tezalıışan mayelərlə yanaşı, müxtəlif təhlükəli mayelərin qarışığı, həmçinin tərkibində bərk maddələr olan tezalıışan məhlul və suspenziyalar da aiddir [3].

3-cü sinif təhlükəli yüklərin əsas kimyəvi xüsusiyyətləri maddənin alışma və ilkin qaynama nöqtələridir. Siqaret, alışqan və ya elektrik lampası kimi bir çox gündəlik əşyalar alışma mənbəyi ola bilər. Tezalıışan mayelər alışma mənbəyinə rast gəldikləri zaman, onlar asanlıqla alışır və tez yanır. Yanğın (və ya partlayış) riski ilə əlaqədar olaraq, tezalıışan mayelərin emalı və saxlanması ilə məşğul olan personalın alışma mənbələrini müəyyən etmək, həmçinin onların aradan qaldırılması istiqamətində müvafiq təlim keçməsi çox vacibdir [4].

Təhlükəli yüklərin əksəriyyəti üç qablaşdırma qrupuna bölünür və bunlar onun təhlükəlilik dərəcəsinin göstəricisidir. Belə ki, I bağlama qrupu yüksək təhlükəli, II bağlama qrupu orta təhlükəli, III bağlama qrupu isə aşağı təhlükəlidir. I, II və III bağlama qruplarına aid olan təhlükəli yüklər müvafiq olaraq xüsusi sınaqlardan keçmiş X, Y və Z BMT spesifikasiyalı bağlamalarda qablaşdırılır. 3-cü sinif tezalıışan mayelərin bağlama qrupu alışma və ilkin qaynama nöqtələrinə əsasən müəyyən edilir (cədvəl 1).

Cədvəl 1. Bağlama qrupunun müəyyən edilmə meyarları

Bağlama qrupu	Alışma nöqtəsi (qapalı qabda)	İlkin qaynama nöqtəsi
I	-	≤ 35°C
II	< 23°C	> 35°C
III	≥ 23°C, lakin ≤ 60°C	

Hava nəqliyyatı ilə daşınan tezalıxan mayelərin alışıma və ilkin qaynama nöqtələrinin tədqiqi həm yerli, həm də xarici tədqiqatçıların daim diqqət mərkəzində olan mühüm məsələlərdəndir. Bu sahədə bəzi görkəmli tədqiqatçıların fikirləri və araşdırmaları mövcuddur.

Təhlükəli yüklərin hava nəqliyyatı ilə daşınması ilə bağlı bir çox elmi tədqiqatlar vardır. Türkiyənin mühüm tədqiqatçılarından olan Dr. Elif Yılmaz alışıma nöqtəsinin hesablanması empirik düsturlardan istifadə etməyin vacibliyini vurğulayıb. O, mayelərdəki çirkərin alışıma nöqtəsinə təsirini araşdıraraq, təhlükəsiz daşıma standartlarının qurulması istiqamətində öz təkliflərini vermişdir [5].

Dr. Smit tezalıxan mayelərin saxlanması və daşınması üçün təhlükə analizi modelləri üzərində işləmişdir. Bu modellər tezalıxan mayelərin təhlükəsiz daşınması və istifadəsi üçün müxtəlif variantları qiymətləndirmək üçün hazırlanmışdır. O, müasir Pensky-Martens qapalı qab və Klivlend açıq qab eksperimental sınaq üsullarının müəllifidir. Ondan fərqli olaraq Dr. Maria Garcia əsasən Beynəlxalq qaydalara uyğun işləyərək, ICAO və BMT standartlarının tətbiqinə xüsusi diqqət yetirmişdir [6]. O, təhlükəli yüklərin daşınmasında təhlükəsizlik prosedurları üzərində elmi tədqiqatlar aparmışdır.

Yuxarıda qeyd edilən bütün tədqiqatçılar tezalıxan mayelər haqqında çoxlu araşdırmalar aparmış və bununla bağlı müxtəlif modellər, hesablama düsturları kimi bu sahəyə istiqamət verən böyük addımlar atmışlar.

Təhlükəsizliyin, risklərin qiymətləndirilməsinin, istehsalat qəzaları üçün fəvqəladə halların planlaşdırılmasının əhəmiyyəti, həmçinin dövlət orqanlarının tələbləri alışıma nöqtəsinin proqnozlaşdırılması üçün daha yaxşı və etibarlı üsulların axtarışında hərəkətverici qüvvədir. Araşdırılan bu üsullar tezalıxan mayelərin emalı, saxlanması, daşınması və qablaşdırılması metodlarını dəqiq müəyyən edir.

Eksperimental məlumatların çatışmazlığından qarışıqların alışıma, eyni zamanda ilkin buxarlanma nöqtələrini müəyyən etmək üçün proqnozlaşdırıcı nəzəri üsullara ehtiyac duyulur. Qarışıqlar üçün alışıma nöqtəsinin təyini ümumiyyətlə Le Şatelye tənliyinə və buxar-maye tarazlığına əsaslanır.

Maddələrin alışıma nöqtəsinin hesablanması. Təmiz karbohidrogenlərin alışıma nöqtəsinin qiymətləri aşağıdakı tənlikdən istifadə etməklə hesablanıla bilər:

$$T_f = 0.683t_b - 71.7 \quad (1)$$

Burada, t_f – alışıma nöqtəsi, t_b – ilkin qaynama nöqtəsidir.

Üzvi birləşmələrin və neft fraksiyalarının ilkin qaynama temperaturundan asılı olaraq alışıma nöqtəsinin qiymətləndirmək üçün kimya üzrə Hindistan alimi M.R. Satyanarayana [7] tərəfindən qeyri-xətti eksponensial hesablama düsturu təklif edilmişdir. Bu düstur 1220-dən çox birləşmə üzərində sınaqdan keçirilmiş və alışıma nöqtəsinin 1%-dən az orta mütləq xəta ilə proqnozlaşdırmağa imkan verir.

$$T_f = a + \frac{b \left(\frac{c}{T_b} \right)^2 e^{\frac{c}{T_b}}}{\left(1 - e^{\frac{c}{T_b}} \right)^2} \quad (2)$$

Burada, T_f – alışma nöqtəsinin temperaturunu göstərir (K);

T_b – normal qaynama nöqtəsidir (K), a, b və c isə sabitlərdir. Bu sabitlər Gauss-Nyuton iterasiya metodundan istifadə etməklə qeyri-xətti reqressiya ilə qiymətləndirilir. Silikon və polimerlər üzrə mütəxəssis, ABŞ alimi Fu-Yu Hshieh [8] üzvi birləşmələr üçün alışma nöqtələrinin ilkin qaynama nöqtələrinə nisbətini inkişaf etdirdi. O, 207 birləşmə üçün məlumatlardan istifadə edərək üzvi birləşmələrin korelyasiyasını aşağıdakı kimi müəyyən etmişdir.:

$$T_f = -51.2385 + 0.4994T_b + 0.0004T_b^2 \quad (3)$$

Burada, korrelyasiya əmsalı 0,967, standart xəta isə 11,06 C⁰-dir.

Kimya üzrə digər ABŞ alimi Richard Prugh təmiz komponentlərin alışma nöqtəsini hesablamaq üçün bir alternativ hazırladı [9]. Metod üzvi birləşmələrin yalnız normal qaynama nöqtələri və kimyəvi strukturları əsasında buxar təzyiqi ayrılmasının və LFL-nin (Lower Flammability Limit-Aşağı alışma həddi) qiymətləndirilməsindən ibarətdir. Metodologiya aşağıdakı kimidir:

1. Qeyd edilən tənlikdən havadakı buxarın X_{st} stokiometrik konsentrasiyasını hesablamaq mümkündür.

$$X_{st} = \frac{83,8\%}{4(C)+4(S)+H-X-2(O)+0.84} həcmm\% \quad (4)$$

Burada, C, S, H, X və O müvafiq olaraq maddədəki karbon, kükürd, hidrogen, halogen və oksigen atomlarının sayıdır.

2. Daha sonra normal qaynama nöqtəsinin nəticəsindən (K ilə) alışma nöqtəsini tapa bilərik:

$$\frac{T_b}{T_f} = 1.3611 - 0.0697 \ln(X_{st}) \quad \text{alkoqollar üçün} \quad (5)$$

$$\frac{T_b}{T_f} = 1.4420 - 0.08512 \ln(X_{st}) \quad \text{digər maddələr üçün} \quad (6)$$

Maddələrin alışma hədlərinin hesablanması. Alışma hədləri qaz qarışığının alışma və yanmasına səbəb olan yanacaq konsentrasiyalarının diapazonudur (adətən həcm faizi ilə ifadə olunur). Aşağı alışma həddinin (LFL) altında yanmaya səbəb kifayət qədər yanacaq olmadığı kimi eynilə, yanacağın konsentrasiyası yuxarı alışma həddini (UFL- Upper Flammability Limit) aşdıqda, reaksiyanı alışma mənbəyinə yaymaq üçün kifayət qədər oksigen çatışmır.

Alışma nöqtəsi prosesin müxtəlif mərhələlərində risk səviyyəsini müəyyən etmək üçün istifadə edilir. Yüksək temperatur və təzyiqlərdə alışma həddini bilmək olduqca əhəmiyyətlidir. Bildiyimiz kimi, mülki hava gəmiləri 9000-12000m hündürlükdə uçuşlar icra edir. Hündürlük artdıqca hər 100m-dən bir temperaturun 0.65°C və təzyiqin aşağı düşdüyünü nəzərə alaraq, uçuş vaxtı aşağı temperatur və təzyiqdə alışmaya səbəb kifayət qədər əlverişli şərait yoxdur. Bu səbəbdən alışma nöqtəsi 60°C-dən çox olan mayelər təhlükəli yük hesab edilmir və adı yük kimi emal edilib daşınır. Uçuşun digər mərhələlərində isə, xüsusilə tezalısan mayelərin sızıntısı ilə bağlı risk amili hər zaman mövcuddur.

Alışma nöqtəsinin dəqiq müəyyən edilməsi standart aparat və şərtlərdən istifadə etməyi tələb edir, onu eksperimental olaraq müəyyən etmək mümkün olmadıqda, onların qiymətləndirilməsi

üçün empirik tənliklərdən istifadə edilir. Havada alışma hədlərinin qiymətləndirilməsi üçün Cons tənliyinə tez-tez istinad edilir [10; 11].

$$LFL = 0.55C_{est} \quad (7)$$

$$UFL = 3.5C_{est} \quad (8)$$

Burada, C_{est} - havada tam yanma üçün yanan məhsulun stokiometrik konsentrasiyasıdır.

Havada LFL-in proqnozlaşdırılması üçün isə başqa bir empirik əlaqədən - Spakovski tənliyindən istifadə edilir [12]:

$$LFL \times (-\Delta H_{comb}) = 4.354 \times 10^3 \quad (9)$$

Burada, $(-\Delta H_{comb})$ standart yanma istiliyidir.

Karbohidrogenlərin LFL-i mövcud H atomlarının sayından asılı olmayaraq, yalnız zəncirdəki C atomlarının sayından asılıdır [13]. Bunun əksinə olaraq, karbohidrogenlərin UFL-i ilk növbədə zəncirdə mövcud olan H atomlarının sayından asılıdır.

Tezalışan mayelərin emalı zamanı IATA-nın qaydalarına uyğun düzgün qablaşdırma prosedurlarının yerinə yetirilməsinə baxmayaraq, gündəlik həyatda zədələnmələr nəticəsində sayca az da olsa sızıntı hallarına rast gəlinir (şəkil 1).



Şəkil 1. Zədələnmiş və sızmış təhlükəli yük

Bu isə qəzaların baş verməsi üçün ciddi səbəb ola bilər. Kombinə edilmiş qablaşdırma zamanı daxili və xarici qabdan istifadə edilir. Bununla yanaşı daxili qablarda baş verə biləcək sızıntı hallarının qarşısının alınması məqsədilə daxili və xarici qabın arasında xüsusi absorbsiyaedici materiallardan istifadə edilir (şəkil 2). Lakin IATA-nın təhlükəli yük qaydalarının qablaşdırılma təlimatlarında daxili qablarda olan mayeni tam udacaq qədər absorbsiyaedici materialın konkret miqdarı göstərilməmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi buna heç fiziki olaraq yer də yoxdur, odur ki, gündəlik həyatda absorbsiyaedici materiallardan gözəyarı, yalnız fiziki boşluqların doldurulması zamanı istifadə edilir. Bu isə sızma halları zamanı mayenin tam udulmasına imkan vermir.



Şəkil 2. Kombinə edilmiş qablaşdırılma

Qeyd edilən məsələnin aktuallığını nəzərə alaraq, konkret miqdarda müxtəlif absorbsiyaedici materialların nə qədər tezalısan maye uda biləcəyini dəqiq müəyyən etmək üçün onun məsaməliliyi, sıxlığı və absorbsiya qabiliyyəti kimi fiziki xüsusiyyətlərini nəzərə almaq lazımdır. Əsas addım onun tutumunu və ya udma qabiliyyətini müəyyən etməkdir.

1. Absorbsiyaedici materialın kütləsinin təyini.

İlk növbədə absorbsiyaedici materialın kütləsini bilmək lazımdır. Absorbsiyaedici materialın kütləsi $m_{\text{absorbsiyaedici}}$ (kq) verilə bilər, eyni zamanda həcmi və sıxlığı məlum olduqda, onu asanlıqla tapa bilərik:

$$m_{\text{absorbsiyaedici}} = \rho_{\text{absorbsiyaedici}} \times V_{\text{absorbsiyaedici}} \quad (10)$$

Burada, $\rho_{\text{absorbsiyaedici}}$ - absorbsiyaedici materialın sıxlığı (kg/m^3), $V_{\text{absorbsiyaedici}}$ - absorbsiyaedici materialın həcmidir (m^3).

2. Absorbsiyaedici materialın maye udma qabiliyyətinin təyini.

Hər bir absorbsiyaedici materialın udma qabiliyyəti adlanan xüsusiyyəti vardır ki, bu da onun vahid kütləsinin maksimum nə qədər maye qəbul edə biləcəyini göstərir. Məsələn, absorbsiyaedici materialın C udma qabiliyyəti (L/kq) verilərsə, o zaman onun uda biləcəyi mayenin miqdarını aşağıdakı düsturla dəqiq hesablaya bilərik:

$$Q_{\text{maye}} = C \times m_{\text{absorbsiyaedici}} \quad (11)$$

Burada, Q_{maye} - udulan mayenin miqdarı (L), C - absorbsiyaedici materialın udma qabiliyyəti (L/kq), $m_{\text{absorbsiyaedici}}$ - isə absorbsiyaedici materialın kütləsidir (kq). Absorbsiyaedici materialın mayeni udma qabiliyyəti onun materialının növündən, strukturundan və vəziyyətindən asılıdır. Daha dəqiq hesablamalar üçün temperatur, təzyiq və udulacaq tezalısan mayenin xüsusiyyətləri kimi əlavə məlumatları da nəzərə almaq vacibdir.

Nəticə.

Tezalısan mayələrin emalı zamanı düzgün qablaşdırma prosedurlarının yerinə yetirilməsinə xüsusi diqqət yetirmək lazımdır. Əks təqdirdə zədələnmələr nəticəsində sızıntılar baş verə bilər ki, bu isə öz növbəsində müxtəlif insident və qəzalara yol açə bilər. Bu səbəbdən, tezalısan mayələrin qablaşdırılması zamanı konkret miqdarda absorbsiyaedici materialın nə qədər mayenin uda biləcəyini dəqiq hesablamaq məqsədəuyğundur. Hesab edirik ki, bu baş verə biləcək risklərin qarşısını almağa və qəzaların sayının minimuma endirilməsinə imkan verəcək.

REFERENCES

1. Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air, 2021 – 2022 Edition, Doc 9284, International Civil Aviation Organization.
2. Dangerous Goods Regulations, 66th edition, International Air Transport Association, Effective 1 January 2025.
3. Recommendations of the transportation of Dangerous Goods / United Nations 2018.
4. A fire risk analysis model for assessing options for flammable and combustible liquid products in storage and retail occupancies / John R. Hall Jr. - Volume 31, pages 291–306, (1995)
5. Emin Çadırlı, Hicran Tecer, Mevlüt Şahin, Elif Yılmaz, Talip Kırındı, Mehmet Gündüz. Effect of heat treatments on the microhardness and tensile strength of Al–0.25 wt.% Zr alloy <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838815002911> <https://scholar.google.com/citations>
6. Endüstriyel tesislerde yanıcı parlayıcı sıvılar için yangın güvenliği // Oral Demircioğlu - Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu // 29-30 Eylül 2022 - s. 2.
7. Journal of Hazardous Materials - Improved equation to estimate flash points of organic compounds / Satyarayana K. and P.G. Rao, 32, 1992, 81-85.
8. Selective method of calculating the flash point temperature using the pensky- martens closed cup tester of a pure liquid / M. Hristova, S. Tchaoushev - International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) Volume 10, Issue 06, June 2019, pp. 97-102.
9. Derivation of Le Chatelier's mixing rule for flammable limits / C.V. Mashuga, D.A. Crowl, Proc. Safety Prog., 19, 2, Philadelphia – April 2004. – 112-117 p.
10. F.P. Bodhurtha, Industrial Explosion Prevention and Protection, McGraw-Hill Inc., N. Y., 1980.
11. D.A. Crowl, J.F. Louvar, Chemical Process Safety, Fundamentals with Applications, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2011.
12. J.M. Santamaria Ramiro, P.A. Brana Aisa, Risk analysis and reduction in the chemical process industry, ITP, 1998., - 370 p.
13. Flammability characteristics of pure hydrocarbons. / Tareq A. Albahri., 2003.

DIRECTIONS FOR IMPROVING THE HANDLING OF CLASS 3 DANGEROUS GOODS IN AIR TRANSPORT

***Ismayilov P.I., Azimli L.E.
National Aviation Academy***

As a result, it can be said that all dangerous goods undergo various tests in special laboratories during transportation. Depending on the classes of dangerous goods, the specified tests are carried out in different ways and methods. Similar methods and formulas are used when transporting dangerous goods of class 3. We have considered several such formulas in article.

Particular attention should be paid to proper packaging procedures when handling liquid dangerous goods. Otherwise, leaks may occur as a result of damage, which in turn can lead to various incidents and accidents. For this reason, when packaging flammable liquids, it is advisable to accurately calculate how much liquid a specific amount of absorbent material can absorb using the last formula (11). We believe that this will allow us to prevent possible risks and reduce the number of accidents to a minimum.

Key words: Dangerous goods, flash point, initial boiling point, SDS, flammable liquids, cargo transportation, air transport, packaging, aviation

Rəyçi: *t.f.d., dos. Nəcəfov E.M.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
İsmayilov Polad İlyas oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	“Avianəqliyyat istehsalatı” kafedrasının baş müəllimi	pismayilov@ naa.edu.az mob: (+994) 70 313 71 17
Əzimli Leyla Elşən qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	Magistrant	Lazimli.60113@naa.edu.az mob: (+994) 55 597 52 27

AEROKOSMİK MONİTORİNG VƏ ƏTRAF MÜHİTİN QORUNMASI

UOT: 66.073.502

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1016

DƏNİZ YATAQLARINDA KARBOHİDROGENLƏRİN YIĞIM-NƏQL PROSESLƏRİ ZAMANI EKOLOJİ VƏ İQTİSADİ RİSKİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

İskəndərov E.X., İsmayılova H.Q., Fərzəlizadə Z.İ., Məmmədova İ.E.
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Neftin və neft məhsullarının kiçik sızmaları ekoloji cəhətdən ağır nəticələr verməyə də, neft kəmərinə sızma riskinin ehtimal qiymətləndirilməsi böyük praktik əhəmiyyətə malikdir. Riskin səviyyəsi itkilərin başvermə ehtimalı və miqyası ilə qiymətləndirilir. Qiymətləndirilmə proseduru özündə qəza nəticəsində dəyən ziyanı və qəza başvermə ehtimalı haqqında məlumatları birləşdirir. Ekoloji və iqtisadi riskin qiymətləndirilməsi neft kəmərlərinin istismar təcrübələri və sızmaların təsnifat göstəriciləri nəzərə alınmaqla həyata keçirilir.

Məqalədə mədən yığım kəmərləri sistemlərində neft sızmalarının ekoloji və iqtisadi risklərinin diaqnostikası və karbohidrogen itkilərinin azaldılması məsələləri araşdırılmışdır. Riskin ehtimal xarakterini nəzərə alaraq, neftin yığılması və nəqli sistemlərinin ekoloji-istismar parametrlərinin qiymətləndirilməsi üçün yeni yanaşma təklif edilmişdir.

Açar sözlər: ekolojiya, neft kəməri, neftin yığılması və nəqli, axın rejimləri, neft sızması, sabit basqı, dəyişən basqı, ekoloji risk, ehtimal.

Neft mədənlərində quyu məhsullarının yığılması zamanı separasiya avadanlıqları, neft çənləri, lay sularının təmizlənməsi üçün nəzərdə tutulmuş çənlər, nümunə götürmək üçün kran və cihazlar, flans birləşmələri, qaz kəmərlərindəki maye fazanı kənarlaşdırmaq üçün borucuq və s. qurğular karbohidrogen itkilərinin mənbələri hesab olunur [1].

Neft və neft məhsullarının qəza itkilərinin miqyası qəzanın yerinin koordinatlarından və ölçüsündən, eləcə də onun aşkar edilməsi və aradan qaldırılması tezliyindən asılıdır [2].

Şərti sərbəst basqı rejimində neftin boru kəmərinə axma müddətini onun nəqlinin tam dayandırılması, yəni, qəzanın aradan qaldırılması müddəti kimi müəyyən etmək olar.

Sualtı dəniz neft kəmərinə sızma zamanı neftin axma müddəti aşağıdakı düsturla təyin edilə bilər [3]:

$$t = \frac{\sqrt{2}D^2}{d^2 \mu \cdot g} \left(\sqrt{\frac{P_{qa}}{\rho_n}} - \sqrt{\frac{P_{hid}}{\rho_{su}}} \right) \quad (1)$$

Burada: D -neft kəmərinin diametri; $P_{q.a.}$ və $P_{hid.}$ -uyğun olaraq, quyu ağızı təzyiq və dənizin H_d dərinliyində hidrostatik təzyiq; d -müşahidə edilən qüsur dəliyinin diametri; μ -sərf əmsəlidir.

Neftin kəmərdən sərbəst axması (nasoslar dayandırılmış halda və ya quyu işləmədikdə) zamanı sızmanın qiymətləndirilməsi (1) ifadəsindən görüldüyü kimi bir neçə amillərdən asılıdır.

Basqılı rejimdə sualtı boru kəmərinin deşilməsi zamanı neftin sızma müddəti qəzanın nə qədər tez aşkar edilməsi ilə xarakterizə olunur.

Sabit quyuağzı təzyiqlik altında kəmərdən neftin axma müddətini aşağıdakı düsturla təyin etmək olar [3]:

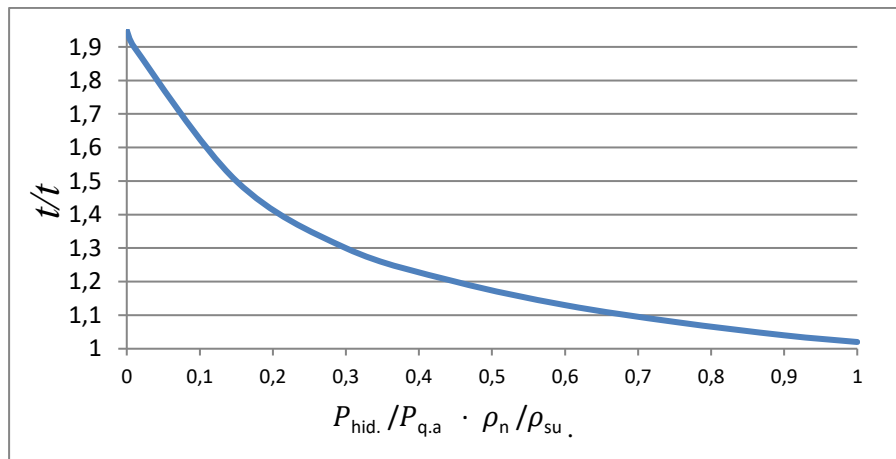
$$t_1 = \frac{D^2}{\sqrt{2} d^2 \mu \cdot g} \cdot \frac{\frac{P_{qa}}{\rho_n} - \frac{P_{hid}}{\rho_{su}}}{\sqrt{\frac{P_{qa}}{\rho_n}}} \quad (2)$$

Burada: $Q_{süz}$ -sabit quyuağzı basqılı rejimdə sızma hesabına boru kəmərinə neftin sərfidir.

(1) və (2) ifadələrini müqayisə etməklə, boru kəmərinə neftin sərbəst və basqılı axın rejimlərində boşalma müddətlərinin nisbəti üçün aşağıdakı düsturu yazma bilərik:

$$\frac{t}{t_1} = \frac{2}{1 + \sqrt{\frac{P_{hid}}{P_{qa}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_{su}}}} \quad (3)$$

$t/t_1 = f\left(\frac{P_{hid}}{P_{qa}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_{su}}\right)$ asılılığını əks etdirən qrafik şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Neftin sərbəst və basqılı axın rejimlərində boşalma müddətlərinin nisbətini əks etdirən asılılıq

Sonuncu ifadədən və şəkil 1-dən görüldüyü kimi $P_{qa} = P_{hid}$ olduqda $t/t_1 = 1$, yəni $t = t_1$ alınır. Beləliklə, basqılı sızmalar zamanı borunun boşalma vaxtı t_1 sabit su dərinliyində quyuağzı təzyiqlin çoxalması ilə $\frac{2}{1 + \sqrt{\frac{P_{hid}}{P_{qa}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_{su}}}}$ əmsalına mütənəsib olaraq azalmış olacaqdır.

Mümkün alovlanma senariləri istisna olmaqla, neftin və neft məhsullarının nəzərə çarpmayan sızmalarının ekoloji nəticələri çox böyük olmasa da, neft sızması riskinin ehtimal qiymətləndirilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Ona görə ki, magistral neft kəmərləri potensial təhlükə mənbələrindən biri hesab edilir [4-6].

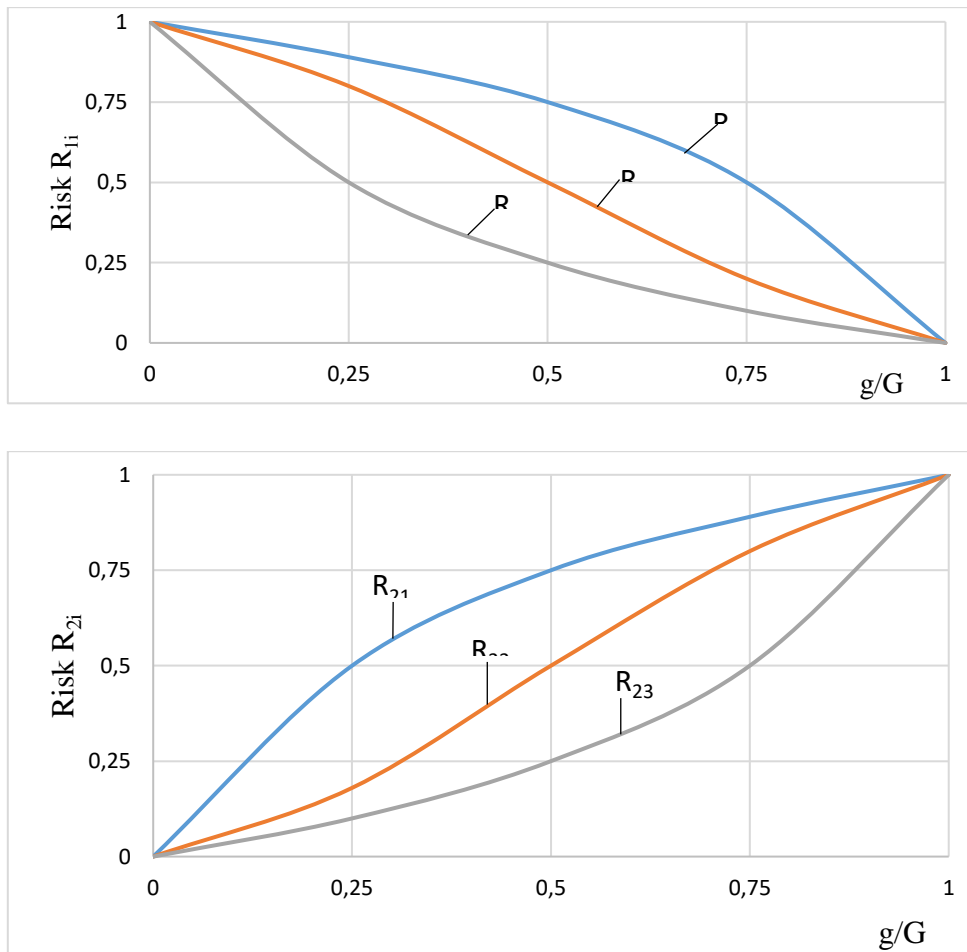
Bu zaman riskin səviyyəsi gözlənilən itkilərin miqyası və başvermə ehtimalından xeyli asılıdır. Neft dağılmalarının miqdarı çoxaldıqca ətraf mühitə dəyən ziyan və neft itkiləri artdığından

baş verəcək itkilərin və dəyən ziyanın ehtimalı da artmış olur. Odur ki, riskin qiymətləndirilməsi proseduru hər şeydən qabaq iki kəmiyyətin məlum olmasını nəzərdə tutur. Bu kəmiyyətlər qəza halından dəyən ziyanın qiyməti və bu hadisənin başvermə ehtimalıdır. Bir sıra hadisələr üçün inteqral riski bu hadisələrin risklərinin cəmi kimi təyin edilir. Bu zaman sonuncu hadisənin ehtimalı hadisələrin ehtimallarının hasili kimi təyin edilir. Neft kəmərlərinin mövcud olan istismar təcrübəsinə əsaslanaraq və boru kəmərlərindən neft dağılmalarının sinifləşməsinə uyğun olaraq ekoiqtisadi riskləri hesablamaq olar. Tutaq ki, qəza neft dağılması ($g, m^3/saat$) təşkil edir. Onda neftin dağılma dərəcəsi g/G (G – qəza halına kimi kəmərdə neftin sərfi, $m^3/saat$) olacaqdır. Qeyd olunanları və ehtimal nəzəriyyəsinin elementlərini nəzərə alaraq neft dağılmaları ilə bağlı ekoiqtisadi riskin (R) təyini üçün [7] yazmaq olar:

$$R = R_{1i} \cdot R_{2i} \cdot Z \quad (4)$$

Burada, R_{1i} – ekoloji nəticələri olan qəza neft dağılmalarının riski ; R_{2i} – obyektı sıradan və ya normal iş rejimindən çıxarmağa səbəb olan risk; Z – neft dağılmasından dəyən maksimal iqtisadi ziyandır.

Statistik təhlilə və məntiqi nəticəyə görə qəbul etmək olar ki, R_{1i} ehtimalı (riski) ilə neftin dağılma dərəcəsi arasında müxtəlif monoton olaraq azalan asılılıqlar mövcuddur (şəkil 2). Aydın ki, baxılan halda R_{2i} ehtimalı hansı ki, xüsusi qrup ekspertlər tərəfindən müəyyənləşdirilir, neftin dağılma dərəcəsi ilə asılı olaraq monoton olaraq artan asılılıqlarla ifadə olunacaqdır (şəkil 2).



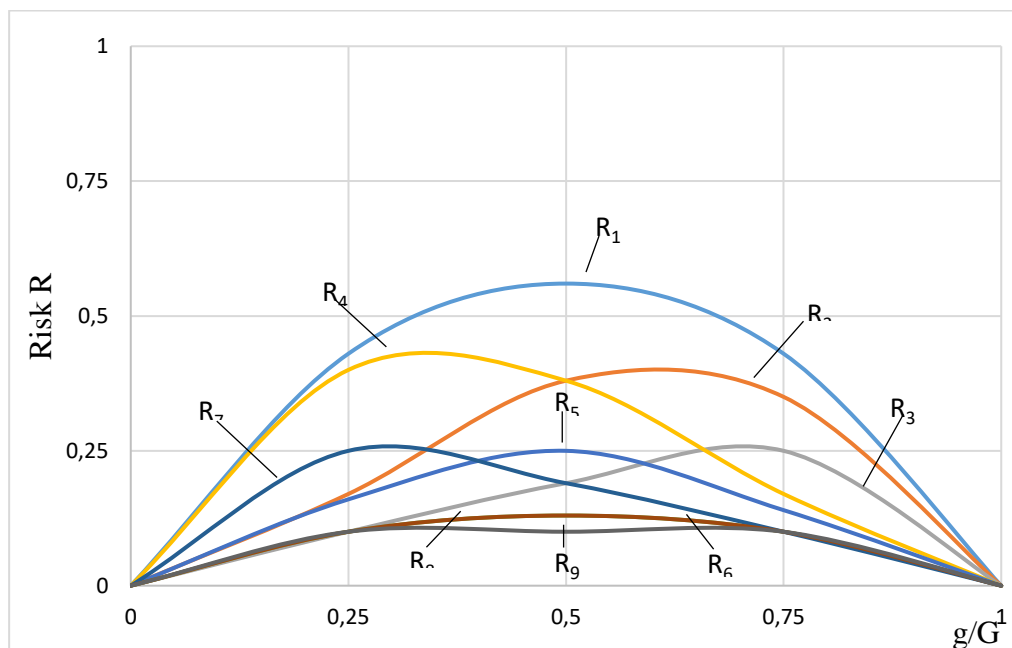
Şəkil 2. R_{1i} və R_{2i} risklərinin neft dağılmalarından asılılığı

R_{1i} və R_{2i} ehtimallarının dəyişməsinə nəzərə alaraq neftin dağılma dərəcəsi (g/G) əsli olaraq müxtəlif senarilər üçün mümkün olan 9 variant üzrə ekoloji-iqtisadi risklər (R) aşağıdakı kimi hesablanmışdır:

$$R_1 = R_{11} R_{21}; R_2 = R_{11} R_{22}; R_3 = R_{11} R_{23}; R_4 = R_{12} R_{21}; R_5 = R_{12} R_{22};$$

$$R_6 = R_{12} R_{23}; R_7 = R_{13} R_{21}; R_8 = R_{13} R_{22}; R_9 = R_{13} R_{23}.$$

Müxtəlif dağılma senariləri üçün bu risklərin hesablanmış qiymətlərinin necə dəyişməsi şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. Ekoloji-iqtisadi riskin neft dağılmalarından asılılığı

Şəkil 3-dən göründüyü kimi, baxılan variantlar üçün maksimal risk R_1 variantına uyğun olmaqla 0,56 təşkil edir. Bu risk neft dağılmasının $g/G = 50\%$ halına uyğun gəlir. Yəni, bu o deməkdir ki, $R_{max} = 0,56 \cdot Z$. Qeyd olunanla yanaşı, digər baxılan variantlar da araşdırılmalı və nəzərdən qaçmamalıdır. Məsələn, R_3 variantı üçün maksimal riskin aşağı (təqribən 0,25) olmasına baxmayaraq, böyük həcmli neft dağılmalarına aid olduğu üçün (təqribən 75%) nəticəsi çox acınacaqlı ola bilər.

Nəticə

Neftin çıxarılması və nəqli zamanı baş verən qəza neft dağılmalarının təsnifatı verilmiş və dəyən maddi-iqtisadi ziyan ayrı-ayrı, o cümlədən “gizli” sızma halları üzrə qiymətləndirilmişdir.

Qəza neft dağılmalarının kifayət qədər ekoloji və sosial-iqtisadi təsirlərlə nəticələndiyini nəzərə alaraq ekoloji və iqtisadi risk amilinin qiymətləndirilməsi üçün metodik yanaşma təklif olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, risklərin aşağı qiymətə malik olmasına baxmayaraq, böyük neft dağılmaları üçün xeyli təhlükəli hesab edilməlidir.

ƏDƏBİYYAT

1. Бронштейн, И.С., Грошев Б.М., Гурьянов А.Ф. Технологические потери нефти в системах промыслового обустройства и пути их сокращения // Нефтепромысловое дело и транспорт нефти, 1985, №9.
2. Зейналов, Э.А., Искендеров, Э.Х., Исмайылов Б.Г. "Об оценках величин незначительных утечек нефти при повреждении стояков подводных нефтегазопроводов". -Научно-технический журнал Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, № 4, - Moskva, август 2016, 54-57.
3. İskəndərov, E.X. Sualtı neft kəmərlərindən karbohidrogen sızmalarının qiymətləndirilməsi. "Mühəndis mexanikası", -Bakı, № 1-2, 2021, səh.20-26.
4. Шумайлов, А.С., Гумеров А.Г., Молдаванов, О.И. Диагностика магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1992, 252 с.
5. Булатов, А.Н. Охрана окружающей среды в нефтегазодобывающей промышленности. М., Недра, 1999, 240 с.
6. Байков, Н.М., Колесников, Б.В., Челпанов, П.И. Сбор, транспорт и подготовка нефти. М.: Недра, 1981, 357 с.
7. Грачева, М.В. Анализ проектных рисков. Учебное пособие. М., Недра, ЗАО «Финстатинформ», 1999, 295 с.

REFERENCES

1. Bronshteyn, I.S., Groshev B.M., Guryanov A.F. Tekhnologicheskie poteri nefiti v sistemakh promyslovogo obustroystva i puti ikh sokrasheniya // Neftepromyslovoe delo i transport nefiti, 1985, №9.
2. Zeynalov, E.A., İskenderov, E.Kh, İsmaylov, B.G. "Ob otchenkakh velichin neznachitelnekh utechek nefiti pri povrejdении stoyakov podvodnykh neftegazoprovodov". Nauchno-tekhnicheskiy jurnal Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa, № 4, Moskva, Avqust 2016, 54-57.
3. Iskenderov, E.Kh. Sualty neft kemerlerinden karbohidrogen syzmalarynyn giymetlendirilmesi. "Muhendis mekhanikasy", Baky, № 1-2, 2021, seh.20-26.
4. Shumaylov, A.S., Gumerov, A.G., Moldavanov, O.I. Diagnostika magistralnykh truboprovodov. M. : Nedra, 1992, 252 s.
5. Bulatov, A.N. Okhrana okrujayushey sredy v neftegazodobyvayushey promyshlennosti. M. : Nedra, 1999, 240 s.
6. Baykov, N.M., Kolesnikov, B.V., Chelpanov, P.İ. Sbor, transport i podgotovka nefiti. M. : Nedra, 1981, 357 s.
7. Gracheva, M.V. Analiz proektnykh riskov. Uchebnoe posobiye. M. : Nedra, ZAO "Finstatinform", 1999, 295 s.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC RISK IN HYDROCARBON GATHERING AND TRANSPORTATION

*Iskandarov E.Kh., Ismayilova H.G., Farzalizade Z.İ., Mammadova İ.E.
Azerbaijan State Oil and Industry University*

While small spills of oil and oil products do not have severe environmental consequences, the probability assessment of oil pipeline leakage risk is of great practical importance. The level of risk is assessed by the probability and magnitude of losses. The assessment procedure combines information about the damage caused by the accident and the probability of the accident. Environmental and economic risk assessment is carried out taking into account the operating practices of oil pipelines and classification indicators of leaks.

The article examines the diagnosis of environmental and economic risks associated with oil spills and the reduction of hydrocarbon losses in mining collection pipeline systems. In light of the probable nature of the risk, a novel approach was put forth for the evaluation of the ecological-operational parameters of oil collection and transportation systems.

Key words: *ecology, pipeline, transportation and storage of oil, flow regimes, oil spill, constant pressure, variable pressure, environmental risk, probability.*

Rəyçi: *t.f.d., dos. Ramazanov K.Ş.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
İskəndərov Elman Xeyrulla oğlu	Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (ADNSU)	Qaz-neft-mədən fakültəsinin dekanı, t.e.d., professor	e.iskenderov62@mail.ru (+994)50 214 62 14 (+994)12 498 88 46
İsmayılova Həcər Qafar qızı	(ADNSU)	Qaz-neft-mədən fakültəsi, t.e.d., доцент	ismailovahecer@bk.ru
Fərzəlizadə Zivər İsa qızı	(ADNSU)	Qaz-neft-mədən fakültəsinin dekan müavini, doktorant	zivar.farzalizade@mail.ru (+994)77 396 30 95
Məmmədova İradə Elşən qızı	(ADNSU)	Qaz-neft-mədən fakültəsinin tyutoru, doktorant	iradamammadova5325@gmail.com (+994)55 234 53 25

УДК 528.8

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1018

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРОТКОВОЛНОВОГО ИК ДИАПАЗОНА ДЛЯ ВЫСОТНОГО АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА

Алиева Г.В.

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

Статья посвящена анализу возможности использования коротковолнового инфракрасного (ИК) диапазона спектра электромагнитных волн для дистанционного зондирования поверхности Земли. Для осуществления активного и пассивного дистанционного зондирования наземных объектов могут быть использованы высотные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), снабженные ИК радиометрической аппаратурой, излучателем и приемником. При относительно широкополосном активном зондировании влияние водяных паров может быть учтено через двойное ослабление оптического потока влажностью воздуха. При широкополосном пассивном дистанционном зондировании наземных термальных объектов на коротковолновом инфракрасном диапазоне следует учесть одинарное ослабление из-за влияния относительной влажности и атмосферного аэрозоля. Положительная взаимосвязь τ_a и RH (т.е. если рост RH сопровождается ростом τ_a) является фактором, приводящим к максимальному уменьшению отраженного сигнала при пассивном дистанционном зондировании термальных наземных объектов.

Ключевые слова: *коротковолновый инфракрасный диапазон, ослабление оптического сигнала, водяные пары, относительная влажность, атмосферный аэрозоль.*

Введение

Как отмечается в работе [1], общие капитальные вложения в сферу БПЛА возрастает с 26,2 миллиардов USD в 2022 г до 38,3 миллиардов в 2027 г., что объясняется широким применением беспилотников в таких областях как охрана окружающей среды, обеспечение безопасности жизнедеятельности человека, сбор данных различного назначения. БПЛА в настоящее время широко используются в таких сферах человеческой деятельности как точное земледелие, управление транспортом, оказание помощи в чрезвычайных ситуациях, строительство, оптические системы коммуникации, и др. [2].

Вместе с тем, эффективность использования БПЛА в значительной степени зависит от диапазона используемого спектра электромагнитных волн. Традиционное использование видеоинформационного оборудования, установленного на БПЛА в видимом, ближнем ИК и термальном диапазонах, можно сказать, достигло своего совершенства в плане учета различных внешних влияний, в основном влияния атмосферы.

В последнее время наблюдается рост исследовательских работ, посвященных использованию коротковолнового инфракрасного диапазона электромагнитных волн для реализации дистанционного зондирования с применением различных носителей [3,4]. Этому также способствовали появление высокоэффективных сенсоров, изготовленных на базе

InGaAs, HgCdTe, InGeAs, имеющих высокую квантовую эффективность и низкий темновой ток.

Вместе с тем, основной проблемой коротковолнового ИК диапазона является наличие в нём полос поглощения водяных паров на длинах волн 0,938 мкм; 1,13 мкм; 1,38 мкм; 1,88 мкм; 2,68 мкм. Однако, такое ограничение спектра электромагнитных волн в коротковолновом ИК диапазоне вовсе не мешает проведению дистанционного зондированию многих объектов на поверхности земли, например исследованию влажности почвы на длинах волн 1,1 и 1,6 мкм. В качестве примера на рисунке 1 приведены результаты таких исследований [3].

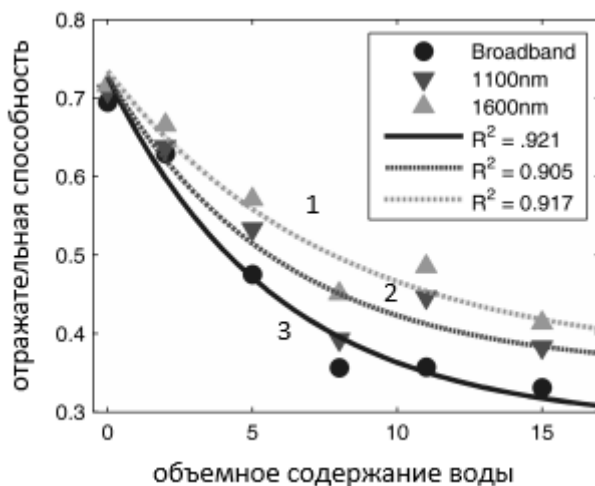


Рисунок 1. Кривые отраженного от почвы электромагнитного сигнала на длинах волн 1600 нм (1); 1100 нм (2); сигнал широкополосного диапазона (3)

Вместе с тем, как было сказано выше, коротковолновый ИК диапазон пригоден для проведения дистанционного зондирования как в активном, так и в пассивном режимах. Так, например, согласно работе [4], если зондировать поверхность земли лазером, установленным на каком-либо носителе, то фотоприемное устройство, установленное также на нем, выдаст сигнал Q , определяемый по формуле

$$Q = \frac{ED^2 t_1 \rho}{4L \exp(2\alpha_{\Sigma} L)} \quad (1)$$

где E - энергия излучения лазера; L - дальность до цели; α_{Σ} - коэффициент потерь в атмосфере; D - диаметр входного зрачка; t_1 - коэффициент пропускания приемной оптической системы; ρ - коэффициент отражения цели.

Как видно из формулы (1) единственное внешнее воздействие, влияющее на качество формируемого изображения на приемном устройстве, является влияние атмосферы, т.е. ослабление электромагнитного сигнала различными составляющими атмосферы, отображаемое в (1) коэффициентом α . В общем случае α может быть представлена в качестве суммы

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \quad (2)$$

где α_1 - ослабление сигнала из-за влияния аэрозоля; α_2 - ослабление сигнала из-за влажности воздуха; α_3 - ослабление сигнала из-за влияния атмосферных газов.

Вместе с тем, углубленный анализ факторов, входящих в формулу (3), приводит к необходимости коррекции этого выражения, учитывая фактическое взаимодействие аэрозоля и водяных паров в атмосфере. При проведении относительно широкополосных коротковолновых инфракрасных измерений также следует учесть ослабляющее влияние относительной влажности воздуха. Далее в настоящей статье анализируются особенности учета таких ослабляющих воздействий.

Материалы и методы

В целом, в скорректированном виде формулу (2) можно записать следующим образом

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \pm \Delta\alpha \quad (3)$$

где $\Delta\alpha$ -составляющая потеря, характеризующая взаимосвязь атмосферного аэрозоля и водяных паров, определяющих относительную влажность воздуха.

Отметим, что далее составляющую α_3 будем считать стабильной и с учетом временных изменений $\alpha_{\Sigma}, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и $\Delta\alpha$ формулу (3) перепишем в виде

$$\alpha_{\Sigma}(t) = \alpha_1(t) + \alpha_2(t) + \alpha_3 \pm \Delta\alpha(t) \quad (4)$$

Если физической процесс увлажнения аэрозоля принять в качестве основного механизма взаимовлияния аэрозоля и водяных паров, то первые две составляющие в формуле (4) могут быть записаны в виде двучленов, т.е.

$$\alpha_1(t) = \alpha_1(t_0) + \Delta\alpha_1(t_1) \quad (5)$$

$$\alpha_2(t) = \alpha_2(t_0) - \Delta\alpha_2(t_1) \quad (6)$$

где $\Delta\alpha_1(t_1)$ -увеличение потерь сигнала из-за увлажнения аэрозоля; $\Delta\alpha_2(t_1)$ -уменьшение потерь сигнала из-за понижения относительной влажности по причине расхода части влаги в процесс увлажнения аэрозоля.

С учетом выражений (1)-(2) получим

$$\alpha_1(t) = \alpha_1(t_0) + \alpha_2(t_0) + [\Delta\alpha_1(t_1) - \Delta\alpha_2(t_1)] \quad (7)$$

Отметим, что влияние аэрозольного загрязнения и изменение влажности воздуха на величину коротковолновой ИК инсоляции подробно было исследовано в работе [5]. Основные результаты этих исследований отображены на рисунках 2 и 3.

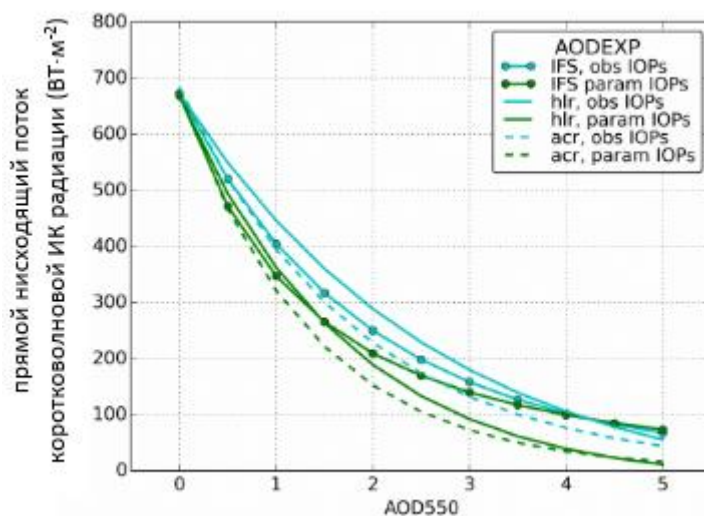


Рисунок 2. Зависимость поступающей на Землю коротковолновой ИК радиации от оптической толщины атмосферного аэрозоля на длине волны 550 нм

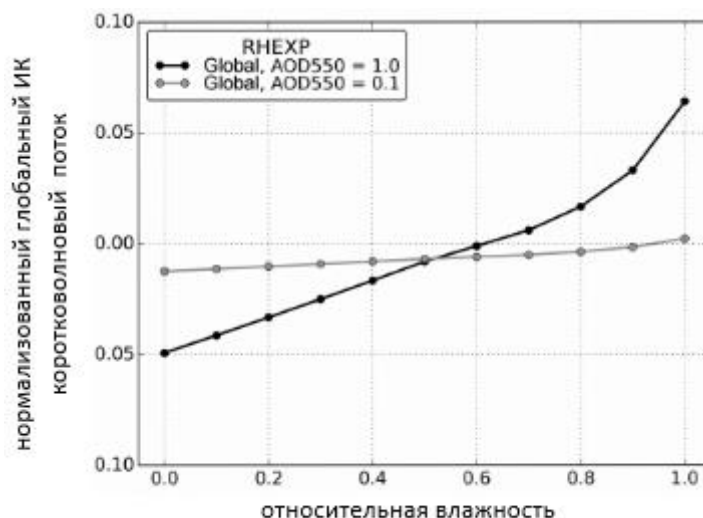


Рисунок 3. Зависимость поступающей на поверхность Земли коротковолновой ИК радиации от величины относительной влажности воздуха

Как видно из графиков, представленных на рисунках 2 и 3 увеличение оптической плотности аэрозоля приводит к ослаблению потока коротковолнового ИК излучения, поступающего на поверхность Земли. Вместе с тем, при увеличении относительной влажности, в условиях сильной аэрозольной загрязненности атмосферы обнаруживается некоторый рост указанного радиационного потока. Таким образом обнаруживается двойное влияние относительной влажности Земли потока коротковолновой ИК радиации:

1. Ослабление исходного потока ИК коротковолновой радиации.

2. Возможное усиление указанного потока в аэрозольном слое атмосферы из-за частичной траты влаги на увлажнение атмосферного аэрозоля. Однако, в целом, наблюдается уменьшение потока ИК коротковолнового излучения из-за слабости эффекта его усиления.

Рассмотрим возможность параметризации указанного процесса на примере пассивного дистанционного зондирования объектов на поверхности Земли.

Согласно работе [6], ослабление поступающего на вход ИК радиометра коротковолновой ИК радиации I_0 может быть учтено с помощью следующего выражения

$$I(RH) = I_0(1 - RH)^b \quad (8)$$

где RH - относительная влажность; I_1 - ослабленная величина поступающей на вход радиометра коротковолновой ИК радиации; b - эмпирический коэффициент.

В то же время, известно, что ослабление оптических радиационных потоков подчиняется закону Бугера-Бера, согласно которому оптический радиационный поток, излучаемый наземным объектом, определяется как

$$I_1 = I_H \exp(-\alpha_{\Sigma} L_0) \quad (9)$$

С учетом вышеизложенного рассмотрим возможность оптимизации высотного пассивного дистанционного зондирования тепловых объектов на Земле с помощью коротковолнового ИК спектрометрического радиометра установленного на БПЛА. Упрощенная схема проводимых измерений показана на рисунке 4.

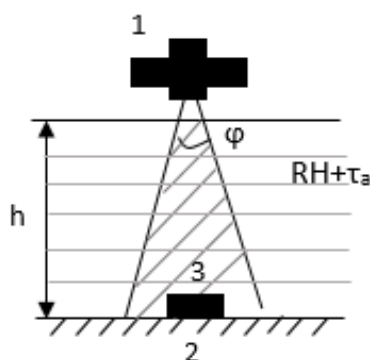


Рисунок 4. Упрощенная схема проведения пассивного дистанционного зондирования термального объекта в коротковолновом ИК диапазоне с помощью высотного БПЛА, оборудованного ИК спектрометрией

Условные обозначения: 1-БПЛА; φ -угол обзора; h -высота полета; 2-земля; 3-исследуемый объект. Далее считаем, что в атмосферном слое толщиной h в основном содержится вся влага, которая накапливается в приземном слое высотой 6-7 км [7]. В этой же толще атмосферы содержится основная масса тропосферного аэрозоля. В рассматриваемом случае формулу (9) можно переписать как

$$I_1 = I_H \exp[-m(\tau_a + \tau_{\text{в.п.}})] = [I_H \exp[-m\tau_a]] \cdot T_{\text{в.п.}} \quad (10)$$

где $T_{\text{в.п.}}$ -пропускание водяных паров, определяемое как

$$T_{\text{в.п.}} = \exp[-m\tau_{\text{в.п.}}] \quad (11)$$

Как было указано выше, в коротковолновом ИК диапазоне водяные пары сильно поглощают оптическую радиацию в пяти дискретных спектральных зонах. Если ослабление коротковолновой радиации считать равномерным во всем спектральном диапазоне коротковолновой ИК радиации, то формулу (10) с учетом (8) перепишем как

$$I_1 = [I_H \exp[-m\tau_a]](1 - RH)^b \quad (12)$$

Вместе с тем, τ_a и RH являются относительно независимыми показателями и нахождение такой взаимосвязи между τ_a и RH , при которой I_1 достиг бы максимума представляет определенный интерес.

Далее рассматриваем случай, когда RH изменяется в диапазоне $(RH_{\min} - RH_{\max})$. Введем на рассмотрение гипотетическую функцию взаимосвязи

$$\tau_a = f(RH) \quad (13)$$

и определим оптимальный вид функции (13), при которой интегральный ИК оптический поток, вычисляемый в качестве нижеприведенного интеграла, достиг бы экстремума

$$I_0 = \int_0^{RH_{\max}} I_H [\exp[-m\tau_a]] (1 - RH)^b dRH \quad (14)$$

Для вычисления оптимального вида функции $f(RH)$ применим к ней следующее ограничительное условие

$$\int_0^{RH_{\max}} f(RH) dRH = C \quad (15)$$

С учетом выражений (13) и (14) составим целевой функционал безусловной вариационной оптимизации

$$I_2 = \int_0^{RH_{\max}} I_H [\exp[-mf(RH)]] (1-RH)^b dRH + \lambda \left[\int_0^{RH_{\max}} f(RH) dRH - C \right] \quad (16)$$

Решение оптимизационной задачи (16) согласно [8] должно удовлетворять условию

$$\frac{d\{I_H [\exp[-mf(RH)]] (1-RH)^b + \lambda f(RH)\}}{df(RH)} = 0 \quad (17)$$

Из условия (17) находим

$$I_H [\exp[-mf(RH)]] (-m)(1-RH)^b + \lambda = 0 \quad (18)$$

Из выражения (18) находим

$$\exp[-mf(RH)] = \frac{\lambda}{I_H m (1-RH)^b} \quad (19)$$

Из выражения (19) получим

$$f(RH) = \frac{1}{m} \ln \left[\frac{\lambda}{I_H m (1-RH)^b} \right] \quad (20)$$

Таким образом, при решении (20) функционал (16) достигает минимума, т.к. производная выражения (18) по $f(RH)$ оказывается всегда положительной величиной.

Для вычисления величины λ можно воспользоваться выражениями (15) и (20). Вставив выражение (20) в (15) получим

$$\int_0^{RH_{\max}} \ln(\lambda) dRH - \int_0^{RH_{\max}} \ln[I_H m (1-RH)^b] dRH = C_1; C_1 = Cm \quad (21)$$

Из выражения (21) получим

$$\lambda = \exp \left[\frac{C_1 - \int_0^{RH_{\max}} \ln[I_H m (1-RH)^b] dRH}{RH_{\max}} \right] \quad (22)$$

Таким образом, решение (20), (21) применительно к рассматриваемой задаче является условием максимального ослабления зондирующего сигнала и такой взаимосвязи изменения RH и τ_a следует избегать.

Обсуждение

Проанализированы возможности использования коротковолнового ИК диапазона для осуществления активного и пассивного дистанционного зондирования наземных объектов с использованием высотных БПЛА, снабженных ИК радиометрической аппаратурой, излучателем и приемником. Показано, что в случае активного зондирования используется бортовой лазерный излучатель, оптический поток излучения которого ослабляется за счет атмосферного аэрозоля и водяных паров на выбранной длине волны излучения. При этом влияние водяных паров может быть учтено эквивалентным ослаблением оптического потока относительной влажности воздуха. При пассивном дистанционном зондировании наземных термальных объектов на относительно широких спектральных диапазонах возможно максимальное ослабление оптической входной радиации спектрорадиометра при синхронном изменении атмосферного аэрозоля и относительной влажности воздуха.

Основные выводы

1. При пассивном дистанционном зондировании термальных земных объектов в относительно широкой полосе длин волн, влияние водяных паров на оптический сигнал может быть исследовано с учетом влияния относительной влажности атмосферы.

2. Отрицательная взаимосвязь τ_a и RH (т.е. если рост τ_a из-за увлажнения является фактором, приводящим к уменьшению относительной влажности) может привести к некоторому увеличению отраженного сигнала при пассивном дистанционном зондировании термальных наземных объектов.

3. Положительная взаимосвязь τ_a и RH (т.е. если рост RH сопровождается ростом τ_a) является фактором, приводящим к максимальному уменьшению отраженного сигнала при пассивном дистанционном зондировании термальных наземных объектов.

REFERENCES

1. Yan X., Fu T., Lin H., Xuan F., Huang Y., Cao Y., Hu H., Liu P. UAV detection and tracking in urban environments using passive sensors: a survey// Appl. Sci. 2023. 13. <https://doi.org/10.3390/app132011320>.
2. Jagadeesh G. UAB-based object detection and tracking: real-world applications// International journal of research publication and reviews. Vol. 4. No 12. Pp. 4744-4753. 2023.
3. Stark B., McGee M., Chen Y. Short wave infrared (SWIR) imaging systems using small unmanned aerial systems (sUAS)// 2015 international conference on unmanned aircraft systems (ICUAS). June 9-12. 2015.
4. Makarov E. V., Kil' I. A., Pogorelov M. G. Otsenka obnaruzheniya ob'ektov korotkovolnovym infrakrasnym kanalom // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 12. 2021.
5. Gleeson E., Toll V., Nielsen K. P., Rontu L., Masek J. Effects of aerosols on clear-sky solar radiation in the ALADIN-HIRLAM NWP system// Atmos. Chem. Phys. 16. 5933-5948. 2016.
6. Lindauer M., Schmid H. P., Grote R., Steinbrecher R., Mauder M. A simple new model for incoming solar radiation dependent only on screen-level relative humidity// American Meteorological society. 2017.

7. Fountoulakis H., Papachristopoulou K., Proestakis E., Amiridis V., Kontoes C., Kazadzis S. Effect of aerosol vertical distribution on the modeling of solar radiation// Remote Sens. 2022. 14. 1143. <https://doi.org/10.3390/rs14051143>.

YÜKSƏK HÜNDÜRLÜKDƏ AKTİV VƏ PASSİV MƏSAFƏDƏN ZONDLAMADA PUA-LARIN QISA DALĞALI İQ DİAPOZONDA İSTİFADƏ MƏSƏLƏLƏRİ

Əliyeva G.V.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Məqalə, elektromaqnit spektrinin qısa dalğa uzunluqlu infraqırmızı sahəsinin Yer məsafədən zondlamaq üçün istifadəsinin mümkünlüyünün təhlilinə həsr olunub. Torpaq obyektlərinin aktiv və passiv məsafədən zondlanması üçün İQ radiometrik avadanlıq, ötürücü və qəbul edici ilə təchiz olunmuş yüksək yüksəklikli PUA-lardan istifadə oluna bilər. Nisbətən geniş zolaqlı aktiv zondlama zamanı su buxarının təsiri havadakı rütubət səbəbindən optik axının ikiqat zəifləməsi ilə nəzərə alınır. Qısa dalğa uzunluqlu infraqırmızı sahədə torpaq istilik obyektlərinin geniş zolaqlı passiv məsafədən zondlanmasında, nisbi rütubətin təsirindən yaranan tək zəifləmə və atmosfer aerozolları səbəbindən zəifləmə nəzərə alınmalıdır. τ_a və RH arasında müsbət korrelyasiya (yəni, RH artdıqca τ_a -nın artması) passiv məsafədən zondlama zamanı istilik torpaq obyektlərinin əks olunan signalının maksimum azaldılmasına səbəb olan faktordur.

***Açar sözlər:** qısa dalğa uzunluqlu infraqırmızı sahə, optik signalın zəifləməsi, su buxarı, nisbi rütubət, atmosfer aerozolu.*

ISSUES OF USING THE SHORT-WAVE IR RANGE FOR HIGH- ALTITUDE ACTIVE AND PASSIVE REMOTE SENSING USING UAVS

Aliyeva G.V.

Azerbaijan State University of Oil and Industry

The article is dedicated to the analysis of the possibility of using the short-wavelength infrared range of the electromagnetic spectrum for remote sensing of the Earth's surface. For active and passive remote sensing of terrestrial objects, high-altitude UAVs equipped with IR radiometric equipment, an emitter, and a receiver can be used. In the case of relatively broadband active sensing, the influence of water vapor can be accounted for through the double attenuation of the optical flow due to air humidity. In broadband passive remote sensing of terrestrial thermal objects in the short-wavelength infrared range, the single attenuation due to the effect of relative humidity and attenuation due to atmospheric aerosols should be considered. The positive correlation between τ_a and RH (i.e., an increase in RH accompanied by an increase in τ_a) is a factor leading

to the maximum reduction of the reflected signal in passive remote sensing of thermal terrestrial objects.

Key words: short-wavelength infrared range, optical signal attenuation, water vapor, relative humidity, atmospheric aerosol.

Рецензент: *t.e.d., prof. Abdullayev X.İ.*

Сведение об авторе

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Ученая степень, ученое звание, должность	Контакты
Алиева Гюнель Вагиф кызы	Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности	Доцент кафедры «Приборострое- ние», к. т. н.	aliyeva.gunel.vqf@gmail.com mob: (+994) 050-284-39-54

CİHAZQAYIRMA

UOT: 623

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1021

LİNGLİ FƏZA MEXANİZMLƏRİNİN XARAKTERİK NÖQTƏLƏRİNİN TƏCİLİNİN TƏYİNİ ÜÇÜN 3D KOMPÜTER MODELİ ƏSASINDA YENİ QRAFİKİ ÜSUL

Mustafayev M.R., Pənahova N.C., Rəhimova S.M.

Милли Авиаци́я Академи́асы

Məqalədə lingli fəza mexanizmlərinin xarakterik nöqtələrinin mütləq və ayrı-ayrı nöqtələrinin biri-birinə nəzərən nisbi təcilinə təyini üçün 3D kompüter modelinə əsaslanmış sadə, nəzəri cəhətdən əsaslandırılmış, praktiki məsələlərin həllinə dair kifayət qədər dəqiqliyə malik yeni qrafik üsul təklif olunur. Bu üsulün əsas mahiyyəti ondan ibarətdir ki, OXYZ koordinat sistemində hərəkət edən M nöqtəsinin istənilən andakı vəziyyəti, O koordinat başlanğıcından M nöqtəsinə çəkilmiş \vec{r} radius-vektoru ilə və \vec{r} – in zamandan asılılığı isə mexanizmin aparan bəndin biri-birindən $\Delta\varphi$ qədər fərqlənən ($\Delta\varphi = 0.005 \div 0.05^\circ$) üç vəziyyətinə ($\varphi_1 = \varphi_0 - \Delta\varphi$, $\varphi_2 = \varphi_0$, $\varphi_3 = \varphi_0 + \Delta\varphi$) uyğun vəziyyətlər planının 3D kompüter modelinin qurulması ilə təmin edilir. Hərəkət edən nöqtə τ zaman anında \vec{r} radius-vektoru ilə müəyyən olunan M vəziyyətindən, τ_1 zaman anında \vec{r}_1 vektoru ilə müəyyən olunan M_1 vəziyyətinə keçərsə $\Delta\tau = \tau_1 - \tau$ müddətində yerdəyişmə \vec{MM}_1 vektoru ilə müəyyən edilir və bu vektor nöqtənin yerdəyişmə vektoru adlanır və bu vektorun uyğun zaman fasiləsinə nisbəti vektorial kəmiyyət olub, $\Delta\tau$ zaman fasiləsində nöqtənin qiymət və istiqamət üzrə orta sürətini verir. τ zaman anında \vec{v} sürəti ilə hərəkət edən nöqtə, M vəziyyətindən, τ_1 zaman anında \vec{v}_1 sürəti olan M_1 vəziyyətinə keçərsə, $\Delta\tau = \tau_1 - \tau$ müddətində nöqtənin sürəti $\Delta\vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}$ qədər dəyişir. $\Delta\vec{v}$ vektorunu M nöqtəsindən \vec{v}_1 vektoruna bərabər vektor keçirərək və diaqonalı \vec{v}_1 olan paraleloqramı qurmaqla müəyyən etmək və ondan istifadə etməklə təcil müəyyən etmək olar. Həmçinin üçölçülü kompüter modeli əsasında ilk dəfə olaraq təcillər planının qurulma qaydası işlənmiş və ondan istifadə edərək beşbəndli fəza dirsək-mancanaq mexanizminin təcil planının üçölçülü kompüter modeli qurulmuşdur. Təklif olunan üsulla alınmış nəticələrin doğruluğu, tapılmış təcil vektorları əsasında, mexanizmin qurulmuş təcillər planının bir nöqtədə qapanması ilə və ədədi üsullarla hesablanmış qiymətlərlə müqayisə edilərək təsdiqlənmişdir.

Açar sözlər: fəza mexanizmi, dirsək-mancanaq mexanizmi, kinematik analiz, 3D sürət planı, 3D təcil planı, kompüter modeli, qraf-analitik üsul, AutoCAD.

Lingli fəza mexanizmləri lingli yastı mexanizmlər ilə müqayisədə üstünlüklərə malik olmaqla yanaşı, böyük sürətlərdə maşının işini etibarlı şəkildə təmin edir və bundan əlavə kəşişən və çarpaz oxlar arasında hərəkəti azsaylı bəndlər və sürtünən səthlər vasitəsi ilə ötürmək imkanına malikdir.

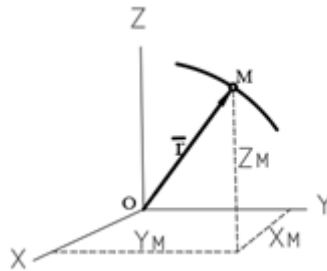
Qeyd olunan bu üstünlüklərə baxmayaraq, lingli fəza mexanizmləri hələ də layiq olduğu tətbiq sahəsi tapmamışdır. Bunun əsas səbəbi kimi, bu mexanizmlərin sintez və analiz üsullarının

mürəkkəbliyi və lazımınca işlənilməməsi göstərilir [1-3]. Xüsusən, bu mexanizmlərin dinamik tədqiqi üçün, xüsusi əhəmiyyət kəsb edən, xarakterik nöqtələrin təcilinin təyin edilməsinə dair tədqiqat işləri yox səviyyəsindədir. Başqa sözlə, lingli fəza mexanizmlərinin sintez və analizi üçün yeni üsulların işlənilməsinə ehtiyac vardır.

İşin məqsədi: *Lingli fəza mexanizmlərinin xarakterik nöqtələrinin təcilinin təyini üçün müasir kompüter texnologiyalarına əsaslanmış yeni, sadə və kifayət qədər dəqiq üsulun işlənilməsidir.*

Məlumdur ki, ümumi halda bərk cismin sürət və təcilinin qiymət və istiqamətinin təyin olunmasının nəzəri əsasları nəzəri mexanika kursunda verilmişdir [4]. Bu materiallar əsasında fəza lingli mexanizmlərinin 3D kompüter modeli əsasında, xarakterik nöqtələrinin kinematik parametrlərini təyin etmək imkanını nəzərdən keçirək.

Fərz edək ki, M nöqtəsi $OXYZ$ koordinat sistemində hərəkət edir. Nöqtənin istənilən andakı vəziyyəti, O koordinat başlanğıcından M nöqtəsinə çəkilmiş \vec{r} radius-vektorunu verməklə müəyyən etmək olar (şəkil 1).



Şəkil 1. Nöqtənin hərəkət qanununun müəyyən edilməsinə dair sxematik təsviri

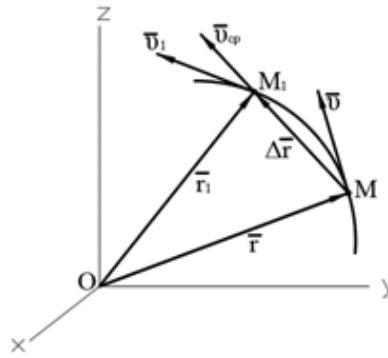
M nöqtəsinin hərəkəti zamanı, \vec{r} vektoru qiymət və istiqamətcə dəyişir. Beləliklə, \vec{r} zamandan (τ) asılı dəyişən vektordur (vektor-funksiya):

$$\vec{r} = \vec{r}(\tau) \quad (1)$$

Tənlik (1) həmçinin vektor formasında nöqtənin hərəkət qanununu müəyyən edir, belə ki, istənilən anda \vec{r} vektorunu qurub, hərəkət edən nöqtənin vəziyyətini müəyyən etmək mümkündür. Vektorun uc nöqtələrinin həndəsi yeri isə nöqtənin hərəkət trayektoriyasını müəyyən edir.

Beləliklə, \vec{r} – in τ dan asılılığının (1) məlum olması üçün, nöqtənin X_M, Y_M, Z_M koordinatları zamanın funksiyası kimi məlum olmalıdır. Mexanizmin 3D kompüter modeli qurulmuş olarsa onun istənilən anda istənilən nöqtəsinin koordinatlarını müəyyən etmək mümkündür.

Məlumdur ki, nöqtənin sürəti vektorial kəmiyyətdir. İlk növbədə hər hansı zaman intervalında orta sürət anlayışına baxaq. Fərz edək ki, hərəkət edən nöqtə τ zaman anında \vec{r} radius-vektoru ilə müəyyən olunan M vəziyyətindən, τ_1 zaman anında \vec{r}_1 vektoru ilə müəyyən olunan M_1 vəziyyətinə keçir (şəkil 2). Onda $\Delta\tau = \tau_1 - \tau$ müddətində yerdəyişmə \overline{MM}_1 vektoru ilə müəyyən edilir (bu vektoru nöqtənin yerdəyişmə vektoru adlandıraraq). Əgər nöqtə əyri xətlə hərəkət edərsə bu vektor \overline{MM}_1 boyunca, nöqtə düz xətlə hərəkət edərsə trayektoriya boyunca istiqamətlənər.



Şəkil 2. Nöqtənin sürət vektorunun təyin edilməsinə dair sxematik təsviri

OMM₁ üçbucağından görüldüyü kimi, $\vec{r} + \overline{MM}_1 = \vec{r}_1$ olur və uyğun olaraq, $\overline{MM}_1 = \vec{r}_1 - \vec{r} = \Delta\vec{r}$.

Nöqtənin yerdəyişmə vektorunun uyğun zaman fasiləsinə nisbəti vektorial kəmiyyət olub, $\Delta\tau$ zaman fasiləsində nöqtənin qiymət və istiqamət üzrə orta sürətini verir:

$$\bar{v}_{or} = \frac{\overline{MM}_1}{\Delta\tau} = \Delta\vec{r}/\Delta\tau \quad (2)$$

\bar{v}_{or} vektorunun istiqaməti \overline{MM}_1 vektoru ilə eynidir.

Aydın ki, orta sürətin hesabı üçün $\Delta\tau$ zaman intervalı nə qədər kiçik olarsa \bar{v}_{or} nöqtənin hərəkətini daha dəqiq xarakterizə edir. Hərəkəti daha dəqiq xarakterizə etmək üçün nöqtənin ani sürəti anlayışından istifadə olunur.

Nöqtənin ani sürəti \vec{v} vektorial kəmiyyətdir, və $\Delta\tau$ sıfıra yaxınlaşdıqda \bar{v}_{or} aldığı qiymətdir:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} (\bar{v}_{or}) = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta\tau}$$

$\Delta\vec{r}/\Delta\tau$ nisbətinin $\Delta\tau \rightarrow 0$ halında limiti \vec{r} vektorundan zamana görə birinci tərtib törəməsidir.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{d\tau} \quad (3)$$

Beləliklə, nöqtənin ani sürət vektoru radius-vektordan zamana görə alınmış birinci tərtib törəməsidir.

Nöqtənin təcili vektorial kəmiyyət olub, sürət dəyişməsinin bu dəyişmənin baş verdiyi zaman fasiləsinə nisbətini xarakterizə edir.

İlk növbədə hər hansı zaman intervalında orta təcil anlayışına baxaq. Fərz edək ki, τ zaman anında \vec{v} sürəti ilə hərəkət edən nöqtə, M vəziyyətindən, τ_1 zaman anında \vec{v}_1 sürəti olan M₁ vəziyyətinə keçir (şəkil 3). Onda $\Delta\tau = \tau_1 - \tau$ müddətində nöqtənin sürəti $\Delta\vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}$ qədər dəyişir. $\Delta\vec{v}$ vektorunu qurmaq üçün M nöqtəsindən \vec{v}_1 vektoruna bərabər vektor keçirək və diaqonalı \vec{v}_1 olan paraleloqramı quraq. Aydın ki, bu halda ikinci tərəf $\Delta\vec{v}$ vektorunu təsvir edəcək. Qeyd edək ki, $\Delta\vec{v}$ vektoru həmişə trayektoriyanın əyildiyi istiqamətə yönəlir.

Sürət dəyişməsinin ($\Delta\vec{v}$) bu dəyişməyə sərf olunan zamana nisbəti ($\Delta\tau$) bu müddət ərzindəki orta təcili müəyyən edir:

$$a_{or} = \Delta\vec{v}/\Delta\tau \quad (4)$$

Orta təcil vektoru $\Delta\bar{v}$ vektoru ilə eyni istiqamətə yönəlir. Nöqtənin ani təcili vektoru orta təcil vektorunun $\Delta\tau$ vaxtının sıfıra yaxınlaşdığı zaman aldığı qiymətidir.

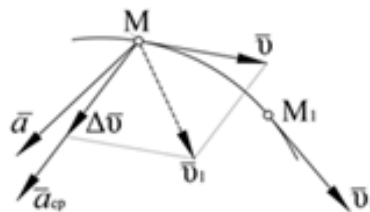
$$\bar{a} = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta\bar{v}}{\Delta\tau} = d\bar{v}/d\tau$$

və ya (3) ifadəsini nəzərə almaqla

$$\bar{a} = d\bar{v}/d\tau = \frac{d^2\bar{r}}{d\tau^2}. \quad (5)$$

Beləliklə, nöqtənin ani təcil vektoru sürət vektorundan zamana görə birinci tərtib törəməsi və ya nöqtənin radius-vektorundan zamana görə ikinci tərtib törəməsidir.

Tənlik (5)-dən göründüyü kimi, nöqtənin təcil vektoru \bar{a} həmçinin $d\bar{v}$ sürət vektorunun elementar dəyişməsinin bu dəyişməyə sərf olunan $d\tau$ zamanına nisbəti kimi də təyin oluna bilər. Nöqtənin trayektoriyasına nəzərən \bar{a} vektorunun necə yerləşməsinə baxaq. Nöqtənin düz xətti hərəkəti zamanı \bar{a} vektoru nöqtənin hərəkət etdiyi düz xətt boyunca yönəlir. Əgər nöqtənin trayektoriyası müstəvi əyrdirsə, \bar{a} təcil vektoru və \bar{a}_{op} trayektoriya müstəvi üzərində əyrinin əyilmə istiqamətinə yönəlmiş olur. Əgər trayektoriya fəza əyrisidirsə \bar{a}_{op} M nöqtəsində əyriyə toxunandan və qonşu nöqtədə əyriyə çəkilmiş toxunana paralel xətdən keçən müstəvi üzərində olub əyrinin əyilmə istiqamətinə istiqamətlənir (şəkil 3).



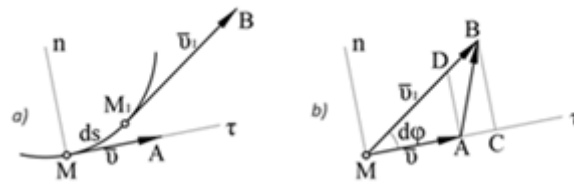
Şəkil 3. Nöqtənin təcil vektorunun təyin edilməsinə dair sxematik təsvir

Əgər M_1 nöqtəsi M nöqtəsinə sonsuz yaxınlaşarsa toxunanın sonsuz kiçik dönməsi alınır və \bar{a} təcil vektoru $M\tau$ müstəvisi üzərində olur və əyrinin əyilmə istiqamətinə yönəlir.

Odur ki, \bar{a} vektorunun binormal üzərindəki proyeksiyası sıfıra bərabərdir. Digər iki ox üzərindəki proyeksiyalarına baxaq. Bu məqsədlə (5) bərabərliyinin hər iki tərəfini $M\tau$ və Mn oxlarına proyeksiyalayıb $(d\bar{v})_\tau$ və $(d\bar{v})_n$ işarə etsək alarıq:

$$a_\tau = \frac{(d\bar{v})_\tau}{d\tau}, \quad a_n = \frac{(d\bar{v})_n}{d\tau} \quad (6)$$

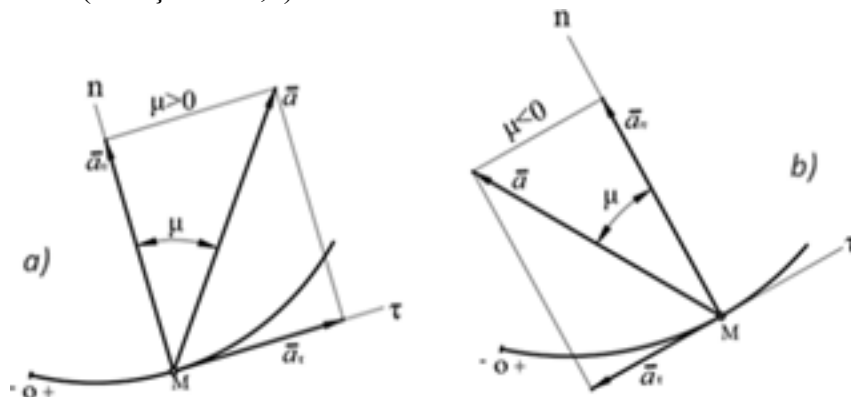
Vektor $d\bar{v}$ M və M_1 iki qonşu nöqtələr arasındakı sürətlər fərqi (şəkil 4), $dv = v_1 - v$. Eyni bir başlanğıcdan M nöqtəsindən $\bar{v} = \overline{MA}$ və $v_1 = \overline{MB}$ vektorlarını çəksək (şəkil 4 b) $dv = \overline{AB}$, $ACBD$ fiquruna $d\varphi$ – nin sonsuz kiçik qiymətlərində düzbucaqlı kimi baxmaq olar. Buradan $(d\bar{v})_\tau = AC = DB = MB - MA = v_1 - v = dv$, dv -sürətin ədədi qiymətinin elementar dəyişməsidir.



Şəkil 4. Nöqtənin təcilinin toplananlara ayrılma sxemi

Beləliklə, əyrixətli hərəkətdə sürətin həm qiyməti, həm də istiqaməti dəyişir. Ona görə əyrixətli dəyişən hərəkət zamanı iki cür təcil yaranır: sürətin qiymətcə dəyişməsi hesabına yaranan təcil trayektoriyaya toxunan istiqamətdə yönəlir və buna görə də tangensial (toxunan) təcil adlanır. Digər təcil isə sürətin istiqamətcə dəyişməsi hesabına yaranır və əyrilik mərkəzinə doğru yönəlir. Bu təcil normal təcil və ya mərkəzəqaçma təcili adlanır.

Təcilin a_τ və a_n b.s. toxunan və normal toplananlarını, $M\tau$ toxunanı Mn baş normalı boyunca yönəldək (şəkil 5). Bu halda a_n toplananı həmişə əyrini əyrilik mərkəzinə doğru yönəldəcək, çünki həmişə $a_n > 0$, a_τ toplananı isə $M\tau$ oxunun həm müsbət, həm də mənfi istiqamətinə yönələ bilər (bax. şəkil 5 a,b).



Şəkil 5. Nöqtənin toxunan təcilinin istiqamətinin təyini

Nöqtənin təcil vektoru \bar{a} , \bar{a}_τ və \bar{a}_n toplananlarından qurulmuş paraleloqramın diaqonalı kimi təsvir olunur. Bu toplananlar qarşılıqlı perpendikulyar olduğundan \bar{a} vektorunun modulu və onun Mn normalı ilə əmələ gətirdiyi bucaq μ ifadələrlə müəyyən edilir.

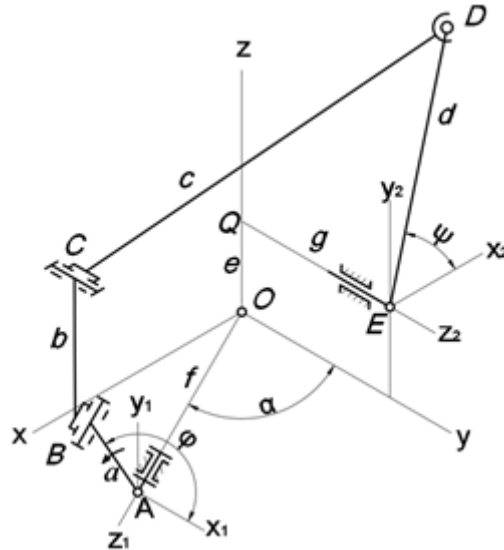
$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{a_\tau}{a_n}$$

Burada $-\pi/2 \leq \mu \leq \pi/2$; $\mu > 0$ olduqda \bar{a} vektoru Mn normalından $M\tau$ oxuna yönəlmiş olur (şəkil 5 a), $\mu < 0$ olduqda əks tərəfə yönəlir (şəkil 5 b).

Müasir kompüter texnologiyalarının inkişaf səviyyəsi, xüsusən tətbiqi qrafiki proqramların işlənilməsi, digər sahələrdə olduğu kimi, fəza qrafiki məsələlərinin həllində də əsaslı dəyişiklər yaratmışdır ki, bu da real obyektlərin 3D kompüter modelləri əsasında tədqiqat aparmağa imkan verir. Bu yeni imkanlardan ilk növbədə avtomatik layihələndirmə sistemində məlumatların rəqəmsal formada yüksək dəqiqliklə yadda saxlanması və bunun nəticəsi kimi 100% dəqiqliklə

cizgi tərtib etmək imkanını və olan obyektə 100% dəqiqliklə bağlantı yaratmaq imkanını, həmçinin cizginin keyfiyyətinə xələl gətirmədən istənilən ölçüdə miqyaslamaq imkanının olmasını göstərmək olar. Bu yenilikləri lingli fəza mexanizmlərinin kinematik analizində tətbiqi imkanlarını şəkil 6-da verilmiş beşbəndli dirsək mancanaq mexanizminin nümunəsində nəzərdən keçirək.

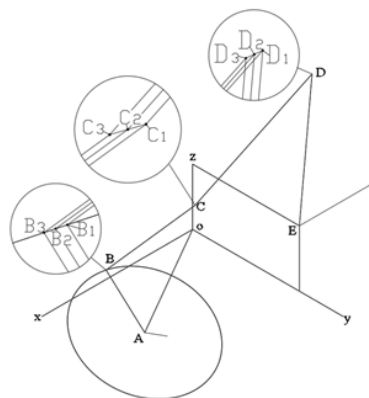


Şəkil 6. Lingli fəza beşbəndli dirsək mancanaq mexanizminin kinematik sxemi

Mexanizm haqqında ətraflı məlumat [5] verilmişdir. Müəyyənlik üçün qəbul edirik, $OA=104$ mm, $AB=45$ mm, $BC=75$ mm, $CD=100$ mm, $ED=100$ mm, $OQ=45$ mm, $QE=85$ mm, $\alpha=60^\circ$ (Mexanizm təqribi ölçülərlə götürüldüyündən nəticələr yalnız metodiki əhəmiyyət kəsb edir).

Məlumdur ki, fəza mexanizmləri öz təbiətinə görə üçölçülüdür. Odur ki, fəza mexanizmlərini birbaşa 3D kompüter modelində tədqiq etmək vaxtı çatmışdır. Məlumdur ki, bu halda informasiya daşıyıcısı kağız deyil elektron mühitdir. Məsələnin qrafiki üsulla 3D kompüter modelində həlli zamanı həllin nəticəsi kompüter modeli olur və axtarılan parametrlərin qiyməti birbaşa kompüter modelindən götürülür. Bunun üçün isə ilk növbədə mexanizmin 3D kompüter modelini qurmaq lazımdır və qeyd olunan mexanizm üçün bu məsələyə əhatəli şəkildə [3,6] baxılmışdır.

Mexanizmin xarakterik nöqtələrinin, aparıcı bəndin dönmə bucağının φ_0 qiymətinə uyğun, təcilinin qiymətini və istiqamətini təyin etmək üçün aparıcı bəndin biri-birindən $\Delta\varphi$ qədər fərqlənən ($\Delta\varphi = 0.005 \div 0.05^\circ$) üç vəziyyətinə ($\varphi_1 = \varphi_0 - \Delta\varphi$, $\varphi_2 = \varphi_0$, $\varphi_3 = \varphi_0 + \Delta\varphi$) uyğun vəziyyətlər planı qurulur (şəkil 7).



Şəkil 7. Lingli fəza beşbəndli dirsək mancanaq mexanizminin vəziyyətlər planı

Mexanizmin xarakterik nöqtələrinin təcilinin təyin olunma ardıcılığını, D nöqtəsinin nümunəsində nəzərdən keçirək. Mexanizmin apararı AB bəndinin φ_1 , φ_2 , və φ_3 vəziyyətlərinə uyğun olan D nöqtəsinin vəziyyətlərini D_1 , D_2 və D_3 işarə edək. Bu halda $\overline{D_1D_2}$ və $\overline{D_2D_3}$ uyğun olaraq D nöqtəsinin yerdəyişmə vektoru olur.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, nöqtənin yerdəyişmə vektorunun uyğun zaman fasiləsinə nisbəti vektorial kəmiyyət olub, $\Delta\tau$ zaman fasiləsində nöqtənin qiymət və istiqamət üzrə orta sürətini verir. Başqa sözlə $\overline{D_1D_2}$ və $\overline{D_2D_3}$ uyğun olaraq D nöqtəsinin orta sürətinə mütənasibdir. Mütənasiblik əmsalı K_v –ni, B nöqtəsinin məlum sürətinə ($v_B = \omega_{AB}l_{AB}$) görə təyin etmək olar.

$$K_v = \frac{v_B}{|B_1B_3|}$$

Apararı bəndin $\Delta\varphi$ dönmə bucağının kiçik qiymətlərində mexanizmin istənilən xarakterik nöqtəsinin sürətinin qiymətini aşağıdakı ifadə ilə təyin etmək olar.

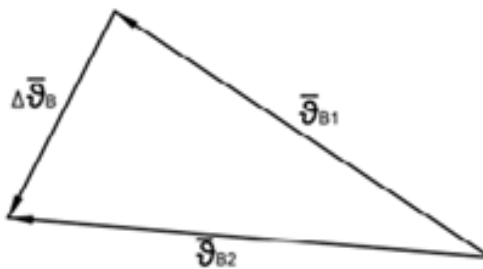
$$\bar{v}_P = K_v |P_1P_3| \quad (7)$$

Burada, $|P_1P_3|$ –sürəti təyin olunan nöqtənin yerdəyişmə vektorunun uzunluğu, B_1B_3 – B nöqtəsinin yerdəyişmə vektorunun uzunluğu, ω_{AB} –apararı bəndin bucaq sürəti, l_{AB} –apararı bəndin uzunluğudur.

Bu halda B və sürəti təyin olunan P nöqtələrinin yerdəyişmə vektorlarının uzunluqları birbaşa mexanizmin 3D modelindən ölçülərək götürülür. $\Delta\varphi$ -nin qiyməti kiçildikcə yerdəyişmə vektorunun uzunluğu da kiçilir. Lakin müasir CAD sistemlərində o cümlədən, AutoCAD-da parçaların uzunluğunu yüksək dəqiqliklə ölçmək imkanı vardır. (Məsələn, yuxarıda qeyd olunan ölçülərlə şəkil 6-da verilmiş mexanizmin, $\Delta\varphi = 0.01^\circ$ qiymətində B_1B_3 vektorunun uzunluğu 0.07853981 mm, D_1D_3 vektorunun uzunluğu isə 0.06723639 mm təşkil edir. Bu qiymətləri (7) tənliyində yerinə qoysaq, apararı bəndin dönmə bucağının φ_0 qiymətinə uyğun, D nöqtəsinin sürətinin B nöqtəsinin sürətindən asılılığını almış oluruq. $v_D = 0.856087v_B$.

D nöqtəsinin sürətinin istiqaməti isə D_1 nöqtəsindən D_3 nöqtəsinə yönəlir. D nöqtəsinin sürəti üçün alınmış qiymət, sürətlər planının qurulma qaydası ilə alınmış qiymətlə, yüksək dəqiqliklə üst-üstə düşür.

Qeyd olunduğu kimi, nöqtənin orta təcili, vektorial kəmiyyət olub, sürət dəyişməsinin ($\Delta\bar{v}$) bu dəyişməyə sərf olunan zamana nisbəti ($\Delta\tau$) kimi təyin olunur. Orta təcil $a_{or} = \Delta\bar{v} / \Delta\tau$ olduğundan $\Delta\bar{v}$ və \bar{a}_{or} qiymətləri mütənasib, istiqamətləri isə eyni olur. Mütənasiblik əmsalı K_a -ni B nöqtəsinin məlum təcilindən istifadə etməklə tapmaq olar. $K_a = a_B / \Delta\vartheta_B$. $\Delta\vartheta_B$ –nin qiymətini təyin etmək üçün $\overline{B_1B_2} = \vartheta_{B1}$ və $\overline{B_2B_3} = \vartheta_{B2}$ işarə edib, bu vektorların başlanğıcını bir nöqtəyə gətirsək, onda bu vektorların sonunu birləşdirən vektor $\Delta\vartheta_B$ mütənasib olur (şəkil 8).



Şəkil 8. Nöqtənin sürət dəyişməsinin təyini sxemi

Qeyd olunan ardıcılıqla mexanizmin istənilən nöqtəsinin sürət dəyişməsinə təyin etmək olar. Məsələn, D nöqtəsinin sürət dəyişməsinə 3D modeldən tapmaq üçün, $\overline{D_1D_2}$ və $\overline{D_2D_3}$ vektorlarının D nöqtəsinin D_1 və D_2 vəziyyətlərindəki sürətlərinə mütənasib olması şərtindən istifadə edərək, bu vektorların qiymət və istiqamətini dəyişdirmədən başlanğıclarını bir nöqtəyə gətirsək, onların sonunu birləşdirən vektor $\overline{\Delta\theta_D}$ mütənasib olur. İstənilən P nöqtəsi üçün $\Delta\theta_P$ –ni $\Delta\theta_B$ –nin tapılma qaydasına uyğun tapmaq olar və apararı bəndin $\Delta\varphi$ dönmə bucağının kiçik qiymətlərində mexanizmin istənilən xarakterik P nöqtəsinin təcilinin qiymətini aşağıdakı ifadə ilə hesablamq olar.

$$\bar{a}_P = \frac{|\Delta v_P|}{|\Delta v_B|} \omega_{AB}^2 l_{AB} \quad (8)$$

P nöqtəsinin təcilinin istiqaməti isə $\Delta\theta_P$ vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşür.

Bu halda, $\Delta\tau$ zaman müddətinin azalması ilə orta təcilin qiymət və istiqaməti nöqtənin ani təcilinə yaxınlaşır. Lakin, $\Delta\varphi$ –nin kiçik qiymətlərində, $\Delta\theta$ vektorunun uzunluğu kiçik qiymət alır, onun ölçmə dəqiqliyini artırmaq üçün bu vektorun uzunluğunu 10^6 dəfə böyüdüb ölçmək məqsədə uyğundur. Mexanizmin 3D modeli vektor qrafikası ilə qurulduğundan, cizginin keyfiyyətinə xələl gətirmədən onu istənilən miqyasla böyütmək olar.

Qeyd olunan qayda ilə mexanizmin istənilən nöqtəsinin $\Delta\tau$ ($\Delta\tau = \pi\Delta\varphi(180 \omega_{AB})$) zaman müddətindəki mütləq təcilinin orta qiymətini müəyyən etmək olar.

Mexanizmin ayrı-ayrı nöqtələrinin biri-birinə nisbətən nisbi təcillərinin qiymət və istiqamətini təyin etmək üçün vektor-funksiya kimi qeyd olunan nöqtələri birləşdirən düz xəttin vəziyyətini götürmək olar. Bu vektorların qiymət və istiqamətlərini dəyişdirmədən başlanğıclarını bir nöqtəyə gətirsək onların sonlarını birləşdirən vektorlar nisbi hərəkətdə yerdəyişmə vektoru olur və onlardan istifadə edərək, xarakterik nöqtələrin mütləq təcillərinin təyin edilmə metodikasından istifadə etməklə, nisbi təcilin qiymət və istiqamətini təyin etmək olar. Nisbi təcilin təyininə dair dediklərimizi, D nöqtəsinin C nöqtəsinə nəzərən təcilinin təyini nümunəsində nəzərdən keçirək. C_1D_1, C_2D_2, C_3D_3 vektorlarının qiymət və istiqamətini dəyişdirmədən $C_1 \equiv C_2 \equiv C_3$ bir nöqtəyə gətirsək bu vektorların digər uclarını birləşdirən D_1D_2 və D_2D_3 vektorları D nöqtəsinin C nöqtəsinə nəzərən nisbi hərəkətində yerdəyişmə vektoruna mütənasib olur.

Mexanizmin xarakterik nöqtələri üçün alınmış təcil vektorlarının düzgünlüyünü, mexanizmin ayrı-ayrı nöqtələrinin təcillərini əlaqələndirən aşağıdakı vektor tənliyi ilə yoxlamaq olar.

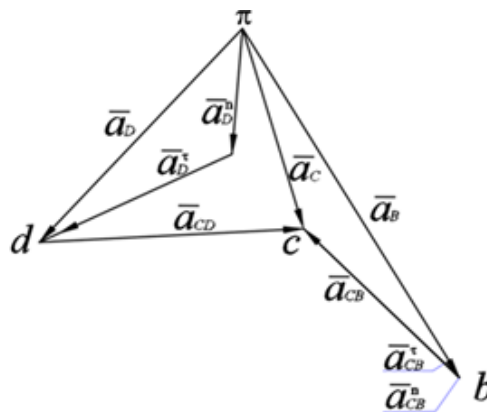
$$\bar{a}_C = \bar{a}_B + \bar{a}_{CB} = \bar{a}_D + \bar{a}_{CD} \quad (9)$$

Mexanizmin təcil planını qurmaq üçün π polyus nöqtəsi götürülür və $\bar{a}_B, \bar{a}_C, \bar{a}_D$ təcil vektorlarının qiymət və istiqamətini dəyişdirmədən onların başlanğıcı π nöqtəsinə köçürülür və onların son nöqtələri ardıcıl olaraq birləşdirilir. \bar{a}_B, \bar{a}_C və \bar{a}_D vektorlarının düzgünlüyünü \bar{a}_{CB} və \bar{a}_{CD} vektorları qeyd olunan vektorların sonlarını qapamasıdır. Mexanizmin təcil planının 3D kompüter modelinin təsviri şəkil 9-da verilmişdir.

Qeyd olunduğu kimi, 3D kompüter modelinin informasiya daşıyıcısı kağız deyil elektron mühitdir, başqa sözlə təcil vektorları şəkil müstəvisinə paralel olmayan ayrı-ayrı müstəvilərdə yerləşdiyindən onların şəkil müstəvisində ölçüləri həqiqi ölçüdən fərqlənir və qarşılıqlı perpendikulyar olan xətlər arasındakı bucaq şəkil müstəvisində təsvirdə düz bucaq şəklində görsənir.

Lakin, 3D kompüter modelində təcil planında vektorların uzunluqları və istiqamətləri real qiymətlərə uyğun olur. Bu səbəbdən də şəkil 9-da verilmiş təcil planının təsviri 3D kompüter modelində qurulan təcil planının qurulma qaydasının izahı üçün əhəmiyyət kəsb edir.

Şəkil 6-da verilmiş mexanizmin C nöqtəsi üçün alınmış qiymətlərin yüksək dəqiqliklə biri-birinin üzərinə düşməsi, təklif olunan üsulla mexanizmin xarakterik nöqtələrinin təcilinin təyin olunması, sadə, praktiki məsələlərin həlli üçün kifayət qədər dəqiq, nəzəri cəhətdən əsaslandırılmış olduğunu göstərir.



Şəkil 9. Lingli fəza beşbəndli dirsək mancanaq mexanizminin 3D təcil planının təsviri

Nəticə. Təklif olunan üsul fəza mexanizmlərinin kinematik tədqiqini, xüsusən xarakterik nöqtələrin təcilinin təyini kifayət qədər sadələşdirir və tətbiqi zamanı riyaziyyatın ayrı-ayrı bölmələrini, həmçinin tərsimi həndəsəyə dair dərin bilik tələb etmir. Bu üsul sadə olmaqla yanaşı praktiki məsələlərin həlli üçün kifayət qədər dəqiq və nəzəri cəhətdən əsaslandırılmışdır.

ƏDƏBİYYAT

1. Ананов, Г.Д. Кинематика пространственных шарнирных механизмов сельскохозяйственных машин // - Москва: Машгиз, - 1963. - с. 220.
2. Полухин, В.П. Проектирование механизмов швейно-обметочных машин // - Москва: «Машиностроение», - 1972. - с. 280.
3. Mustafayev, M.R. Fəza mexanizmlərinin xarakterik nöqtələrinin sürətlərinin təyini üçün 3D kompüter modeli əsasında yeni qraf-analitik üsul / M.R.Mustafayev, N.C.Pənahova, A.F.Həsənov [və b.] // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2024. №1, cild 26, - s. 9.
4. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики // - Москва: «Высшая школа», - 2010. s. 409.
5. Mustafayev, M.R. Beş bəndli fəza mexanizminin aparılan bəndinin kənar vəziyyətlərinin qrafiki üsulla təyini / M.R.Mustafayev, S.M.Rəhimova // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, - Bakı: - 2023. №4, cild 25, - s. 6.
6. Мустафаев, М.Р. Графическое определение положений пространственных пятизвенных механизмов на ее трехмерной компьютерной модели в пакете AutoCAD / М.Р.Мустафаев, С.М. Рагимова, И.И. Мустафаев [и др.] - М.А.А.-nın Elmi Məjmuələri, - Bakı: - 2017. №3, cild 19, - s. 8.

REFERENCES

1. Ananov, Q.D. Kinematika prostranstvennykh sharnirnykh mekhanizmov selskokhozyaystvennykh mashyn // Moskva: Mashgiz, - 1963. -s. 220.
2. Polukhin, V.P. Proyektirovanie mekhanizmov shveyno-obmetochnykh mashyn // Moskva: «Mashynostroeny», -1972. - s. 280.
3. Mustafayev, M.R. Feza mekhanizmlerinin kharakterik noqtelerinin suretlerinin teyini uchun 3D komputer modeli esasynda yeni graf-analitik usul / M.R. Mustafayev, N.C. Panahova, A.F. Hasanov [və b.] // -Milli Aviasiya Akademiyasy, Elmi Mejmueler, - Baky: - 2024. №1, jild 26, - s. 9.
4. Tarq, S.M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhanizmov // Moskva: «Vyshaya shkola», - 2010, s. 409.
5. Mustafayev, M.R. Beshbendli feza mekhanizminin aparylan bendinin kenar veziyyetlerinin grafiki usulla teyini / M.R. Mustafayev, S.M. Ragimova // Milli Aviasiya Akademiyasy Elmi Mejmueler, - Baky: - 2023, №4, jild 25, - s. 6.
6. Mustafaev M.R. Graficheskoe opredelenie polozheniy prostranstvennykh piatizvennikh mekhanizmov na yee trekhmernoy kompyuternoy modeli v pakete AutoCAD / M.R.Mustafaev, S.M.Ragimova, İ.İ.Mustafaev [i dr.] -MAA-nyn Elmi Mejmueleri, - Baky: - 2017. №3, jild 19, - s. 8.

A NEW GRAPHICAL METHOD FOR DETERMINING THE ACCELERATION OF CHARACTERISTIC POINTS OF A SPATIAL LINKAGE MECHANISM BASED ON A 3D COMPUTER MODEL

Mustafayev M.R., Panahova N.C., Rahimova S.M.
National Aviation Academy

In the article, a simple, theoretically based, and sufficiently accurate graphic method for solving practical problems based on a 3D computer model is proposed for determining the relative momentum of the characteristic points of linear space mechanisms relative to each other. The main essence of this method is that the position of the point M moving in the $OXYZ$ coordinate system at any moment is determined by the radius-vector \vec{r} drawn from the origin of the coordinate O to the point M , and the dependence of \vec{r} on time differs from each other by $\Delta\varphi$ of the driving point of the mechanism ($\Delta\varphi=0.005\div 0.05^\circ$) is ensured by constructing a 3D computer model of the plan of states corresponding to three states $[(\varphi)]_{-1}=\varphi_0-\Delta\varphi, \varphi_{-2}=\varphi_0, \varphi_{-3}=\varphi_0+\Delta\varphi$. If the moving point moves from the state M determined by the radius-vector \vec{r} at the time τ to the state M_{-1} determined by the vector \vec{r}_{-1} at the time τ_{-1} , the displacement (MM_{-1}) in the period $\Delta\tau=\tau_{-1}-\tau$ is determined by the vector \vec{r}_{-1} and this vector is the displacement of the point vector, and the ratio of this vector to the corresponding time interval is a vector quantity, $\Delta\tau$ gives the average speed of the point in value and direction during the time interval. If the point moving with speed \vec{v} at time τ moves from state M to state M_{-1} with speed \vec{v}_{-1} at time τ_{-1} , then the speed of the point changes by $\Delta\vec{v}=\vec{v}_{-1}-\vec{v}$ during $\Delta\tau=\tau_{-1}-\tau$. The vector $\Delta\vec{v}$ can be determined by passing a vector equal to the vector \vec{v}_{-1} from point M and constructing a parallelogram with diagonal \vec{v}_{-1} and using it to determine the acceleration. Also, on the basis of a three-dimensional computer model, for the first

time, the procedure for building the momentum plan was worked out, and using it, a three-dimensional computer model of the momentum plan of the five-point space crank-pivot mechanism was built. The correctness of the results obtained by the proposed method was confirmed by comparing them with values calculated by numerical methods, based on the momentum vectors found, by closing the momentum plan of the mechanism at one point.

Key words: space mechanism, crank mechanism, kinematic analysis, 3D velocity plot, 3D acceleration plot, computer model, graph-analytical method, AutoCAD.

Rəyçi: t.e.d., prof. Canəhmədov Ə.X.

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Mustafayev Mustafa Rəhim oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Nəqliyyat mexanikası kafedrası, t.e.d., prof.	musta-mro@rambler.ru mob: (+994) 50 613 38 14
Pənahova Nigar Cəfər qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	Nəqliyyat mexanikası kafedrası, f.-r.e.n., dos.	panahovanigar@yahoo.com mob: (+994) 50 281 29 54
Rəhimova Səidə Məmməd qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	Nəqliyyat mexanikası kafedrası, müəllim	saida_abdullayeva@bk.ru mob: (+994) 50 508 86 97

NƏQLİYYAT LOGİSTİKASI

UOT: 65.656

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1023

BEYNƏLXALQ NƏQLİYYAT DƏHLİZLƏRİNİN FƏALİYYƏTİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ VƏ MONİTORİNQİ (CAREC TƏCRÜBƏSİ)

Nəcəfov E.M., Mustafayeva A.Z.
Milli Aviasiya Akademiyası

Beynəlxalq ticarət və nəqliyyat dəhlizləri (BTND) – sərnəşinlərin və yüklərin ölkələr arasında hərəkətini təmin edən və asanlaşdırən əsas marşrutlardır. Onlar ərazisindən keçdiyi region və ölkələrə ticarət, nəqliyyat xərclərini azaldan yüksək tutumlu nəqliyyat sistemləri və xidmətləri təklif etməyə imkan verir. BTND iqtisadi həyat xətti hesab olunur və ölkələrə beynəlxalq bazarlara çıxmaq üçün səmərəli quru yolları təmin edir. Bu gün qloballaşmanın gücləndiyi dünyada beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri iqtisadi, siyasi, hərbi, mədəni və demografik əhəmiyyət daşıdığı üçün mühüm funksiyaları yerinə yetirir [1].

Yaxşı düşünülmüş hazırlanmış dəhliz layihələri ölkələrin inkişafına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir, ticarət xərclərini azaldır, regionların və ölkələrin rəqabət qabiliyyətini artırır [2].

Açar sözlər: layihə, dünya təcrübəsi, dəhliz, nəqliyyat, inkişaf, beynəlxalq nəqliyyat dəhlizi, əməkdaşlıq, tranzit, iqtisadiyyat, yük və sərnəşindəşmə.

Giriş

İstənilən regionun ümumi iqtisadi inkişafı onun nəqliyyatının inkişaf səviyyəsindən çox asılıdır və burada BTND böyük əhəmiyyət kəsb edir. Onlar müxtəlif ölkələri birləşdirir, iqtisadi, mədəni, elmi-texniki əməkdaşlığını təmin edir. Lakin beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri indi təkcə iqtisadi səmərə deyil, həm də dövlətin təhlükəsizliyinin və uzun illər uğurlu inkişafının təminatıdır [3]. Ticarət və nəqliyyat dəhlizi əsas iqtisadi fəaliyyət mərkəzləri arasında ticarət və nəqliyyat axınlarını asanlaşdırən nəqliyyat, logistika infrastrukturunu və xidmətlərinin əlaqələndirilmiş dəstidir. Rəsmi BTND adətən dövlət və ya özəl sektorlar və ya hər ikisinin birləşməsindən ibarət milli və ya regional orqan tərəfindən əlaqələndirilir [4].

Dəhlizlərin uzun inkişaf tarixi olmasına baxmayaraq, layihələndirmə, infrastruktur komponentlərin müəyyən edilməsi və dəhliz layihələrinin mümkün təsirlərinin monitorinqinin təhlili ilə bağlı hər zaman çatışmazlıqlar olmuşdur. İndiki gərginliklər fonunda Avrasiya məkanından keçən bir sıra marşrutlar üçün böyük və ciddi təhdidlər yaranıb [5].

Beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin fəaliyyətinin təfərrüatlı qiymətləndirilməsinin aparılması və monitorinqi onun texniki göstəricilərinin, nəqliyyatın hərəkətində yaranan maneələrin müəyyən edilməsində və potensial təkmilləşdirmə tədbirlərinin görülməsində vacib hesab edilən ilk addımlardan biridir. Bu, dəhlizin nəzərdə tutulan məqsədlərə uyğun olub-olmadığını dəqiqləşdirməyə kömək edir.

İşin məqsədi. Dəhlizlərin qiymətləndirilməsi həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət məlumatlarının toplanmasını tələb edir. Monitorinq logistika xidmətləri təminatçıları, idxalçılar, yük-göndərənlər və nəqliyyat sektorlarında iştirak edən dövlət qurumları ilə məsləhətləşmələr əsasında aparılır. O, əsas fəaliyyət göstəriciləri daxil olmaqla, qiymətləndirmə zamanı toplanmalı olan mühüm məlumatları müəyyən etməlidir.

Dəhlizlərinin fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi bir neçə səbəbə görə önəmli hesab olunur. Birincisi, dəhlizlər ölkələrin iqtisadiyyatına təsir göstərir.

İkincisi, dəhliz infrastruktur (avtomobil yolları, dəmir yolları, limanlar), nəqliyyat və logistika xidmətləri, qaydaları da daxil olmaqla bir neçə komponentdən ibarət sistemdir. Bu komponentlər arasındakı əlaqənin qiymətləndirilməsi vacibdir.

Üçüncüsü, monitorinqin aparılması dəhlizinin idarə edilməsi konsepsiyası və onun inkişafında maraqlı ola biləcək müxtəlif tərəflərin təşviqi və cəlb olunması ilə məşğul olur.

Dəhlizlərin qiymətləndirilməsi aparılarkən bir neçə aspektə xüsusi diqqət yetirilir:

1. Məqsədin müəyyən edilməsi

Dəhliz qiymətləndirməsi, adətən, hökumət, yaxud hökumət adından fəaliyyət göstərən özəl agentlik, maliyyə agentliyi və ya özəl sektorun maraqlı tərəfləri tərəfindən hazırlanır. Hökumət baxımından bu, ticarət nazirliyi, nəqliyyat nazirliyi, ticarət və nəqliyyatın asanlaşdırılması komitəsi və ya xüsusi orqan ola bilər. Faktiki nəqliyyat və logistika göstəriciləri haqqında məlumat həm də Dünya Bankı və regional inkişaf bankları kimi beynəlxalq inkişaf agentlikləri tərəfindən hazırlanır. Bu cür məlumatlar mövcud vəziyyətin daha dərinəndən dərk edilməsi və investisiya imkanlarının müəyyənəşdirilməsinə kömək etmək üçün toplanır [2].

Beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi zamanı ilk addım məqsədi aydınlaşdırmaqdır. Müxtəlif tərəflərin çox fərqli məqsədləri ola bilər. Xüsusi məqsəd qiymətləndirmənin aparıldığı təşkilat tərəfindən müəyyən edilir. Məqsədlərə misal ola bilər:

- yarana biləcək çətinlikləri, onların logistika xidmətlərinin səmərəliliyinə və etibarlılığına təsirini müəyyən etmək;
- regional əməkdaşlığı, infrastruktur və xidmətlərin əlaqələndirilməsini təşviq etmək üçün regional dəhlizləri inkişaf etdirmək;
- dəhlizdə maraqlı tərəflərin müdafiə etdiyi islahat imkanlarını müəyyən etmək və s.

2. Dəhliz infrastrukturunun qiymətləndirilməsi

Dəhlizdə müxtəlif növ infrastrukturlar qiymətləndirməyə daxil edilməlidir. Texniki parametrlər dəhlizin davamlılığının qiymətləndirilməsində xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Dəhliz işlənilməyə hazırlanarkən, adətən, müvafiq dövlətlərin infrastruktur üçün texniki normaları, standartları və parametrləri müəyyən edən beynəlxalq çoxtərəfli sazişlərin olması faydalıdır.

Dəhlizdə nəqliyyat infrastrukturunu haqqında məlumatların toplanması müxtəlif infrastruktur operatorlarının nəşrləri və ya illik hesabatları, həmçinin məsul dövlət və özəl sektor qurumları ilə müsahibələr və s. kimi ikinci dərəcəli mənbələrdən ola bilər. Məsələn, dəhliz qiymətləndirilməsi aparılan zaman müxtəlif bu işdə maraqlı olan qurumlar, adətən, **Magistral Yolların İnkişafı və İdarəetmə Modeli (HDM⁴)** kimi planlaşdırma modellərində istifadə olunan məlumatları toplayır. Bu məlumatlar dəhliz infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi və onların ehtimal olunan təsirinin qiymətləndirilməsi ilə birbaşa əlaqəli ola bilər.

Məlumat dəhlizin üç aspekti üzrə toplanmalıdır:

- infrastrukturun fiziki xüsusiyyətləri və onun vəziyyəti;
- dəhlizin ayrı-ayrı infrastruktur komponentləri üzrə kəmiyyət məlumatları;
- infrastrukturun təklif olunan inkişafı və saxlanması üçün planlar.

2008-ci ildə Asiya İnkişaf Bankı (AİB) bu məqsədlərə nail olmağa yönəlmiş siyasətlər üçün dəqiq və sübuta əsaslanaraq təklif edilən **CAREC Dəhlizlərinin Performansın Ölçülməsi və Monitorinqi (The Corridor Performance Measurement and Monitoring – CPMM)** metodologiyasını işləyib hazırlamışdır.

CAREC dəhlizləri regionun əsas iqtisadi mərkəzlərini bir-biri ilə əlaqələndirir və dənizə çıxışı olmayan altı dəhliz şəbəkəsindən ibarət CAREC ölkələrini digər Avraziya və global bazarlarla əlaqələndirir (cədvəl 1).

CPMM 11 iştirakçı ölkəni – Əfqanıstan, Azərbaycan, Çin Xalq Respublikası (ÇXR), Gürcüstan, Qazaxıstan, Qırğızıstan, Monqolustan, Pakistan, Tacikistan, Türkmənistan və Özbəkistanı əhatə edən CAREC dəhlizi (şəkil 1) boyunca yüklərin daşınması vaxtını, xərclərini qiymətləndirmək və izləmək üçün CAREC Proqramı tərəfindən hazırlanmış empirik bir sistemdir.

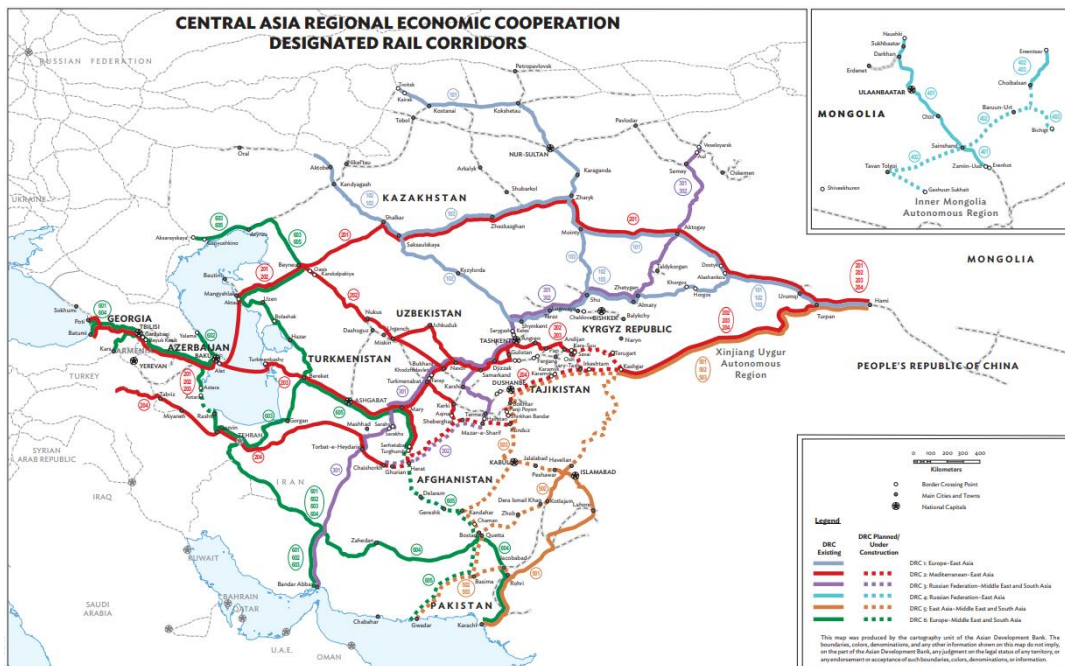
Mövcud CPMM metodologiyası Birləşmiş Millətlər Təşkilatının Asiya və Sakit Okean üzrə İqtisadi və Sosial Komissiyasının ilkin **vaxt-xərc-məsafə (TCD)** metodologiyasına edilən dəyişikliklərin nəticəsidir ki, bu da zamanla CAREC dəhlizlərinin sərhəd keçidini və dəhliz performansını ölçmək, daha effektiv monitoring qabiliyyətini optimallaşdırmışdır [6].

Cədvəl 1

CAREC Dəhlizləri və Regionlar/Ölkələr

Dəhliz	Ölkələr
1	Avropa – Şərqi Asiya (Qazaxıstan, Qırğızıstan və SUAR)
2	Aralıq dənizi – Şərqi Asiya (Əfqanıstan, Azərbaycan, Qazaxıstan, Qırğızıstan, Tacikistan, Türkmənistan, Özbəkistan və SUAR)
3	Rusiya Federasiyası – Yaxın Şərq və Cənubi Asiya (Əfqanıstan, Gürcüstan, Qazaxıstan, Qırğızıstan, Tacikistan, Türkmənistan və Özbəkistan)
4	Rusiya Federasiyası – Şərqi Asiya (İMAR, Monqolustan və XUAR)
5	Şərqi Asiya – Yaxın Şərq və Cənubi Asiya (Əfqanıstan, Qırğızıstan, Pakistan, Tacikistan və SUAR)
6	Avropa – Yaxın Şərq və Cənubi Asiya (Əfqanıstan, Qazaxıstan, Pakistan, Tacikistan, Türkmənistan və Özbəkistan)

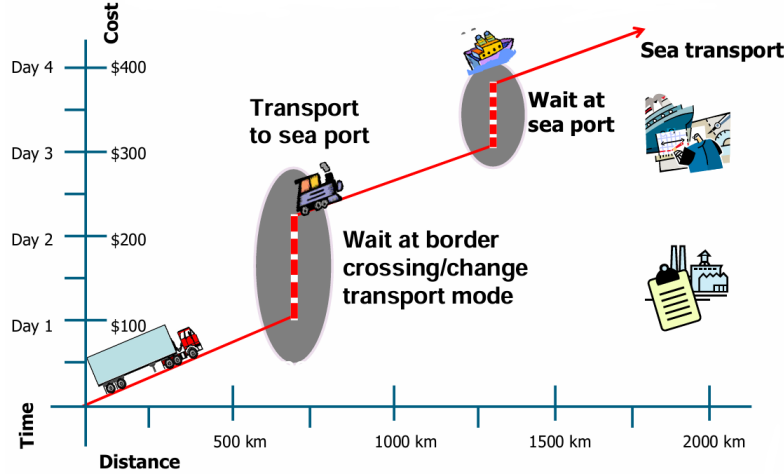
Qeyd: İMAR = Daxili Monqolustan Muxtar Rayonu; XUAR = Sincan-Uyğur Muxtar Rayonu. Hər ikisi Çin Xalq Respublikasının bölgələridir.



Şəkil 1. CAREC-i birləşdirən dəhliz şəbəkəsi

TCD metodologiyası nəqliyyatın və ticarətin asanlaşdırılmasının, xüsusən də tranzit dəhlizi boyunca sərhəd keçidləri və digər maneələrlə bağlı vaxt, xərc ölçülərinin geniş təhlilini təqdim edir. Vaxt və xərcdən başqa, sürət kimi əldə edilmiş ölçülər nəqliyyatın sıxlığını, yolun keyfiyyətini qiymətləndirmək üçün istifadə edilə bilər (şəkil 2). Bu amillərlə sərhəd-keçid və gömrük xidmətinin

səmərəliliyinin, həmçinin dəhlizlər boyu avtomobil və dəmiryolu infrastrukturunun fəaliyyətinin monitorinqi üçün bir sıra tədbirlər, göstəricilər hazırlana bilər.



Şəkil 2. Vaxt – Xərc – Məsafə təhlili

CPMM CAREC dəhlizlərinin ümumi illik fəaliyyətini və səmərəliliyini nümayiş etdirmək üçün bir sıra ticarətin asanlaşdırılması göstəricilərini (**Trade Facilitation Indicators – TFI**) qiymətləndirir [6].

Ticarətin Asanlaşdırılması Göstəricilərinə (Trade Facilitation Indicators – TFI):

- sərhəd-keçid məntəqəsinin (BCP) təmizlənməsi üçün sərf olunan vaxt,
- BCP-də çəkilən xərc;
- dəhliz üzrə daşıma üçün çəkilən xərclər;
- CAREC dəhlizləri ilə səyahət üçün sürət daxildir.

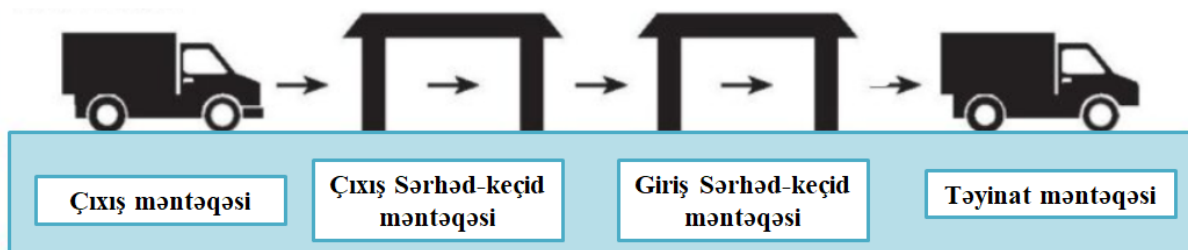
Dəhliz fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi və monitorinqi prosesi birbaşa idarəetmə prosesinin bir hissəsidir. Nəqliyyat dəhlizinin idarə edilməsinə nəqliyyat axınının monitorinqi prosesi daxildir, onun nəticələri **bir sıra göstəriciləri müəyyənləşdirir [7]:**

- nəqliyyat axınını intensivliyi;
- nəqliyyat axınının sıxlığı;
- hərəkət sürəti;
- dəhlizin keçdiyi ərazinin relyefi və digər parametrlər.

Dəhlizlər boyu qiymətləndirilən göstəricilər (TFI) vasitəsilə regionda nəqliyyat və ticarət əməliyyatlarının təsirlərini qiymətləndirməyə imkan verən avtomobil (şəkil 3) və dəmiryol (şəkil 4) nəqliyyatlarının müqayisəli təhlilini təqdim edə bilərik.

Avtomobil nəqliyyatı

Əvvəlki illərlə müqayisədə BCP-nin təmizlənməsi üçün sərf olunan orta vaxt 12,0 saatdan 12,2 saata yüksələrək nisbətən dəyişməz qalıb (artım 1,4%), orta xərclər isə 155 dollardan 162 dollara qədər yüksəlib (artım 4,0%). Yüklə daşınması üçün ümumi orta xərclər 5,5% azalaraq 953 dollardan 901 dollara düşüb. Qeyri-rəsmi ödənişlər ilk növbədə gömrük nəzarəti, kommersiya yoxlamaları və məşğul BCP-lərdə yükləmə-boşaltma ilə bağlı fəaliyyətlərə görə müşahidə olunub.



Şəkil 3. Avtomobil nəqliyyatı üçün “Ticarətin asanlaşdırılması göstəriciləri”nin ölçülməsi

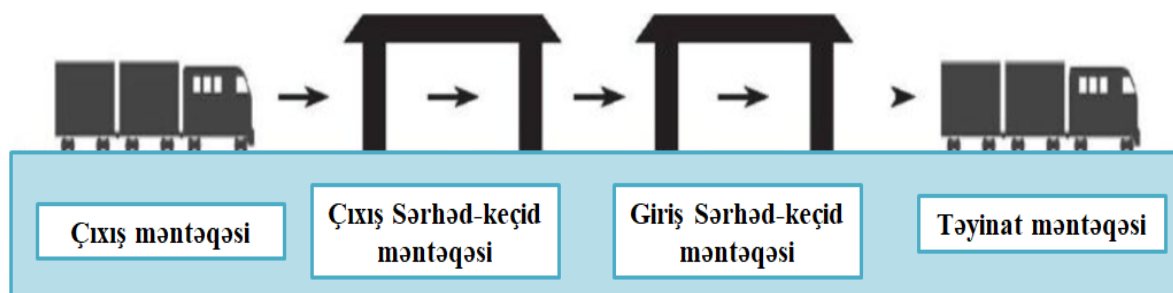
1. CPMM ölçməyə mallar mənşə ölkəsində yükləndikdə başlayır. Tez-tez bir yük maşını, təyinat ölkəsinə gedən BCP-yə çatmadan əvvəl ara qovşaqlarda (məsələn, yol polisi nəzarət məntəqələrində) dayanmalıdır [8].

2. Yük maşını sürücüsü daha sonra BCP-yə daxil olmaq üçün növbə gözləməlidir. Yük maşını BCP-yə daxil olduqda, sürücü bir sıra sərhəd fəaliyyətindən keçməlidir. İstənilən yükləmə burada da gömrük nəzarəti altında həyata keçirilir. Sərhəd-keçid prosedurları başa çatdıqdan sonra yük maşını BCP-dən çıxır və qonşu ölkənin giriş BCP-nə keçir.

3. Yük maşını sürücüsü BCP-yə daxil olmaq üçün yenidən növbə gözləyir. Giriş BCP-i daxilində sürücü daha bir sıra sərhəd fəaliyyətini tamamlayır. Bitirdikdən sonra yük maşını BCP-dən çıxır və səyahətinə davam edir. Hər bir BCP-ə çatdıqdan sonra və çıxana qədər fəaliyyətlərin müddəti və dəyəri müvafiq olaraq ölçülür.

4. Bir ölkədən çıxmaq və digər ölkəyə daxil olmaq prosesi, yük təyinat ölkəsinə çatana qədər təkrarlanır. Son təyinat yerində mallar və ya konteynerlər boşaldılır. 500 km-ə və 20 ton faydalı yükə görə BCP-lərdə və aralıq dayanacaqlarda fəaliyyətlərin dəyəri daxil olmaqla, mənşədən təyinat yerinə qədər ümumi avtomobil daşıma sürəti ölçülür.

Dəmir yolu nəqliyyatı



Şəkil 4. Dəmir yolu nəqliyyatı üçün "Ticarətin asanlaşdırılması göstəriciləri"nin ölçülməsi

Dəmiryolu nəqliyyatının müəyyən olunmuş göstəricilərinə görə, orta sərhəd keçid vaxtları 23,2 saatdan 20,6 saata enərək 11,3% yaxşılaşmış; orta xərclər isə nisbətən dəyişməz qalaraq, cəmi 1,2% artaraq 196 dollardan 198 dollara yüksəlib. Dəmir yolu daşımalarının ümumi orta dəyəri 15,5% azalaraq 970 dollardan 820 dollara düşüb.

1. CPMM, tərəfdaş beynəlxalq yük ekspeditorunun bildirdiyi kimi, bütün qatarın deyil, xüsusi vaqonun və ya konteynerin hərəkətini izləyir. CPMM ölçməyə mallar çıxış ölkəsində yükləndikdə başlayır.

Çox vaxt qatar yola düşmə ölkəsinin ilk BCP-yə çatmadan əvvəl ara qovşaqlarda (təsnifat və çeşidləmə kimi fəaliyyətlər üçün) dayanmalıdır.

2. BCP-də qatarın və malların təhlükəsizliyini təmin etmək üçün gömrük rəsmiləşdirilməsindən, eləcə də digər dəmiryolu əməliyyatlarından keçir. Tamamlandıqdan sonra qatar qonşu ölkənin daxil olan BCP-nə buraxılır. Bəzən daxil olan BCP-də tıxac yaranarsa, qatarlar dayanır [9].

3. Daxil olan BCP-də daşınma başqa bir dəst gömrük rəsmiləşdirilməsindən və zəruri dəmiryolu əməliyyatlarından keçir. Hər bir BCP-yə çatdıqdan sonra və çıxana qədər fəaliyyətlərin müddəti və dəyəri müvafiq olaraq ölçülür.

4. Bir ölkədən çıxmaq və digər ölkəyə daxil olmaq prosesi, yük təyinat ölkəsinə çatana qədər təkrarlanır. Son təyinat məntəqəsində vaqonlar və ya konteynerlər boşaldılır (*Mənbə: Asiya İnkişaf Bankı*).

Sərhəd keçidi əksər dəhlizlərdə sürəti yarıya endirir (cədvəl 2, 3).

Qiymətləndirmə zamanı təhlil olunan göstəricilərə əsasən [10]:

Cədvəl 2

Vaxt aparan fəaliyyətlər

AVTOMOBİL NƏQLİYYATI	DƏMİRYOLU NƏQLİYYATI
1. Gömrük dəstəyi/müşayiət	1. Dəmiryolunun eninin dəyişdirilməsi
2. Növbədə gözləmə vaxtı	2. Növbədə gözləmə vaxtı
3. Yükləmə/boşaltma	3. Dəmiryolu təhlükəsizliyi

Cədvəl 3

Ən bahalı fəaliyyətlər

AVTOMOBİL NƏQLİYYATI	DƏMİRYOLU NƏQLİYYATI
1. Həddindən artıq yükləmə	1. Dəmiryolunun eninin dəyişdirilməsi
2. Yükləmə və boşaltma	2. Yükləmə və boşaltma
3. Gömrük rəsmiləşdirilməsi/gömrük yoxlaması	3. Həddindən artıq yükləmə

CPMM dəhliz layihələrinin icrası ilə bağlı mövcud olan ən yaxşı bilikləri sintez edir. O, Dünya Bankının və digər inkişaf agentliklərinin ticarət və nəqliyyat dəhlizi layihələrinin təsirinin qiymətləndirilməsi, layihələndirilməsi, həyata keçirilməsi sahəsində təcrübələrini qısa formada təqdim edir.

Təhlil və hesabatlar AİB-in məlumat və statistik təhlillərinə əsasən aparılır. Hesabatlar CAREC İnstitutunun və CFCFA-nın internet saytlarında yerləşdirilir və illik hesabat Nazirlər Konfransında təqdim olunur. Milli səviyyədə məlumatların təhlilini həyata keçirmək üçün tərəfdaş birliklərə təlim təşkil olunur. CPMM-dən alınan böyük həcmli məlumatlar CAREC-ə dəhlizlər haqqında ətraflı təhlil aparmağa imkan verir.

Yuxarıda sadalananlara əsaslanaraq, Azərbaycanın transit imkanları haqqında aparılmış təhlili daha ətraflı şəkildə nəzərdən keçirə bilərik.

Qafqaz regionunda əlverişli strateji mövqedə yerləşdiyinə görə Azərbaycan Mərkəzi Asiyanı Avropa ilə birləşdirir və tranzit daşımaların asanlaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Ölkə böyük tranzit potensialına malikdir.

Azərbaycan Gürcüstan, İran, Türkiyə və digər Mərkəzi Asiya ölkələri arasında nəqliyyat üçün əsas tranzit ölkədir. Qırmızı Körpü BCP Azərbaycan və Gürcüstan arasında əsas sərhəd keçid məntəqəsidir və bu avtomobil yükləri üçün orta sərhəd keçid vaxtını (avtomobillər üçün 10,0 saatdan 7,4 saata qədər) və sərhəd keçid xərclərini (91 dollardan 50 dollara qədər) əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

Bunlara baxmayaraq, son illər ərzində aparılan araşdırmalar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, bütün təxmin edilən TFI göstəriciləri azalıb. Nəqliyyat vasitələrinin sərhəd keçid məntəqəsindən keçmə vaxtı və xərcləri xeyli artıb. Çətinliklərə baxmayaraq, Azərbaycan sərhədyanı ticarəti saxlamaq üçün Xəzər dənizi ətrafında yerləşən ölkələrlə sıx əməkdaşlıq edib. Ölkəmiz həmçinin ticarət və logistika üzrə milli baş planın qəbul edilməsi və Bakının cənubundakı yeni Ələt terminalının daha da müasirləşdirilməsi, nəqliyyat qovşağına çevrilməsi üçün səyləri artırır.

CPMM çərçivəsində Azərbaycan ərazisindən keçməklə aşağıdakı avtomobil nəqliyyatı yük daşıma növləri qeydə alınıb [7]:

- Poti və ya Batumidən Bakı-Aktau istiqamətində Qazaxıstanda başa çatan konteyner daşımaları;

- Tacikistan və Özbəkistandan Gürcüstana konteyner daşımaları;

- Türkiyədən Qazaxıstana tranzit daşımalar.

Avtomobil nəqliyyatı ilə daşımanın əsas yüklər elektrik avadanlıqları və maşınlar, eləcə də ərzaqlıq məhsulları olub.

Azərbaycan Dəmir Yolları milli dəmir yolunun islahatında və kommersionlaşdırılmasında yaxşı irəliləyişlər əldə edir, xüsusən:

- Nazirlər Kabineti tərəfindən təsdiq edilən, müstəqil üzvlərdən ibarət və dövlət müəssisələrinin korporativ idarəçiliyinə dair tələblərə uyğun olaraq müşahidə şurasının yaradılması;

- Nazirlər Kabineti tərəfindən təsdiq edilmiş investisiya planı və onun Azərbaycan Dəmir Yolları tərəfindən vaxtında həyata keçirilməsi;

- Azərbaycan Dəmir Yollarının fəaliyyətinin idarə edilməsi üzrə əsas fəaliyyət göstəricilərinin təsdiq olunması;

- Nazirlər Kabineti və Müşahidə Şurası tərəfindən təsdiq edilmiş biznes planı, eləcə də bütün Azərbaycan Dəmir Yollarında əsas fəaliyyət göstəricilərinə nail olunması və islahatların həyata keçirilməsinə dair dəyişikliklərin idarə edilməsi bölməsi tərəfindən verilən daxili rüblük hesabatların olması (“Azərbaycan Dəmir Yolları” QSC-nin rəsmi internet saytı);

- Azərbaycan Dəmir Yolları haqqında işlənib hazırlanıb Azərbaycan hökumətinə təsdiq üçün təqdim edilmiş ilk qanun layihəsinin icrası;

- Gürcüstan Dəmir Yolları ilə əməkdaşlıq və koordinasiya marketinq və əməliyyatlar da daxil olmaqla bir çox sahələrdə dərinləşmələrin aparılması.

Son illər ərzində dəmiryolu daşımalarında ən diqqətçəkən hadisə Çindən Avropaya və Çindən Mərkəzi Asiyaya sürətli konteyner qatarlarının sayının kəskin artması oldu ki, bu da CAREC-in bir sıra üzv ölkələrində dəmiryolu nəqliyyatına diqqətin artmasına səbəb oldu [7].

Azərbaycan, Gürcüstan və Qazaxıstan da Trans-Xəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutundan istifadəni təşviq etmək məqsədilə dəmiryolu nəqliyyatından istifadə etməklə Çin-Avropa marşrutu üzrə yükdaşımaları artırmaqda maraqlıdırlar. Bu marşrut Türkiyə, eləcə də Qara dəniz və Aralıq dənizi sahili dövlətlərin nəqliyyatına xidmət göstərmək üçün faydalıdır. Trans-Xəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu Cənub-Şərqi Asiyadan başlayır, Çindən, Qazaxıstandan keçərək Xəzər dənizindən keçir, Azərbaycan və Gürcüstandan keçərək Türkiyə və Cənubi Avropaya gedir.

Azərbaycanın əlverişli strateji mövqedə yerləşməsi ÇXR, Türkiyə, Qara dəniz sahili dövlətləri və Cənubi Avropa ilə birləşdirən başqa bir marşrut təmin edə bilər. Bu marşrut bu gün Azərbaycanın təşəbbüskarı və iştirakçısı olduğu əsas beynəlxalq nəqliyyat layihələrindən biri hesab olunan Zəngəzur dəhlizidir. Önəmli perspektivə malik olan bu nəqliyyat dəhlizi böyük üstünlüklər vəd etməkdədir. Zəngəzur dəhlizi yalnız Qafqaz üçün deyil, daha geniş anlamda region üçün strateji əhəmiyyətə malikdir. Nəqliyyat dəhlizlərinin idarə edilməsinin monitorinqi prosesində qeyd olunan əsas göstəricilərdən biri olan relyef amili də bu dəhliz üzrə daşımalar üçün əlverişli şərait yaradır. Bu isə ondan xəbər verir ki, Zəngəzur dəhlizi kifayət qədər böyük iqtisadi potensiala və təbii resurslara malik olan Azərbaycanı regionun əsas nəqliyyat qovşaqlarından birinə çevirəcəkdir [11].

Nəticə

Təhlil olunan bütün bu məlumatlar bizə deməyə əsas verir ki, son zamanlarda ən aktual mövzulardan biri olan Zəngəzur Beynəlxalq Nəqliyyat Dəhlizinin tikilib istifadəyə verilməsi, Azərbaycanın qeyd olunan istiqamətlərdə tranzit potensialını daha da artıraraq digər ölkələr ilə beynəlxalq əlaqələrinin genişlənməsinə və inkişafına təkan verəcəkdir.

Təhlükəsiz və ən qısa tranzit dəhlizi olan Zəngəzur dəhlizinin tikintisi Avropa istiqamətində Çin və Mərkəzi Asiya ölkələri arasında nəqliyyat əlaqələrinin şaxələndirilməsini təmin edəcək, regionun bütün ölkələri üçün hər istiqamətdə yeni imkanlar yaradacaq.

ƏDƏBİYYAT

1. Nəcəfov E.M., Mustafayeva A.Z. Beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin inkişaf tendensiyası // - Bakı: Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuəsi, 2024. Cild 26, №2, - s. 9-19.
2. Isaienko, V.M. International Transport Corridors Functioning Efficiency in the Digital Economy Conditions / V.M. Isaienko, D.O. Bugayko, M.Y. Grygorak [et al.] // Journal of Logistics and Transport, - National Aviation University Kyiv, Ukraine: - 2019. №2, p. 47-55.
3. Mustafayeva A.Z., Nəcəfov E.M. Beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin formalaşmasının nəzəri aspektləri // "Fevral məruzələri 2024: Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı" IX Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı, - Bakı: Milli Aviasiya Akademiyası- 8-10 fevral, - 2024, - s. 276-279.
4. Trade and Transport Corridor Management Toolkit: [Electronic resource] / C. Kunaka, R. Carruthers.; International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank – Washington DC, April 17, 2014.
URL: [https:// www.worldbank.org](https://www.worldbank.org)
5. Mustafayeva A.Z. Zəngəzur dəhlizi Orta dəhlizin katalizatoru kimi // 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. 6-7.
6. Asian Development Bank: Carec Corridor Performance Measurement And Monitoring Annual Report 2019: [Electronic resource] / Philippines - 2019.
URL: [https:// www.adb.org](https://www.adb.org)
7. Международные транспортные коридоры и логистические центры / Б. Керимов, Е. Наджафов, Индира Асильбекова [и др.] - Баку: Национальная Авиационная Академия, - 2024. – 176 с.
8. Asian Development Bank: CAREC Corridor Performance Measurement and Monitoring: [Electronic resource] / Philippines - December, 2021.
URL: <https://www.cpmc-carecprogram-org>
9. Asian Development Bank: Carec Corridor Performance Measurement And Monitoring Annual Report 2020 - The Coronavirus Disease And Its Impact: [Electronic resource] / Philippines - December, 2021.
URL: [https:// www.adb.org](https://www.adb.org)
10. Оценка и мониторинг деятельности коридоров: [электронный ресурс] / Группа экспертов ОБСЕ - ЕЭК ООН: 6-я сессия По Евро-Азиатским транспортным путям сообщения. - Алматы, 5-7 июля 2011.
URL: <https://www.ECE-TRANS-WP 5-GE2-06-Presentation 04.pdf>
11. Mustafayeva A.Z., Qasımov V.E. Zəngəzur dəhlizində tranzit daşımaların artırılmasında Zəngilan beynəlxalq hava limanının rolu // Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü ildönümünə həsr olunmuş "Azərbaycanda nəqliyyatın aktual problemləri" XXIV elmi-texniki tələbə konfransı, - Bakı: Milli Aviasiya Akademiyası - 4-5 may, - 2023, - s. 133-134.

REFERENCES

1. Najafov E.M., Mustafayeva A.Z. beynelkhalg neqliyyat dehlizlerinin inkishaf tendensiyasy // - Baky: Milli Aviasiya Akademiyasynyn Elmi Mejmuesi, 2024. Jild 26, №2, - s. 9-19.
2. Isaienko, V.M. International Transport Corridors Functioning Efficiency in the Digital Economy Conditions / V.M. Isaienko, D.O. Bugayko, M.Y. Grygorak [et al.] // Journal of Logistics and Transport, - National Aviation University Kyiv, Ukraine: - 2019. №2, p. 47-55.
3. Mustafayeva A.Z., Najafov E.M. Beynəlkhalq neqliyyat dehlizlerinin formalashmasynyn nezeri aspektleri // “Fevral meruzeleri 2024: Aviakosmik meselelerin hellində genclerin yaradyjy potensialy” IX Beynəlkhalq elmi-praktiki genjler konfransy, - Baky: Milli Aviasiya Akademiyasy- 8-10 fevral, - 2024, - s. 276-279.
4. Trade and Transport Corridor Management Toolkit: [Electronic resource] / C. Kunaka, R. Carruthers.; International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank – Washington DC, April 17, 2014.
URL: <https://www.worldbank.org>
5. Mustafayeva A.Z. Zengezur dehlizi Orta dehlizin katalizatoru kimi // Heyder Aliyevin anadan olmasynyn 101-ji ildonumune hesr olunmush "Azerbayjanda nəqliyyatyn aktual problemləry" XXV elmi-tehniki telebe konfransy,- Baky: Milli Aviasiya Akademiyasy - 7-8 may, - 2024, - s. 6-7.
6. Asian Development Bank: Carec Corridor Performance Measurement And Monitoring Annual Report 2019: [Electronic resource] / Philippines - 2019.
URL: <https://www.adb.org>
7. Mezhdunarodnyye transportnyye koridory i logisticheskiye tsentry / B. Kerimov, E. Najafov, Indira Asil'bekova [i dr.] - Baky: Natsional'naya Aviatsionnaya Akademiya, - 2024. – 176 s.
8. Asian Development Bank: CAREC Corridor Performance Measurement and Monitoring: [Electronic resource] / Philippines - December, 2021.
URL: <https://www.cpm-carecprogram.org>
9. Asian Development Bank: Carec Corridor Performance Measurement And Monitoring Annual Report 2020 - The Coronavirus Disease And Its Impact: [Electronic resource] / Philippines - December, 2021.
URL: <https://www.adb.org>
10. Otsenka y monitoring deyatel'nosty koridorov: [elektronnyy resurs] / Gruppa ekspertov OBSE - YEEK OON: 6-ya sessiya Po Yevro-Aziatskim transportnym putyam soobsheniya. - Almaty, 5-7 iyulya 2011.
URL: <https://www.ECE-TRANS-WP 5-GE2-06-Presentation 04.pdf>
11. Mustafayeva A.Z., Gasymov V.E. Zengezur dehlizinde tranzit dashymalaryn artyrylmasynnda Zengilan beynelkhalg hava limanynyn rolu // Heyder Aliyevin anadan olmasynyn 100-ju ildonumune hesr olunmush "Azerbayjanda nəqliyyatyn aktual problemləry" XXIV elmi-tehniki telebe konfransy, - Baky: Milli Aviasiya Akademiyasy - 4-5 may, - 2023, - s. 133-134.

ASSESSMENT AND MONITORING OF THE PERFORMANCE OF INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS (CAREC EKHPERIENCE)

*Najafov E.M., Mustafayeva A.Z.
National Aviation Academy*

International trade and transport corridors (BTND) are the main routes that ensure and facilitate the movement of passengers and goods between countries. They allow to offer high-capacity transport systems and services that reduce trade and transport costs to the regions and countries they pass through. BTND is considered an economic lifeline and provides countries with efficient land routes to access international markets.

Well-thought-out corridor projects have a significant impact on the development of countries, reduce trade costs, and increase the competitiveness of regions and countries [1].

Key words: *project, world ekhperience, corridor, transport, development, international transport corridor, cooperation, transit, economy, freight and passenger transport*

Rəyçi: *h.f.d., dos., Nağıyev N.T.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Nəcəfov Elman Mehdi oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	“Avianəqliyyat istehsalatı” kafedrasının müdiri	elmannecef@gmail.com mob: (+994) 70 311 54 82
Mustafayeva Aytac Zahid qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	“Nəqliyyatda daşımaların və idarəetmənin təşkili mühəndisliyi” – magistrant	amustafayeva.30891@naa.edu.az mob: (+994) 70 301 09 12

UOT 656.7

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1026

HAVA NƏQLİYYATI SİSTEMLƏRİNDƏ ƏKS-ƏLAQƏ PROSESLƏRİNİN ÇOXÖLÇÜLÜ XƏTTİ TREND MODELƏRİNİN QURULMASI

Ağayev N.B., Ağayev N.F.
Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə təklif olunan trend model aviaşirkətlərin effektiv idarəetmə sisteminin təkmilləşdirilməsi istiqamətində görülməli işlərə metodiki yardım üçün bir yanaşma təqdim edir. Digər xidmət sektorlarından fərqli xüsusiyyətlərə malik olan aviadaşımalarda sərnişinlərin tələbləri, məmnunluğu coğrafi, iqtisadi amillər, istifadə konteksti, yerli və beynəlxalq idarəetmə, resurs istifadəsi və standartlarla tənzimlənir. Bu xüsusiyyətləri nəzərə alaraq sərnişinlərlə bağlı problemlər sistemləşdirilərək uçuşların gecikməsi və ləğvi, baqaj ilə əlaqəli problemlər, overbooking kimi ümumiləşdirilərək, narazı sərnişinlərin bu faktorlardan asılı trend modeli qurulmuşdur. Model Amerika Birləşmiş Ştatlarının hava nəqliyyatına aid statistik məlumatlar toplusundan istifadə edilərək qurulmuş, nəticələrin faktiki verilənlərlə təklif olunan model əsasında hesablanmış qiymətlər arasında nisbi xətanın analizi ilə adekvatlığı qiymətləndirilmişdir. Hesablama eksperimentinin 2019-cu və 2022-2023-cü illər əsasında aparılmış nəticələrinin analizu nisbi xətanın son illər üzrə azaldığını göstərmişdir. Bu, COVID-19 pandemiyasının hava nəqliyyatının hərəkətinə mənfi təsirinin azalması, hava nəqliyyatında stabilləşmə tendensiyasının başlanmasını göstərir. Alınmış nəticələrdən narazı sərnişinlərin proqnoz göstəricilərinin təyin edilməsində, gələcəkdə təklif edilən model əsasında müasir İT (informasiya texnologiyaları) təbiiqi ilə xidmət sektorunun daha mükəmməl intellektual modellərinin qurulmasında istifadə etmək olar.

Açar sözlər: əks-əlaqə, sorğu, sərnişin, hava nəqliyyatı, baqaj, təhlükəsizlik, müştəri xidməti, müştəri məmnunluğu.

Giriş

Hazırda İT inkişafı bütün sahələrdə texniki-texnoloji yeniliklərə səbəb olmaqla yanaşı, eyni zamanda müəssisələrin daha geniş profilli olmasına, istehsal proseslərinə daha çox müxtəlif ixtisaslı mütəxəssislərin cəlb edilməsinə səbəb olmuşdur. Nəticədə müəssisənin xidmət sahəsinin işinin qiymətləndirilməsi prosesi daha çox mürəkkəbləşmiş, sahənin xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması tələbi emal edilən informasiyanın həcmnin və keyfiyyətinin dəyişməsinə səbəb olmuşdur. Beləliklə, əks əlaqə əsasında xidmət sahəsinin işinin qiymətləndirilməsi həm praktiki, həm də elmi-nəzəri cəhətdən aktualıq kəsb etmişdir. Hal-hazırda bu sahədə aparılan elmi-nəzəri tədqiqatları əsasən üç istiqamətdə qruplaşdırmaq olar: istehsal sahələri, qeyri-istehsal sahələri və sosial sahələr. İstehsal sektorunda xidmət sahəsinin qiymətləndirilməsinə həsr edilmiş elmi-tədqiqatlara əsasən məlumatlar əvvəlki xidmət haqqında faydalı və ya tənqidi rəyi bildirmək üçün toplanır və müxtəlif nəzəri üsullar ilə emal edilərək istifadə olunur. Belə ki, [1,2] işində istehsal zəncirinin riyazi modelləşdirilməsi nəticəsində tələb-təklif və təminat triadası arasındakı əlaqələrin idarə edilməsi vasitəsi ilə xidmət sektorunun işinin optimallaşdırılması məsələsinə baxılmışdır. Məsələnin həlli nəzəri cəhətdən bu istiqamətdə yeni variantlar araşdırır, lakin məlumatların təsadüfi xarakter daşması səbəbindən təklif edilən həll modellərdən bilavasitə istifadə etmək mümkün olmur. Bu

yanaşmadan fərqli olaraq [3] işində texnoloji prosesin neyromodeli vasitəsi ilə əks-əlaqə prinsipindən istifadə etməklə istehsalın proqnozlaşdırılması əsasında xidmət keyfiyyətinin öyrənilməsi metodikası verilmişdir. Təklif edilən proqnoz qiymətlərinin öyrədilməsi məsələsinin həll metodikasından digər sahələrdə də istifadə etmək təklif edilir.

Digər bir istiqamət istehsal zəncirinin tələb-təklif və təminat hissəsində alıcının tələblərinin, məmnunluğunun təmin edilməsi məsələsinin həlli üçün metodologiyanın yaradılmasıdır. Məlumdur ki, ümumiyyətlə istehsal-istehlak qarşılıqlı əlaqəsi coğrafi, iqtisadi amillər, istifadə konteksti, yerli və beynəlxalq idarəetmə, resurs istifadəsi və standartlarla tənzimlənir [4-6]. Təbii ki, məhsul-xidmət sahəsində daha dəqiq və effektiv plan hazırlamaq üçün hədəf bazarların və ölkələrin iqtisadi meyllərində üstünlük təşkil edən istiqamətlərdən istifadə edilməlidir. Bazarın tələblərini nəzərə almaq, həmçinin bazara təqdim olunan məhsul və xidmətləri təkmilləşdirmək üçün real alıcılarla qarşılıqlı əlaqəni dəstəkləmək və onların mövcud məhsul-xidmət haqqında fikirlərini tez bir zamanda əldə etmək üçün texnologiyanın inkişafı vacibdir [7]. Alıcıların məhsulun həyat dövrü ərzində inteqrasiyası və tələblərinin öyrənilməsi də qənaətcil innovasiya konsepsiyasının təqdim etdiyi yeni biznes modelinin bir hissəsidir [8]. Alıcıların rəyini öyrənmək çətin prosesdir, çünki onların rəyi adətən konkret məhsul üçün toplanır, bu səbəbdən modulyasiya edilmir və ölçülmür. Müasir şirkətlər alıcıların məhsul məmnunluğunu ölçmək, onların təkliflərindən istifadə etmək üçün istifadə olunacaq hərəkətlər və üsullara əsaslanaraq, onlara necə yanaşmaq barədə strategiyalarını tərtib edirlər [9]. Alıcılardan əldə edilmiş təkliflər və sorğu haqqında fikirlərini bildirməyə təşviq edən əlaqə xətlərinin qurulması və ya telefon zəngləri, ya da sorğu vərəqlərinin kağızda təqdim olunduğu məhsul satış məntəqələri vasitəsilə alıcıların məhsul haqqında rəyi [10] öyrənilir. Toplanmış rəylər Feedback proseslərinin öyrənilməsində əsas informasiya mənbəyi olmaqla onların analizi vasitəsi ilə tələb-təklif və təminat hissəsində alıcının tələbləri və məmnunluğunun təmin edilməsi üçün metodologiyanın yaradılmasında istifadə edilir. Belə ki, [5] işində məhsul və xidmətlər haqqında müştəri rəylərinin toplanması və modul unifikasiya olunmuş metodoloji yanaşmaya əsaslanan məmnuniyyət təhlili üçün mobil proqramlar təklif olunur. İşdə [10] mobil proqram və effektiv rəy idarəetmə metodu ilə dəstəklənən rəylərin toplanması və idarə olunması üçün bir yanaşma təqdim edilir. Hazırlanmış sistem alıcıların fikirlərini birləşdirərək məhsul-xidmət sistemini dəstəkləmək məqsədi daşıyır. Hazırlanmış sistem həmçinin şirkətlərə yüksək əlavə dəyər və məqsədyönlü həlləri bazara təqdim etməyə və ya mövcud olanları effektiv şəkildə yenidən işləyərək bazarın tələbinə uyğunlaşdırmağa imkan verir. Qabaqcıl texnologiya və mobil proqramların istifadəsi şirkətlərə müştəriləri daha çox cəlb etməyə, onların rəylərini nəzərə almağa və təhlil etməyə kömək edir. Bunun üçün tədqiqat işlərində səmərəli və dəqiq məhsul-xidmət vasitələrini dəstəkləmək üçün müştərilərin rəylərinin toplanması və idarə olunması üçün müxtəlif alətlər təqdim edilir [11]. Bu tendensiyanın həyata keçirilməsini dəstəkləyən texnologiyalar bulud hesablamaları, yaddaşdaxili proqramlar və müəssisə mobilliyidir [12]. Burada mobillik termini fiziki istehsal resurslarının hərəkəti kimi şərh oluna bilsə də, bu işdə “maraqlı tərəfin şirkətin əsas fəaliyyətləri ilə daim və interaktiv əlaqədə qalmaq və uzaqdan qərarlar qəbul etməyə imkan vermək qabiliyyəti” kimi müəyyən edilmişdir [13]. Müasir yanaşmalar, bütün dünyada alıcılara asanlıqla göndərilə və ya onlardan onlayn əldə edilə bilən istifadəçi interfeysi təmin edən veb əsaslı sorğu həllərindən, ən çox yayılmış Google Forms®-dan istifadə edir [14]. Mobil proqramlar alıcılarına istifadəsi asan alətlər təqdim etmək və təqdim olunan məhsul-xidmət üçün dəyərli rəy əldə etmək məqsədi daşıyır. Bununla belə, İKT sistemləri ilə asanlıqla bir-birinə bağlanan, eləcə də təhlil edilən

məlumatları sadə və effektiv şəkildə təmin edə bilən mobil proqramlar əlavə araşdırma sahəsidir. Alıcılar tərəfindən verilən məlumatların həcmi artdıqca onlar tərəfindən buraxılmış səhvlərin identifikasiyası və bu səhvi aradan qaldırmaq üçün məlumatları maşın öyrənmə alqoritminə vermək tələbi yaranır. Belə ki, məlumatlar yüksək dəqiqliklə öyrədilsə, alıcıların rəyini daha yaxşı təhlil etmək imkanı yaranır [15]. Məlumatlar ilkin emal edilmədən öyrətmə sisteminə daxil edilərsə, təbii ki, öyrətmə prosesi ya ümumiyyətlə baş verməyə bilər, ya da iterasiyaların son həddinə görə səhv nəticə verə bilər. Bu halları nəzərə alaraq [16, 17] işlərində sorğu zamanı əldə edilmiş müştəri şərhlerini təsnif etmək üçün Data Mining metodlarından istifadə edilmişdir. Bunun üçün məlumatlar maşın öyrənmə alqoritminə verilməzdən əvvəl rəylər xüsusi üsullarla təkrar sözlərin aradan qaldırılması, sözlərin silinməsinin qarşısının alınması, sözlərin köklərinin müəyyənəşdirilməsi, nişanlanması və s. vasitəsi ilə emal edilir. Bir çox müəlliflər Support Vector Machine (SVM), Naive Bayes (NB) və Artificial Neural Network (ANN) kimi bəzi maşın öyrənmə alqoritm modellərindən istifadə edərək rəylərin təhlili proqnozlaşdırırlar [18].

Mürəkkəb texniki sistem kimi hava nəqliyyatı, iqtisadiyyatın digər sahələrinə nəzərən geniş profilliliyi, həm də sistem daxilində müxtəlif proseslərin idarə edilməsinin spesifik xüsusiyyətləri səbəbindən kifayət qədər çətin idarəolunan proseslərə aiddir. Sistemin xüsusiyyətlərində baş verən dəyişikliklər bir-biri ilə səbəb-nəticə əlaqələri ilə bağlıdır, bu qarşılıqlı əlaqənin mürəkkəbliyi həm sistemin bütövlükdə, həm də hər bir alt sistemlərin qarşılıqlı əlaqədə təhlili metodologiyasının işlənilib hazırlanmasını tələb edir. Bu xüsusi ilə sərnişin problemlərinin həllinə yönəlmiş metodologiyaların işlənilib hazırlanması nəticəsində aviadaşıma üçün ən optimal metod və vasitələrin hazırlanmasında özünü daha qabarıq göstərir [19].

Yeni informasiya texnologiyalarının və süni intellekt elementlərinin idarəetmədə uğurla tətbiq edilməsi perspektivlərinin artmasına baxmayaraq, hətta dünyanın ən inkişaf etmiş ölkələrindən biri olan ABŞ-ın hava nəqliyyatı sistemində də mövcud tələbatı ödəmək üçün yeni aviasiya məlumat sistemlərinin tətbiqində ciddi çətinliklər yaranır. Tutum məhdudluğu ABŞ-ın hava nəqliyyatı sisteminin modernləşdirilməsi ehtiyacını stimullaşdıran əsas məsələlərdən biri kimi ortaya çıxır. Şəkil 1-də göstəriləni kimi hava nəqliyyatına tələbat durmadan artmaqdadır və artımın hələ də davam etdiyi məlumdur [20]. Məs. 2020-2021-ci ildə COVID-19 pandemiyası hava nəqliyyatının hərəkətinə mənfi təsir etməsinə baxmayaraq həmin dövrdə ABŞ-da uçuşların ümumi sayı müvafiq olaraq 14126638; 13742633; 14126638 olmuşdur. Həmin dövrdə gecikən və ya ləğv edilən uçuşların sayı müvafiq olaraq 181840; 371324; 181840 olmuşdur [21].

Qeyd edək ki, nəqliyyat proseslərinin modelləşdirilməsində əsasən üç növ metodoloji yanaşma mövcuddur:

Birinci yanaşmada additiv, multiplikativ və ya onların kombinə edilmiş modelindən istifadə etməklə logistik göstəricilər toplusu bir inteqral göstərici şəklində ifadə edilir.

İkinci yanaşmada göstəricilərdən biri əsas kimi seçilir, digərləri isə bu parametrin dəyişmə xarakterinə uyğun olaraq ümumi şəkildə modelə daxil olur. Eyni zamanda, əsas göstəricinin seçimi idarəetmənin məqsədlərinə, idarəetmə obyektinin fəaliyyət şərtlərinə və səmərəliliyin qiymətləndirilməsi vəzifələrinə uyğun olaraq həyata keçirilir.

Üçüncü yanaşmada göstəriciləri əhəmiyyətinə görə sıralamaqla model qurulur. Bu halda bütün göstəricilər nəzərə alındığından riyazi model kifayət qədər mürəkkəb ola bilər.

Hava nəqliyyatında sərnişindəşıma proseslərinin modelləşdirilməsində hansı yanaşmanın seçilməsindən asılı olmayaraq uçuşların, sərnişinlərin və yüklərin təhlükəsizliyini əsas götürərək ən

səmərəli və effektiv həllərin tapılmasına yönəlmiş modellərin istifadəsi hazırda ən aktual məsələlərdən biridir. Təbii ki, bütün hallarda problemin həlli təhlükəsizliyi təmin etməklə optimal təchizat zəncirində qarşılıqlı əlaqədə sərnəşin-aeroport-sərnəşin təyyarəsi sistemində tələb-təklifin optimal münasibətini saxlamaqla xidmət menecmenti sisteminin qurulması vasitəsi ilə əldə edilir. Bu sistemin fəaliyyəti bilavasitə xidmət prosesinin düzgün və səmərəli qurulmasından asılıdır.

İşin məqsədi. Hava nəqliyyatının xidmət sahələrində mövcud problemlərin sistemli analizinin aparılması və onlar arasında səbəb-nəticə əlaqələrinin müəyyən edilməsi vasitəsi ilə xidmət modelinin qurulmasıdır.

Məsələnin həlli. Aviadaşımaların səmərəliyinin artırılmasının əsas istiqamətlərindən biri xidmət sektorunun işinin düzgün qurulması və burada rast gəlinən problemlərin həlli istiqamətində sistemli analiz vasitəsi ilə elmi əsaslandırılmış metodların tətbiqidir.

Şəkil 1-də aviadaşımalarda sərnəşinlərlə bağlı problemlər sistemləşdirilərək göstərilmişdir. Bu problemlər aşağıdakı kimi təsvir olunur [22].



Şəkil 1. Aviadaşımalarda sərnəşinlərlə əlaqəli problemlər

Uçuşların gecikməsi və ləğvi. Aviaşirkətlərdə ən çox yaranan problemlərdən biri uçuşların gecikməsi və ya ləğv edilməsidir, bu da öz növbəsində sərnəşinlər üçün narahatlıq yaradır. Sərnəşinin uçuşu birbaşa olmadığı halda, əlavə xərclər meydana çıxıb bilər. Bu problemə digərlərinə nisbətən daha çox rast gəlinəndən onun ümumi problem içərisində çəkisi daha çox əhəmiyyət daşıyır. Bir qovşaqlarda yaranan gecikmə, sistem daxilində digər gecikmələrə səbəb ola bilər.

Baqajın itirilməsi və ya zədələnməsi. SITA-nın (Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques) illik hesabatına görə, 2019-cu ildə 25.4 milyon baqaja müəyyən ziyan dəymişdir [21]. 2019-cu ildə 4.54 milyard sərnəşinin hava nəqliyyatından istifadə etdiyini nəzərə alsaq, itmiş və ya zədələnən baqajın hər 10000 sərnəşinə 56 sayda olması onun tez-tez baş verən problem kimi qeyd edilməsinə səbəb olur. Bu, sərnəşinlər üçün əhəmiyyətli narahatlıqlara səbəb ola

bilər, xüsusilə onların baqajlarında qiymətli əşyalar mövcud olarsa, aviaşirkət üçün həm maddi, həm də hüquqi tərəfdən problemlər yaranar.

Overbooking (həddindən artıq bronlaşdırma). Aviaşirkətlər uçuşa gəlməyən sərnişinlərin yerlərini kompensasiya etmək üçün tez-tez uçuşlarına əlavə biletlər satırlar. Müəyyən reyslər üzrə eyni oturacaq yerinə iki bilet satıla bilər. Bəzi hallarda, hər iki müştəri reysə gəldiyi və təyyarə dolu olduğu zaman, bu sərnişinlərə uçuşdan imtina üçün kompensasiya təklif olunur. Aviaşirkətin təklifini qəbul edərək, kompensasiya alan sərnişin uçuşdan kənarlaşdırılır. Belə halın baş verməsi əhəmiyyətli narahatlıqlara və hətta maliyyə itkilərinə səbəb ola bilər. Overbooking strategiyası, xidmət göstərən şirkətlərə kömək etsə belə, bu xidmət göstərilən məntəqədə müştərilərin sayı çox olduğu halda, problemə çevrilə bilər [23].

Müştəri xidmətinin aşağı səviyyədə olması. Aviaşirkətlərin müştəri xidmətinin aşağı səviyyədə olması sərnişinlərin narazılığına səbəb olur, bu da öz növbəsində müştərinin digər aviaşirkətlərdən istifadə etməsi ilə nəticələnir. Xidmətdə boşluq baş verdikdə, müştəri məmnuniyyətini bərpa etmək çətin olur. Bu halda müştəri rəqib təşkilatın xidmətlərindən istifadə edə bilər [24].

Əlavə xərclər. Bəzi aviaşirkətlər baqaj, oturmaq seçimi və qida kimi xidmətlər üçün əlavə ödənişlər (aviabiletin qiymətindən kənar) təyin edə bilər, bu da sərnişinlər üçün gözlənilməz xərclər yarada bilər. Bu tip narahatçılıqlar yalnız sərnişinlərin seçimi əsasında baş verir və ümumi sərnişin axınları içərisində az rast gəldiyindən sonrakı tədqiqatlarda biz bu parametrdən istifadə etməyəcəyik.

Narahat oturmaq yerləri. Aviaşirkətlər gəlirin artırılması üçün mümkün qədər çox biletlər satmağa çalışır, bu bəzi hallarda oturmaqların dar olmasına, xüsusilə uzun uçuşlar zamanı sərnişinlərin narahatlığına və narazılığına səbəb olur.

Təhlükəsizlik. Nadir hallarda olsa da, avadanlıqların nasazlığı, turbuləntlik və ya digər məsələlər kimi təhlükəsizlik problemləri sərnişinlər üçün əhəmiyyətli narahatçılıq yarada və qorxuya səbəb ola bilər.

Sonuncu 4 problem az hallarda baş verdiyindən və bilavasitə sərnişinlərin bu problemlərə münasibətindən asılı olduğundan biz bu problemlərlə üzləşən sərnişinləri narazı sərnişinlər kimi qeyd edəcəyik. Beləliklə aviadaşımalarda sərnişinlərlə bağlı problemlər sistemləşdirilərək aşağıdakı kimi ümumiləşdirilə bilər:

- uçuşların gecikməsi və ya ləğvi;
- baqaj ilə əlaqəli problemlər (Baqajın səhv təyinat üzrə göndərilməsi);
- overbooking;
- narazı sərnişinlər.

Tədqiq edilən problemlər təbiəti etibarlı ilə qeyri-müəyyən və təsadüfi faktorların təsiri ilə formalaşsa da bu illər ərzində ümumi şəkildə tendensiya saxlanılmışdır. Bu problemlərin yaranması əsasən aviaşirkətlərin nəqliyyat-texniki vəziyyətindən, ətraf mühitin dəyişməsindən, ölkədə mövcud iqtisadi aktivlikdən və s. faktorlardan asılı olduğu üçün müəyyən müddət ərzində onların qarşılıqlı əlaqəsi bu dəyişmələrdə nisbətən sabit tendensiyaların yaranmasına səbəb olmuşdur [25]. Təbii ki, uçuşla əlaqəli istənilən problem eyni zamanda sərnişinlərə də təsir edir və nəticədə xidmət göstərən aviaşirkətlərdən narazı sərnişinlər kütləsini formalaşdırır. Bu halda ləğv edilmiş uçuşlara bilet almış sərnişinlərlə yanaşı, baqaj və ehtiyat yer (overbooking) problemləri ilə üzləşmiş sərnişinlər də aviaşirkətin xidmətindən narazı olacaqlar. Digər səbəblərdən narazı sərnişinlərin sayını ümumi

şərnişin sayının 1-2% miqdarında qəbul etmək olar. Beləliklə, qeyd edilənlərə əsasən aviaşirkətlərin xidmət sektorunda narazı şərnişinlərin ümumi sayının ləğv edilmiş uçuşlar, baqaj və ehtiyat yer problemlərinin səbəb-nəticə əlaqələrinin orta statistik göstəricilərindən funksional asılılıqlarını riyazi olaraq aşağıdakı kimi göstərə bilərik:

$$Y_{\text{şərnişin}} = \alpha_1 U + \alpha_2 B + \alpha_3 O \quad (1)$$

burada:

α_i – uçuşdan narazı olan şərnişinlərin uyğun problemə görə dəyişmə tezliyidir.

U - gecikən və ya ləğv edilən uçuşların sayı.

B - itirilmiş və ya zədələnmiş baqajların tədqiq edilən interval daxilində ümumi sayı.

O - overbooking hadisəsi ilə rastlaşan şərnişinlərin tədqiq edilən interval daxilində ümumi sayı.

$Y_{\text{şərnişin}}$ - uçuşdan narazı olan şərnişinlərin yuxarıda qeyd edilmiş üsulla təyin edilmiş ümumi sayı.

Ən kiçik kvadratlar üsulu (ƏKKÜ) ilə (1) modelində iştirak edən əmsalları aşağıdakı sistem tənliyinin həlli kimi təyin edə bilərik:

$$\begin{aligned} \alpha_1 \sum_1^{12} U_i^2 + \alpha_2 \sum_1^{12} B_i U_i + \alpha_3 \sum_1^{12} O_i U_i &= \sum Y_i U_i \\ \alpha_1 \sum_1^{12} U_i B_i + \alpha_2 \sum_1^{12} B_i^2 + \alpha_3 \sum_1^{12} O_i B_i &= \sum Y_i B_i \\ \alpha_1 \sum_1^{12} U_i O_i + \alpha_2 \sum_1^{12} B_i O_i + \alpha_3 \sum_1^{12} O_i^2 &= \sum Y_i O_i \end{aligned} \quad (2)$$

(2) sistemini həll etmək üçün

$$A = \begin{vmatrix} \sum_1^{12} U_i^2 & \sum_1^{12} B_i U_i & \sum_1^{12} O_i U_i \\ \sum_1^{12} B_i U_i & \sum_1^{12} B_i^2 & \sum_1^{12} O_i B_i \\ \sum_1^{12} O_i U_i & \sum_1^{12} O_i B_i & \sum_1^{12} O_i^2 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} \sum Y_i U_i \\ \sum Y_i B_i \\ \sum Y_i O_i \end{vmatrix}$$

və $Alfa = \|\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3\|$ işarə edək. Bu halda (2) sistemini matris şəklində aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$A \cdot Alfa = B \quad (3)$$

(3) sisteminin həlli

$$Alfa = A^{-1} \cdot B \quad (4)$$

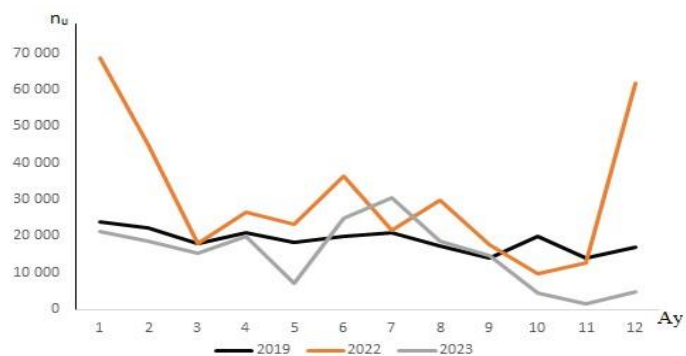
kimi hesablanır. İşarələməni nəzərə alaraq A matrisini və B sərbəst həddlərini hesablaya bilərik. Bunun üçün Microsoft Excel proqram təminatından MINVERSE (A) funksiyasından istifadə edilmişdir.

Hesablamalara əsasən problemlərin dinamikasının tərtibi

2020-2021-ci ildə COVID-19 pandemiyası hava nəqliyyatının hərəkətinə mənfi təsir etmişdir, bunu nəzərə alaraq şərnişindaşımalar üzrə analiz 2019-cu və 2022-2023-cü illər əsasında aparılmışdır. Amerika Birləşmiş Ştatlarının rəsmi məlumatları daha dolğun şəkildə göstərildiyindən, həmin mənbələrdən geniş istifadə olunmuşdur [19-21].

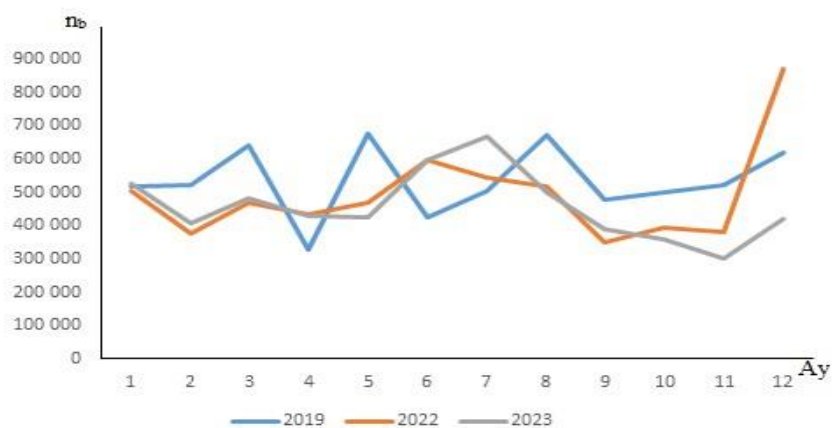
Yuxarıda qeyd edilən problemlərin bu illər ərzində dinamikası şəkil 2-5-də göstərilmişdir. Ləğv edilmiş uçuşların dinamikası 2019 və 2022-ci illərdə demək olar ki, sabit qalsa da, 2023-cü ilin yanvar və dekabr aylarında kəskin artım (şəkil 2) olmuşdur ki, bunu da həmin zaman hava şəraitinin pisləşməsi ilə izah etmək olar.

Qeyd edək ki, (1) formulu çoxfaktorlu xətti regressiya modeli kimi xidmətdən narazı şərnişinlərin sayının ilkin yaxınlaşmada model kimi qəbul etmək olar. Bu model problemlə narazı şərnişinlər arasında birbaşa korrelyasiya əlaqəsinin mövcudluğu səbəbindən irəli gəlir.

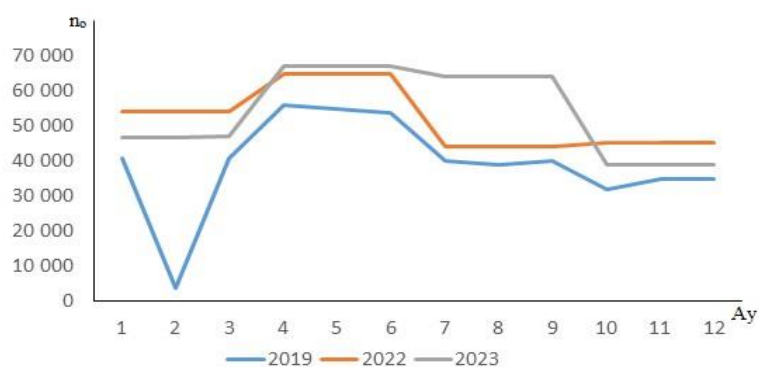


Şəkil 2. Ləğv edilmiş uçuşların n_u dinamikası

Baqaj və overbooking ilə əlaqəli problemlər xarici faktorların və ətraf mühitin dəyişməsindən asılı olmadığından həmin illər ərzində nisbətən sabit qalmışdır (şəkil 3,4).

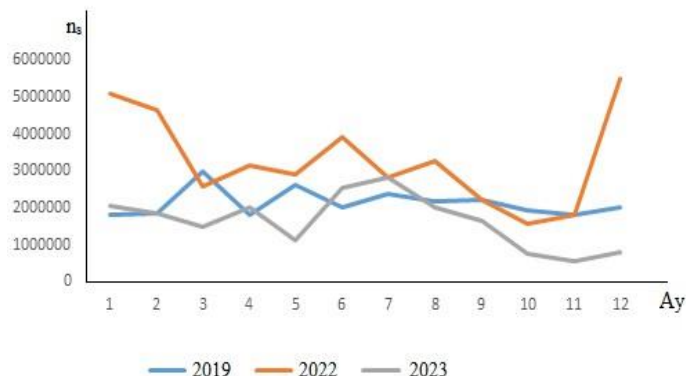


Şəkil 3. Baqaj ilə əlaqəli problemlərin n_b dinamikası



Şəkil 4. Overbooking ilə əlaqəli problemlərin n_o dinamikası

Şəkil 5-də narazı sərnişinlərin sayının aylar üzrə paylanması göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, 2022-ci ilin yanvar, fevral və dekabr aylarında narazı sərnişinlərin sayı kəskin artmışdır. Bunu pandemiyadan sonrakı dövrdə (xüsusən yeni il ərəfəsində) uçuşların sayının da kəskin artması ilə izah etmək mümkündür.



Şəkil 5. Narazı sərnişinlərin n_s dinamikası

Şəkil 2-5-ə əsasən hər bir il üçün (2) sisteminin əmsalları hesablanmışdır. (4) formulu vasitəsi ilə Alfa kəmiyyətinin hesablanmış qiymətləri cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1

(1) formulunda naməlum əmsalların ƏKKÜ metodu ilə hesablanmış qiymətləri

İl	Alfa 1	Alfa 2	Alfa 3
2019	14.73593	2.68096	11.02909
2022	58.5839	1.2877	16.1962
2023	70.64077	0.369925	7.376618

Cədvəl 1-dən görüldüyü kimi α_i $i = 1,3$ qiymətləri tədqiq edilən illər üçün xaraktercə sabit qalır. Bu faktiki məlumatların həcmi artdıqca (1) modelindən daha dəqiq nəticələr almağa imkan verəcəkdir.

Narazı sərnişinlərin faktiki sayları ilə (1) modeli üzrə cədvəl 1-ə əsasən hesablanmış qiymətləri arasında nisbi xətlər analiz edilmişdir (cədvəl 2). Xətlərin analizi göstərir ki, 2019-cu ildə ilkin verilənlərlə model üzrə hesablanmış qiymətlər arasındakı fərqlər 2022-2023-cü illərə nisbətən daha çoxdur. Qeyd edək ki, alınmış modellər əsasında aylar üzrə hesablanmış nisbi xətlərin orta qiymətləri 2023-cü ildə ən kiçik olmuşdur. Bu α_i $i = 1,3$ əmsalları haqqında yuxarıda deyilmiş fikri bir daha təsdiqləyir.

Cədvəl 2

(2) formulu ilə hesablanmış qiymətlərlə faktiki məlumatlar arasında nisbi xətlərin qiymətləri

Nisbi xəta			
Ay	2019	2022	2023
Yanvar	19.151808	8.842801	1.010058
Fevral	5.389146	13.57485	2.935967
Mart	18.962346	2.096755	7.140903
Aprəl	0.5267842	0.427771	1.43418
May	2.3718293	4.590225	4.575605
İyun	0.5864973	0.449236	2.17693
İyul	12.719978	5.342901	1.689019

Avqust	12.997982	3.988385	2.627735
Sentyabr	13.029429	1.749909	0.223458
Oktyabr	2.6802776	15.50022	2.832963
Noyabr	10.236169	8.27503	7.495011
Dekabr	13.067535	0.654918	1.63271
Aylar üzrə orta	9.3099818	5.457751	2.912116

Nəticə

Narazı sərnişinlərin sayı təkcə ləğv edilmiş uçuşlara bilet almış sərnişinlərlə yanaşı, baqaj və overbooking problemləri ilə üzləşmiş sərnişinlərdən ibarət olaraq formalaşmır. Burada xidmət sektorunun digər sahələrində – bilet satışından tutmuş, təyyarəyə minik başlayana qədər sərnişinin rast gəldiyi problemlər də öz rolunu oynayır. Təbii ki, qeyd edilən faktorlar kəmiyyət xarakteristikalarına görə təsadüfi dəyişmələrə malik olsalar da, ümumi halda narazı sərnişinlərin sayı bu faktorların additiv asılılığı şəklində göstərilə bilər. Lakin təsir edən bütün faktorları müəyyən edə bilmədiyimiz üçün, modellə faktiki verilənlər arasında həmişə müəyyən fərq olacaqdır. Bu fərq nisbi qiymətlərdə kiçik kəmiyyətlərlə ifadə edilsə də bütöv ölkə və ya region üzrə tədqiqatlarda mütləq xəta göstəriciləri kifayət qədər böyük qiymətlərlə ifadə edilə bilər. Məqalədə təklif olunan çoxölçülü xətti trend modeli aviaşirkətlərin effektiv idarəetmə sisteminin təkmilləşdirilməsi istiqamətində görüləcək işlərə metodiki yardım üçün bir yanaşma təqdim edir. Aviadaşımalarda sərnişinlərlə bağlı problemlər sistemləşdirilərək uçuşların gecikməsi və ləğvi, baqaj ilə əlaqəli problemlər, overbooking kimi ümumiləşdirilərək, narazı sərnişinlərin bu faktorlardan asılı trend modeli qurulmuşdur və nəticələrin faktiki verilənlərlə model əsasında hesablanmış qiymətlər arasında nisbi xətanın analizi ilə adekvatlığı qiymətləndirilmişdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Michael Herty Christian Ringhofer Feedback Controls for Continuous Priority Models in Supply Chain Management \Computational Methods in Applied Mathematics Vol. 11 (2011), No. 2, pp. 206{213
2. Логиновский О.В., Козлов А.С.. Модель управления социально-экономической системой с двойной петлей обратной связи //Вестник ЮУрГУ, № 3, -2012, -стр. 72-80.
3. В.В. Климченко, А.Ю. Торгашов Модель с обратной связью для прогнозирования качества продукта совмещенного массообменного технологического процесса. //Информатика и системы управления,, -2017, №4((54)) Моделирование систем. -стр. 55-66. DOI: 10.22250/isu.2017.54.55-61
4. Hadijah, Isnarto, and Walid The effect of immediate feedback on mathematics learning achievement\ J. Pijar MIPA, Vol. 17 No.6, November 2022:pp 712-716. DOI: 10.29303/jpm.v17i6.4172
5. Gupta RK, Belkadi F, Bernard A. Adaptation of european product to emerging markets: modular product development. In: 15ème Colloque national AIP-PRIMECA, La Plagne, France; -2017.
6. Mourtzis D, Vlachou E, Giannoulis C, Siganakis E, Zogopoulos V. Applications for frugal product customization and design of manufacturing networks. Procedia CIRP 2016; 52:228-233.
7. Sampson SE. Gathering customer feedback via the internet: Instrument and prospects, Industrial Management and Data Systems, 1998; 98(2): -71-82.

8. Opoku RA. Gathering customer feedback online and Swedish SMEs, *Management Research News*, 2006; 29(3):106-127
9. Dimitris Mourtzis a,* , Ekaterini Vlachou, Vasilios Zogopoulos, Ravi Kumar Gupta, Farouk Belkadib, Adel Debbachec, Alain Bernard Customer feedback gathering and management tools for product-service system design// 11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '17.
10. Opoku RA. Gathering customer feedback online and Swedish SMEs, *Management Research News*, 2006; 29(3):106-127.
11. Stillström C, Jackson M. The Concept of Mobile Manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*. 2007;26: 188– 193. doi:10.1016/j.jmsy.2008.03.002.
12. Mourtzis D, Doukas M, Vandera C. Mobile Apps for Product Customisation and Design of Manufacturing Networks. *Manufacturing Letters* 2014; 2 (2): 30–34. doi:10.1016/j.mfglet.2014.01.002.
13. Dillman DA. Mail and internet surveys: The tailored design method, // New York: Wiley, Vol. 2; 2002.
14. Maheswaran M, Benaka Santhosh S. A Novel Approach for Analysis of Feedback in Banking System using Machine Learning Algorithm \\ *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) NCCDS - 2021 Conference Proceedings Volume 9, Issue 12*, pp 11-13
15. Vijayarani, Ilamathi, and Nithya “Preprocessing Techniques for Text Mining-An Overview”,\\International Journal of Computer Science & Communication Networks, Vol 5
16. Menaka S, Radha N “Text classification Using Keyword Extraction Technique” //International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering
17. Sharnitha Katragadda “Performance Analysis on Student Feedback using Machine Learning Algorithms”/ 6th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems 2020(ICACCS).
18. Aleksandra L. Mozdzanowska, Roland E. Weibel, and R. John Hansman Feedback Model of Air Transportation System Change: Implementation Challenges for Aviation Information Systems, //Proceedings of the IEEE | Vol. 96, No. 12, December 2008.
19. Joint Planning and Development Office, BConcept of operations for the next generation air transportation system/, Jun. 13, 2007, JPDO Tech. Rep. ver. 2.0.
20. Air Travel Consumer Reports for 2022 \ US Department of Transportation <https://www.transportation.gov/individuals/aviation-consumer-protection/air-travel-consumer-reports-2022>
21. Air Travel Consumer Reports for 2023 \US Department of Transportation <https://www.transportation.gov/resources/individuals/aviation-consumer-protection/air-travel-consumer-reports-2023>
22. C.C.Coughlin, J.P.Cohen, S.R.Khan. Aviation Security and Terrorism: //A review of the Economic Issues. Federal Reserve Bank of St.Louis Review. February 2002, page 9-25.
23. Amy K. Smith, Ruth N. Bolton, Janet Wagner. A Model of Customer Satisfaction with Service Encounters Involving Failure and Recovery. //Journal of Marketing Research. August 1999, page 356-372.

24. Xiaolong Guo, Yufeng Dong, Liuyi Ling. Customer Perspective on overbooking: The failure of customers to enjoy their reserved services, accidental or intended? //Journal of Air Transport Management 53. 5 January 2016, page 65-72.
25. Tor Wallin Anderassen, Bodil Lindestad. The Effect of Corporate Image in the Formation of Customer Loyalty.\\ Journal of Service Research, Vol 1, No.1. August 1998, pp 82-92.

REFERENCES

1. Michael Herty Christian Ringhofer Feedback Controls for Continuous Priority Models in Supply Chain Management \\Computational Methods in Applied Mathematics Vol. 11 (2011), No. 2, pp. 206{213
2. Loginovskiy O.V., Kozlov A.S.. Model upravleniya sosialno-ekonomicheskoy sistemoy s dvoynoy petley obratnoy svyazi //Vestnik YUUrGU, № 3, -2012, -str 72-80.
3. V.V. Klimchenko, A.YU. Torpashov. Model s obratnoy svyazyu dlya prognozirovaniya kchestva produkta sovmeshennogo massoobmennogo texnologicheskogo prosessa. //İnformatika i sistemi upravleniya,, 2017, №4((54)) Modelirovaniye sistem. -str 55-66. DOI: 10.22250/isu.2017.54.55-61
4. Hadijah, Isnarto, and Walid The effect of immediate feedback on mathematics learning achievement\\ J. Pijar MIPA, Vol. 17 No.6, November 2022:pp 712-716. DOI: 10.29303/jpm.v17i6.4172
5. Gupta RK, Belkadi F, Bernard A. Adaptation of european product to emerging markets: modular product development. In: 15ème Colloque national AIP-PRIMECA, La Plagne, France; -2017.
6. Mourtzis D, Vlachou E, Giannoulis C, Siganakis E, Zogopoulos V. Applications for frugal product customization and design of manufacturing networks. Procedia CIRP 2016; 52:228-233.
7. Sampson SE. Gathering customer feedback via the internet: Instrument and prospects, Industrial Management and Data Systems, 1998; 98(2): -71-82.
8. Opoku RA. Gathering customer feedback online and Swedish SMEs, Management Research News, 2006; 29(3):106 – 127
9. Dimitris Mourtzis a,*, Ekaterini Vlachou, Vasilios Zogopoulos, Ravi Kumar Gupta, Farouk Belkadib, Adel Debbachec, Alain Bernard Customer feedback gathering and management tools for product-service system design// 11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '17.
10. Opoku RA. Gathering customer feedback online and Swedish SMEs, Management Research News, 2006; 29(3):106 – 127.
11. Stillström C, Jackson M. The Concept of Mobile Manufacturing, Journal of Manufacturing Systems. 2007;26: 188– 193. doi:10.1016/j.jmsy.2008.03.002.
12. Mourtzis D, Doukas M, Vandera C. Mobile Apps for Product Customisation and Design of Manufacturing Networks. Manufacturing Letters 2014; 2 (2): 30–34. doi:10.1016/j.mfglet.2014.01.002.
13. Dillman DA. Mail and internet surveys: The tailored design method, // New York: Wiley, Vol. 2; 2002.

14. Maheswaran M, Benaka Santhosh S. A Novel Approach for Analysis of Feedback in Banking System using Machine Learning Algorithm \ International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) NCCDS - 2021 Conference Proceedings Volume 9, Issue 12, pp 11-13
15. Vijayarani, Ilamathi, and Nithya "Preprocessing Techniques for Text Mining-An Overview", \ International Journal of Computer Science & Communication Networks, Vol 5
16. Menaka S, Radha N "Text classification Using Keyword Extraction Technique" // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering
17. Sharnitha Katragadda "Performance Analysis on Student Feedback using Machine Learning Algorithms" / 6th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems 2020 (ICACCS).
18. Aleksandra L. Mozdzanowska, Roland E. Weibel, and R. John Hansman Feedback Model of Air Transportation System Change: Implementation Challenges for Aviation Information Systems, // Proceedings of the IEEE | Vol. 96, No. 12, December 2008.
19. Joint Planning and Development Office, B Concept of operations for the next generation air transportation system/, Jun. 13, 2007, JPDO Tech. Rep. ver. 2.0.
20. Air Travel Consumer Reports for 2022 \ US Department of Transportation <https://www.transportation.gov/individuals/aviation-consumer-protection/air-travel-consumer-reports-2022>
21. Air Travel Consumer Reports for 2023 \ US Department of Transportation <https://www.transportation.gov/resources/individuals/aviation-consumer-protection/air-travel-consumer-reports-2023>
22. C.C. Coughlin, J.P. Cohen, S.R. Khan. Aviation Security and Terrorism: // A review of the Economic Issues. Federal Reserve Bank of St. Louis Review. February 2002, page 9-25.
23. Amy K. Smith, Ruth N. Bolton, Janet Wagner. A Model of Customer Satisfaction with Service Encounters Involving Failure and Recovery. // Journal of Marketing Research. August 1999, page 356-372.
24. Xiaolong Guo, Yufeng Dong, Liuyi Ling. Customer Perspective on overbooking: The failure of customers to enjoy their reserved services, accidental or intended? // Journal of Air Transport Management 53. 5 January 2016, page 65-72.
25. Tor Wallin Anderassen, Bodil Lindestad. The Effect of Corporate Image in the Formation of Customer Loyalty. \ Journal of Service Research, Vol 1, No.1. August 1998, pp 82-92.

CONSTRUCTION OF MULTIVARIATE LINEAR TREND MODELS OF FEEDBACK PROCESSES IN AIR TRANSPORT SYSTEMS

***Aghayev N.B., Aghayev N.F.
National Aviation Academy***

The trend model proposed in the article provides an approach for methodical assistance to the work to be done in the direction of improving the effective management system of airlines. Aviation has different characteristics from other service sectors, passenger requirements and satisfaction are regulated by geographic, economic factors, context of use, local and international

governance, resource use and standards. Taking into account these characteristics, the problems related to passengers were systematized and summarized as flight delays and cancellations, problems related to baggage, overbooking, and a trend model of dissatisfied passengers depending on these factors was established. The model was built using a set of statistical data related to air transport of the United States of America, and the adequacy of the results was evaluated by analyzing the relative error between the actual data and the values calculated based on the model. The analysis of the results of the calculation based on the years 2019 and 2022-2023 showed that the relative error has decreased in recent years. Decrease during the negative impact of the COVID-19 pandemic on air traffic is finally reversing its impact and airlines are starting to stabilize. The obtained results can be used in determining the forecast indicators of dissatisfied passengers, in the future, based on the proposed model, in the construction of more perfect intellectual models of the service sector with the application of modern IT technologies.

Key words: *Feedback, inquiry, passenger, air transport, baggage, security, customer service, customer satisfaction.*

Rəyçi: *AMEA-nın müxbir üzvü, t.e.d. İsmayilov İ.M.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Ağayev Nadir Bafadin oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Kompüter sistemləri və proqramlaşdırma kafedrasının professoru, t.e.d.	nadiraghayev@naa.edu.az mob: (+994) 50 372 57 01
Ağayev Nurad Fuad oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	İATA İnstitutu, Keyfiyyət və sertifikatlaşdırma üzrə mütəxəssis	naghayev@naa.edu.az mob: (+994) 50 515 04 19

УДК: 65.656

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1029

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АЭРОПОРТУ ГЕЙДАР АЛИЕВ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Керимов Б.А., Маилова И.Р.
Национальная Академия Авиации

Современные логистические процессы в международных аэропортах сталкиваются с множеством вызовов, включая сложность координации, высокие требования к скорости обработки грузов и пассажиров, а также необходимость точной синхронизации всех участников. Внедрение инновационных технологий, таких как мобильные приложения, позволяет значительно улучшить управление и эффективность этих процессов. В данной статье рассматривается как мобильные платформы могут способствовать оптимизации логистики в аэропортах, улучшая взаимодействие между различными службами и ускоряя принятие решений.

Оптимизация через мобильные решения становится ключевым фактором повышения общей эффективности и конкурентоспособности аэропорта.

Ключевые слова: технологии, аэропорты, логистика, авиакомпании, мобильное приложение, туризм, онлайн-бронирование, компьютеризированный бизнес.

Введение

Современные логистические процессы в международных аэропортах сталкиваются с множеством вызовов, включая сложность координации, высокие требования к скорости обработки грузов и пассажиров, а также необходимость точной синхронизации всех участников [1]. Согласно исследованию SITA 2020 Air Transport IT Insights, приоритетом отрасли стало ускоренное инвестирование в бесконтактную обработку данных пассажиров при помощи мобильных технологий, а также дистанционные и облачные IT-сервисы, позволяющие сотрудникам работать из дома, повышая при этом эффективность коммуникации с пассажирами. Внедрение новых технологий, обрабатывающих большие объемы информации, вывело на первый план проблему кибербезопасности [2], а внедрение инновационных технологий, таких как мобильные приложения, позволяет значительно улучшить управление и эффективность этих процессов. Таким образом, внедрение мобильных приложений в логистические процессы международных аэропортов способствует повышению их эффективности, улучшению координации между службами и минимизации временных и финансовых издержек. Кроме того, мобильные приложения открывают новые возможности для анализа данных и прогнозирования. Они могут собирать и обрабатывать большие объемы информации, что помогает лучше понимать потребности клиентов и предугадывать возможные сбои в работе. Это особенно важно в условиях динамически изменяющейся внешней среды, где требуется быстрая адаптация к новым вызовам. В статье будут рассмотрены ключевые аспекты использования мобильных технологий в аэропортовой логистике, проанализированы их преимущества и влияние на оптимизацию операционной деятельности.

Цель работы. Целью статьи является исследование и анализ возможностей использования мобильных приложений для оптимизации логистических процессов в международных аэропортах [3]. Статья направлена на выявление того, как инновационные мобильные платформы могут улучшить координацию между различными службами аэропорта, повысить эффективность управления ресурсами и сократить операционные издержки. Основная задача состоит в том, чтобы показать, каким образом мобильные технологии могут способствовать повышению общей эффективности работы аэропортов, улучшению обслуживания пассажиров и грузоотправителей, а также снижению вероятности ошибок и задержек.

Внедрение мобильных приложений в работу аэропортов не только способствует оптимизации логистических процессов, но и открывает новые источники **неавиационного дохода**.

Учитывая высокий уровень информатизации населения, пассажиры предъявляют спрос на расширение сервисов самообслуживания и обеспечение возможности индивидуальной вариации дополнительных услуг с помощью мобильных приложений или чат-ботов (рисунок 1). По опросам SITA **59%** респондентов хотели бы использовать свой мобильный телефон вместо бумажных документов для прохождения паспортного контроля. Вовлеченность в перевозочный процесс значительного количества субъектов авиатранспортного рынка (агентства по продаже билетов, авиакомпании, аэропорты, пограничная и таможенная службы и др.) обуславливает потребность пассажиров в развитии **омниканальных технологий** взаимодействия [4]. Опираясь на мнение зарубежных исследователей о том, что самообслуживание и мобильность будут являться ключевыми характеристиками услуг объектов аэропортового комплекса в ближайшей перспективе, мы провели подробный анализ работы мобильного приложения Vaku Airport, и выяснили, что совершенствование данной платформы позволит в значительной степени минимизировать недовольство и чувство неуверенности пассажиров.

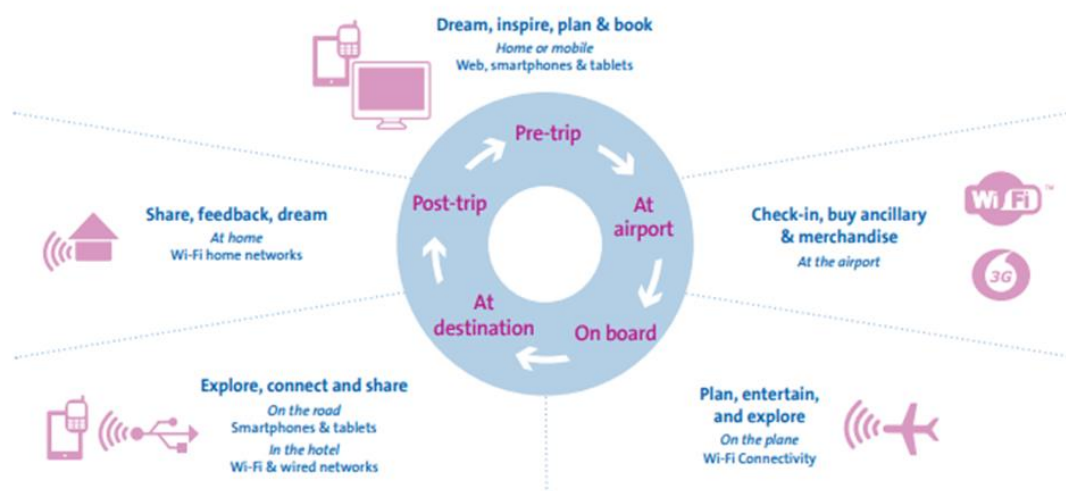


Рисунок 1. Влияние мобильной связи на протяжении всего жизненного цикла путешественника на различных устройствах

Несмотря на то, что подобного рода мобильные приложения уже существуют для международного аэропорта Гейдар Алиев, однако в ходе опроса среди туристов, мы смогли выяснить, что программное обеспечение, интерфейс и количество информации в приложении недостаточно для комфортного передвижения туристов на территории аэропорта, использования всего спектра услуг и доступа к информации [5]. Для исследования, направленного на изучение использования мобильного приложения «Vaku Airport» пассажирами, было проведено анкетирование среди пассажиров рейса Баку-Стамбул. Целью опроса было выяснить, насколько часто пассажиры используют мобильное приложение аэропорта, какие функции для них наиболее полезны, а также выявить их предпочтения и возможные проблемы при использовании приложения. Анкетирование проводилось непосредственно на борту самолета во время рейса для максимального охвата целевой аудитории.

Подготовка к проведению опроса

Перед началом исследования была разработана анкета, включающая как закрытые, так и открытые вопросы. Основная часть анкеты состояла из закрытых вопросов, чтобы получить количественные данные о частоте использования мобильного приложения, его функциональности и уровня удовлетворенности пользователей [6]. Например, пассажирам задавались вопросы о том, как часто они используют приложение, какие функции они считают наиболее полезными (например, информация о рейсах, онлайн-регистрация, карты терминалов), и сталкивались ли они с какими-либо проблемами в процессе его использования. Открытые вопросы были добавлены для того, чтобы респонденты могли высказать свои предложения по улучшению приложения и рассказать о своем пользовательском опыте.

Процесс проведения опроса

Анкетирование проводилось перед рейсом Баку-Стамбул среди пассажиров, которые согласились принять участие в исследовании. Перед началом опроса пассажиров информировали о целях и важности исследования. Для этого работники аэропорта кратко объяснили суть опроса, отметив, что участие в опросе является добровольным и анонимным, а данные будут использованы исключительно для улучшения сервиса аэропорта.

После этого анкеты были розданы пассажирам, и им предложено заполнить их в удобное для них время перед посадкой на борт воздушного судна. Для удобства пассажиров анкета была подготовлена в трех языковых версиях — на азербайджанском, русском и английском, что обеспечивало более широкий охват и участие иностранных пассажиров. Также в анкете предусматривалась возможность указать, если пассажир ранее не использовал приложение, с указанием причин, почему он не стал его скачивать или пользоваться.

Сбор и обработка данных

По окончании опроса анкеты были собраны работниками и переданы исследовательской команде для дальнейшего анализа. Всего в опросе приняли участие 150 пассажиров, что составило 75% от общего числа пассажиров рейса. После сбора анкет данные были оцифрованы и проанализированы с помощью статистического программного обеспечения. Основное внимание уделялось частоте использования мобильного приложения, его оценке со стороны пользователей, а также анализу комментариев, касающихся проблем или предложений по улучшению функциональности приложения.

Результаты опроса позволили выявить основные тенденции использования мобильного приложения среди пассажиров и дали ценную информацию для дальнейшего совершенствования платформы «Baku Airport». Ниже представлена сама анкета (рисунок 2):

- Наличие информации об отелях, гостиницах, ресторанах и местах отдыха.

Туры по достопримечательностям страны. (связь с туристическими агентствами напрямую через мобильное приложение) [7].

После проведения опроса стало ясно, в чем именно заключается потребность туристов во время нахождения в аэропорту:

Анализ существующих зарубежных мобильных приложений для аэропортов показал, что кроме базового функционала в мобильные приложения могут быть встроены дополнительные возможности [8]:

RISE TO IMPROVEMENT: AIRPORT PASSENGER QUESTIONNAIRES FOR TRAVEL OPTIMIZATION



We constantly strive to improve the quality of our services, create the most comfortable conditions, taking into account your wishes.

Please rate the following areas of service at the airport, if you have used them, by filling out the following questionnaire partially or completely:

Your age and gender:

- under 18 18 - 24 24 - 30 other _____
 male female

How often do you use air transport services?

- frequently infrequently extremely rarely other _____

Do you use the "Baku Airport" mobile application?

- yes no never heard about this app

"If you are a user of the "Baku Airport" mobile application, please answer the following questions:

	Unsatisfactory	Neutral	Satisfactory
Information service	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Transportation support	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Navigation services at the airport terminal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-aviation services	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quality of mobile application performance	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Additional comments and suggestions:

**Thank you for choosing us!
Have a successful takeoff and a soft landing!**

TƏKMİLLƏŞDİRMƏ ARZUSU: SƏYAHƏTLƏRİ OPTİMALLAŞDIRMAQ ÜÇÜN HAVA LIMANI SƏRNIŞİNLƏRİNİN SORĞUSU



Biz daim xidmətlərimizin keyfiyyətini yüksəltməyə, sizin istəklərinizi nəzərə alaraq ən rahat şərait yaratmağa çalışırıq.

Aşağıdakı anketi qismən və ya tamamilə dolduraraq, aşağıdakı hava limanı xidmət sahələrini qiymətləndirin:

Yaşınız və cinsiniz:

- 18 yaşdan kiçik 18 - 24 24 - 30 digər: _____
 kişi qadın

Hava nəqliyyatı xidmətlərindən neçə zamandan bir istifadə edirsiniz?

- tez-tez nadir çox nadir digər: _____

"Baku Airport" mobil proqramından istifadə edirsiniz?

- hə yox bu mobil tətbiq haqqında heç eşitməmişəm

*** "Baku Airport" mobil tətbiqinin istifadəçisisinizsə, aşağıdakı suallara cavab verməyiniz xahiş olunur:**

	Qeyri-qənaətbəxş	Neytral	Qənaətbəxş
Informasiya xidməti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nəqliyyat dəstəyi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hava limanı terminalında naviqasiya xidmətləri	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qeyri-aviasiya xidmətləri	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mobil tətbiqetmələrin keyfiyyəti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Əlavə şərh və təkliflər:

**Bizi seçdiyiniz üçün təşəkkür edirik!
Uğurlu uçuş və yumşaq eniş arzu edirik!**

ПОДЪЕМ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ: АНКЕТИРОВАНИЕ ПДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПУТЕШЕСТВИЙ



Мы постоянно стремимся улучшить качество предоставляемых услуг, создавать максимально комфортные условия, учитывая Ваши пожелания. Оцените, пожалуйста, следующие области обслуживания в аэропорту, если Вы ими воспользовались, частично или полностью заполнив следующую анкету:

Ваш возраст и пол:

меньше 18 18 - 24 24 - 30 другое _____

мужчина женщина

Как часто вы пользуетесь услугами авиатранспорта?

Часто Редко Крайне редко Другое _____

Пользуетесь ли вы мобильным приложением "Baku Airport"?

да нет никогда не слышал/а

***В случае, если вы являетесь пользователем мобильного приложения "Baku Airport", просим ответить на следующие вопросы:**

	Неудовлетворительно	Нейтрально	Удовлетворительно
Информационный сервис	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Транспортное обеспечение	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Услуги навигации на территории аэровокзала	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Неавиационные услуги	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Качество работы мобильного приложения	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Дополнительные комментарии и предложения:

**Спасибо за то, что выбираете нас!
Успешного взлёта и мягкой посадки!**

Рисунок 2. Шаблон анкетирования

- Наличие карты аэропорта.
- Список ресторанов и кафе на территории аэропорта и их расположение.
- Информация о парковке.
- Встроенный переводчик.

- внедрение сканера, с поддержкой которого можно перевести любой контент (в частности, указатели для навигации по аэропорту) с иностранного языка на родной;
- сервис «Голосовой помощник», который позволяет пассажирам задавать вопросы по сервисам в аэропорту аналогично приложению Siri;
- возможность отметки своего рейса в календарь с точным временем;
- подключение к бортовому радио;
- просмотр в онлайн-режиме ленты актуальных фотографий с отметкой в аэропорту;
- возможность вызова поддержки для инвалидов путем указания их местоположения и требуемого типа поддержки;
- сервис "В каком месте моя машина?", позволяет оставлять фото, местоположение, голосовое извещения и остальные подсказки для запоминания местонахождения машины пассажира на паркинге [9].

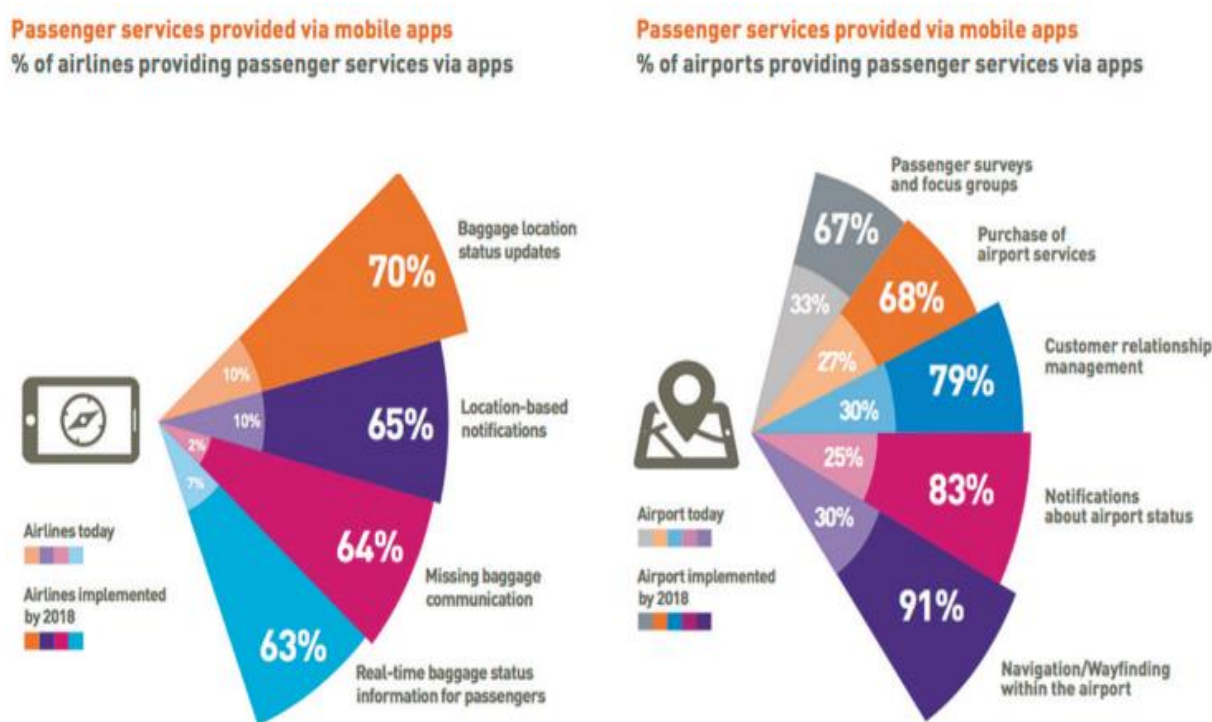


Рисунок 3. Услуги, предоставляемые пассажирам посредством мобильного приложения за рубежом

Интеграция с системами безопасности - важнейший компонент. Мобильное приложение может быть связано с видеосистемами контроля доступа и наблюдения, что позволяет оперативно оповещать о возможных опасностях и быстро реагировать на них [10]. Это значительно повышает уровень безопасности и позволяет оперативно устранять неполадки.

Управление грузопотоками также может быть улучшено с помощью мобильного приложения. Интеграция с системами отслеживания грузов и координации погрузочно-разгрузочных работ позволяет ускорить перемещение грузов по терминалу, оптимизировать их распределение и повысить эффективность обработки.

Не менее важной функцией является возможность мониторинга и анализа данных. Мобильное приложение позволяет собирать и анализировать данные по различным аспектам работы аэропорта, включая время обработки рейсов, загруженность терминала и другие показатели [11]. Это позволяет принимать взвешенные решения и проводить мероприятия по оптимизации логистических процессов.

Управление ресурсами и запасами также может быть значительно улучшено с помощью мобильного приложения. Оно позволяет отслеживать использование ресурсов, таких как топливо и запасные части и автоматически уведомлять о необходимости пополнения запасов. Такой подход помогает предотвратить дефицит и сократить расходы.

Упрощение управления парковкой и транспортом - еще одна область, где мобильное приложение может сыграть важную роль. Оно позволяет заранее бронировать места на парковке и отслеживать их наличие, а также управлять транспортными потоками в аэропорту, что улучшает управление движением и сокращает время ожидания.

Усовершенствование мобильного приложения аэропорта на основе устаревшего приложения - важный шаг на пути к созданию более эффективного и удобного инструмента для пассажиров и сотрудников [12]. Обновленная версия может значительно улучшить пользовательский опыт и операционные возможности, принимая во внимание достижения новых технологий и текущие потребности аэропорта.

Вывод

После проведения анализа использования мобильного приложения «Baku Airport» среди пассажиров были выявлены ключевые тенденции и предпочтения пользователей. Опрос показал, что большинство пассажиров оценивает приложение как удобный инструмент для получения актуальной информации о рейсах, отслеживания багажа и навигации по аэропорту. Однако также были выявлены проблемы, такие как недостаточная стабильность работы приложения и ограниченные функции, что снижает общее удовлетворение пользователей. В результате анализа стало очевидно, что для повышения эффективности приложения необходимо сосредоточиться на улучшении пользовательского интерфейса, расширении функционала и обеспечении стабильной работы на всех устройствах. Реализация предложенных улучшений не только повысит уровень обслуживания пассажиров, но и укрепит репутацию аэропорта как современного и ориентированного на клиента транспортного узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Əhmədov N.M., Nəcəfov E.M., Kərimov B.Ə., Ağayev Ə.H. Nəqliyyat strukturunda logistikanın kompleks təminatı, -Bakı, -2018.
2. Керимов, Б.А., Наджафов, Э.М., Гусейнов, Ф.А. Организация сервисных услуг на воздушном транспорте, -Баку,- 2016.
3. IATA (International Air Transport Association). (2021). Mobile Technology and the Future of Airport Operations. Retrieved from IATA website.
4. Бажов, Л.Б. Авиатранспортные системы. -УВАУ ГА(И), -2019. -98 с.
5. Маилова, И.Р. // Heydər Əliyevin anadan olmasının 101-ci ildönümünə həsr olunmuş "Azərbaycanda nəqliyyatın aktual problemləri" XXV elmi-texniki tələbə konfransı, - Баку: Milli Aviasiya Akademiyası - 7-8 may, - 2024.
6. Статья на официальном сайте журнала «Aviation Explorer». Название: «SITA: «Цифровые путешественники» определяют пассажирскую стратегию авиакомпаний и аэропортов до 2025 года» от 3.09.2019.
7. Отчет на официальном сайте компании «SITA». Название: «Passenger IT Insights 2020». –[Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://www.sita.aero/resources/surveysreports/passenger-it-insights-2020/>
8. Pakhomova, A. I., & Buryakov, S. A. (2016). Sfera uslug kak dvizhushchaya sila razvitiya servisnykh innovatsiy [Services as a driving force for service innovations]. *Ekonomika i predprinimatelstvo [Economics and Entrepreneurship]*, 2-1(67-1), 384-387. (In Russ.).

9. Chowdhury, A. H., & Bhowmik, S. (2019). Design and Development of a Mobile Application for Airport Services: A Case Study of Dhaka Airport. *Journal of Airport Management*, 13(1), -34-45.
10. Wang, Y., & Chen, H. (2022). Passenger-Centric Mobile Apps: The Future of Airport Services. *Journal of Transportation Technologies*, 12(3), -235-248. DOI: 10.4236/jtts.2022.123015.
11. International Council of Airports (ACI). (2020). Mobile applications for airports: Improving the quality of passenger service. Taken from the ACI site.
12. Международный совет аэропортов (ACI). (2020). Мобильные приложения для аэропортов: Повышение качества обслуживания пассажиров. Взято с сайта ACI.

REFERENCES

1. Ahmadov H.M., Najafov E.M., Kerimov B.A., Aghayev A.H. *Negliyyat strukturunda logistikanın kompleks teminaty*, Baku, 2018.
2. Kerimov B.A., Najafov E.M., Huseynov F.A. *Organizatsiya servisnikh uslug na vozdushnom transporte*, Baku 2016.
3. IATA (International Air Transport Association). (2021). *Mobile Technology and the Future of Airport Operations*. Retrieved from IATA website.
4. Bazhov L.B. *Aviatransportnye sistemy*. -UBAU QA(İ), -2019. -98 s.
5. Mailova I.R. //Heyder Aliyevin anadan olmasynyn 101-ji ildonumune hesr olunmush "Azerbayjanda nəqliyyatyn aktual problemləri" XXV elmi-tehniki telebe konfransy,- Baku: Milli Aviasiya Akademiyasy - 7-8 may, - 2024.
6. Stat'ya na ofitsial'nom sayte jurnala "Aviation Explorer". Nazvaniye: "SITA: "Tsifrovyye puteshestvenniki" opredelyayut passajirskuyu strategiya aviakompaniy i aeroportov 2025 goda ot 3.09.2019.
7. Otçhyot na ofitsial'nom sayte kompaniy "SITA". Nazvaniye: «Passenger IT Insights 2020».- [Elektronnyy resourc]. -Rejim dostupa: <https://www.sita.aero/resources/surveysreports/passenger-it-insights-2020/>
8. Pakhomova, A. I., & Buryakov, S. A. (2016). Sfera uslug kak dvijushchaya sila razvitiya servisnykh innovatsiy [Services as a driving force for service innovations]. *Ekonomika i predprinimatelstvo [Economics and Entrepreneurship]*, 2-1(67-1), 384-387. (In Russ.)
9. Chowdhury, A. H., & Bhowmik, S. (2019). Design and Development of a Mobile Application for Airport Services: A Case Study of Dhaka Airport. *Journal of Airport Management*, 13(1), 34-45.
10. Wang, Y., & Chen, H. (2022). Passenger-Centric Mobile Apps: The Future of Airport Services. *Journal of Transportation Technologies*, 12(3), 235-248. DOI: 10.4236/jtts.2022.123015.
11. International Council of Airports (ACI). (2020). Mobile applications for airports: Improving the quality of passenger service. Taken from the ACI site.
12. Analiz mobilnikh prilozheniy dlya povisheniya komforta i loylnosti passajirov I kliyentov aeroportov. 11 kongress molodykh uchenikh. Sbornik nauchnikh trudov. Sankt-Peterburg. 2022.

HEYDƏR ƏLİYEV AEROPORTUNDA MOBİL TƏTBİQDƏN İSTİFADƏ İLƏ LOGİSTİK PROSESLƏRİN OPTİMİZASİYASI

**Kərimov B.A., Mailova İ.R.
Milli Aviasiya Akademiyası**

Beynəlxalq hava limanlarında müasir logistik proseslər bir çox problemlərlə, o cümlədən koordinasiyanın mürəkkəbliyi, yüklərin emalının sürətinə yüksək tələblər, eləcə də bütün iştirakçıların dəqiq sinxronlaşdırılması ehtiyacı ilə üzləşir. Mobil proqramlar kimi innovativ texnologiyaların tətbiqi bu proseslərin idarə edilməsini və səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu məqalədə mobil platformaların hava limanlarında logistikanın optimallaşdırılmasına, müxtəlif xidmətlər arasında qarşılıqlı əlaqənin yaxşılaşdırılmasına və qərarların qəbulunun sürətləndirilməsinə necə töhfə verə biləcəyi müzakirə edilir.

Mobil həllər vasitəsilə optimallaşdırma hava limanının ümumi səmərəliliyinin və rəqabət qabiliyyətinin artırılmasında əsas amilə çevrilir.

Açar sözlər: *texnologiyalar, hava limanları, logistika, aviaşirkətlər, mobil proqramlar, turizm, onlayn bronlaşdırma, kompüterləşdirilmiş biznes.*

OPTIMIZATION OF LOGISTICS PROCESSES AT HEYDAR ALIYEV AIRPORT USING MOBILE APPLICATION

**Kerimov B.A., Mayilova I.R.
National Aviation Academy**

Modern logistics processes at international airports face many challenges, including the complexity of coordination, high speed requirements for cargo and passenger handling, and the need to accurately synchronize all participants. The introduction of innovative technologies such as mobile applications can significantly improve the management and efficiency of these processes. This article looks at how mobile platforms can help optimize logistics at airports, improving interaction between different services and speeding up decision-making.

Optimization through mobile solutions is becoming a key factor in improving the overall efficiency and competitiveness of an airport.

Key words: *technology, airports, logistics, airlines, mobile application, tourism, online booking, computerized business.*

Рецензент: *к.ф.-м.н. Шекили Ш.П.*

Сведения об авторах

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Должность, ученая степень, ученое звание	Контактный телефон
Керимов Бала Ага Асад оглы	Национальная Академия Авиации	доцент кафедры «Логистика и транспортные технологии» İEN, DOS	bkarimov22@mail.ru моб: (+994) 50 213 37 05
Маилова Инара Руслан гызы	Национальная Академия Авиации	Инженер по организации перевозок и управления на транспорте – магистрант	mayilovainara@gmail.com моб: (+994) 77 620 17 02

MATERIALŞÜNASLIQ

УДК: 669-1

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1034

МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛОПАТОК ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Самедов А.С., Усубалиев Т.Б., Абдуллаев П.Ш.
Национальная Академия Aviации

Для проведения исследований был использован метод планирования эксперимента, на основе которого были уточнены диапазоны температур, время и количество проводимых опытов. Применение метода многофакторного эксперимента позволило в аналитическом виде представить результаты исследования и на основе построения пространственных изображений с достаточной точностью оценить влияние различных факторов.

Ключевые слова: *лопатки газовых турбин, защитные покрытия, эксперимент, методика проведения исследований, математические методы, применение статистических методов планирования многофакторных экспериментов, определение факторов, параметры проведения опыта, показатели эффективности.*

Основными подходами к получению научно обоснованной информации являются теорико-аналитический и экспериментально-статистический. Эксперимент используется в тех случаях, когда необходимо подтвердить полученные теоретические выводы или сформулированные гипотезы.

Одно из направлений повышения производительности экспериментальных исследований заключается в применении современных математических методов и вычислительных средств, таких как планирование эксперимента, исследование операций, математическое моделирование и другие [1].

Ранее считалось, что математические методы следует использовать в экспериментальных исследованиях лишь на последнем этапе – при обработке результатов [2]. Позднее стало ясно, что прикладные математические методы могут быть полезны на всех этапах научной работы, в том числе в самом начале – при постановке задачи и планировании эксперимента (ПЭ) [3].

С целью проведения экспериментальных исследований для новополученного состава, уточнения количества проводимых опытов и определения влияния каждого параметра на химическую стойкость сплава был проведен многофакторный эксперимент с использованием математического метода ПЭ [4].

Применение статистических методов планирования многофакторных экспериментов позволяет выделить наиболее активные факторы и не исследовать факторы, оказывающие незначительное влияние их на объект исследования. Многофакторное планирование дает возможность активно участвовать в исследуемом процессе и в значительной мере упрощает

задачу отыскания оптимальных условий его протекания. Вследствие специально разработанных планов эксперимента нахождение математической модели исследуемого процесса не требует сложных математических расчетов.

Для проведения эксперимента необходима возможность воздействовать на поведение объекта [3]. При решении задачи используются математические модели объекта исследования. Под математической моделью понимается уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами. Каждый фактор можно принимать в опыте как одно из нескольких значений, называемых уровнями. Фиксированный набор уровней факторов определяет одно из возможных состояний объекта. Одновременно это есть условие проведения одного из возможных опытов. Если перебрать все возможные наборы состояний, получим полное множество различных состояний данного объекта, т.е. число возможных различных опытов. С целью определения количества проводимых опытов использован центрально-композиционный план (ЦКП) второго порядка. Важным вопросом при построении ЦКП является выбор величины звездного плеча (α). ЦКП в общем виде не обладает свойством ортогональности. Ортогональности ЦКП достигают, с одной стороны, специальным выбором величины звездного плеча и числом опытов в центре плана [5]. Ортогональное планирование позволяет получить независимые оценки коэффициентов регрессии с минимальной дисперсией. Ортогональность ЦКП обеспечивается соответствующим подбором звездного плеча α (для трех факторов $\alpha=1,2154$ [6]). Значение звездного плеча зависит от числа полных повторений эксперимента в центре плана. С другой стороны, чтобы матрица планирования была ортогональной, необходимо выполнить еще два условия [7, 3, 8].

Во-первых, сумма всех значений каждого фактора должна равняться нулю. Но поскольку в плане присутствуют квадраты факторов, то необходимо ввести в рассмотрение преобразованные факторы:

$$x'_i = x_i^2 - d \tag{1}$$

где d - постоянная, зависящая от числа факторов [1].

Второе условие, необходимое для получения ортогональности заключается в следующем [2]:

$$\sum_{i=1}^N x_i = 0 \tag{2}$$

Параметры ортогональных ЦКП представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры ортогональных центральных композиционных планов

Число факторов	Ядро плана	Число звездных точек	Число опытов в центре	Общее число опытов	α	β
3	2^3	6	1	15	1,2154	0,7303

Составим матрицу планирования ортогонального ЦКП второго порядка для трех факторов, который в качестве критериев оптимизации процесса выбраны время проведения опыта в пределах 4÷8 часов, температура отжига в диапазоне 1000÷1200⁰С и время отжига в пределах 50÷70 часов (таблица 2).

Таблица 2

Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка

Номер опыта	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ '	x ₂ '	x ₃ '	y ₁	y ₂	y ₃
1	+	+	+	1-d	1-d	1-d	Y11	Y21	Y31
2	-	+	+	1-d	1-d	1-d	Y12	Y22	Y32
3	+	-	+	1-d	1-d	1-d	Y13	Y23	Y33
4	-	-	+	1-d	1-d	1-d	Y14	Y24	Y34
5	+	+	-	1-d	1-d	1-d	Y15	Y25	Y35
6	-	+	-	1-d	1-d	1-d	Y16	Y26	Y36
7	+	-	-	1-d	1-d	1-d	Y17	Y27	Y37
8	-	-	-	1-d	1-d	1-d	Y18	Y28	Y38
9	1,2154	0	0	α ² -d	-d	-d	Y19	Y29	Y39
10	-1,2154	0	0	α ² -d	-d	-d	Y110	Y210	Y310
11	0	1,2154	0	-d	α ² -d	-d	Y111	Y211	Y311
12	0	-1,2154	0	-d	α ² -d	-d	Y112	Y212	Y312
13	0	0	1,2154	-d	-d	α ² -d	Y113	Y213	Y313
14	0	0	-1,2154	-d	-d	α ² -d	Y114	Y214	Y314
15	0	0	0	-d	-d	-d	Y115	Y215	Y315

где y₁ – твердость сплава, y₂ – КТЛР, y₃ – теплопроводность сплава.

В ходе исследований были проведены три полных факторных (n=3) эксперимента. Результирующими функциями выбраны твердость, КТЛР и теплопроводность сплава. Перед тем, как строить матрицу планированию, следует назначить уровни варьирования факторами и закодировать их знаками (+), 0 и (-) [1, 6]. Поскольку согласно предварительным исследованиям функции отклика должны быть нелинейными, то факторы x₁, x₂, x₃ имели три уровня варьирования. Граничные условия технологических факторов, используемых при проведении экспериментальных исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3

Факторы и уровни их варьирования

Факторы	Время проведения опыта (m)	Температура отжига (W)	Время отжига (v)
Обозначение факторов	x ₁	x ₂	x ₃
Верхний уровень (+1)	8	1200	70
Основной уровень (0)	6	1100	60
Нижний уровень (-1)	4	1000	50

После составления матрицы ортогонального ЦКП второго порядка были определены значения параметров оптимизации, в таблице 4 они обозначены символом y и на основе формулы (1) выявлены x'_i для трех факторов.

Таблица 4

Матрица ортогонального ЦКП второго порядка и результаты экспериментов

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	x'_1	x'_2	x'_3	y_1	y_2	y_3
1	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	2458,0	19,83	9,57
2	-	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	2287,0	19,48	9,22
3	+	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	2369,0	19,42	10,23
4	-	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	1978,0	20,11	10,82
5	+	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	1921,0	20,05	9,87
6	-	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	1853,0	19,92	9,84
7	+	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	1876,0	19,54	10,16
8	-	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	1852,0	19,17	10,01
9	1,2154	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	2596,0	19,02	9,57
10	-1,2154	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	2636,0	19,63	9,63
11	0	1,2154	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	2756,0	19,72	10,21
12	0	-1,2154	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	2896,0	19,97	10,35
13	0	0	1,2154	-0,7303	-0,7303	0,7469	2945,0	19,10	10,12
14	0	0	-1,2154	-0,7303	-0,7303	0,7469	2956,0	19,67	9,20
15	0	0	0	-0,7303	-0,7303	-0,7303	3275,0	19,88	9,11

Таким образом, общий вид функции для матрицы ортогонального ЦКП второго порядка будет иметь следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (3)$$

Расчет оценок коэффициентов уравнения регрессии производится по методу наименьших квадратов, при этом минимизируется сумма квадратов отклонений между экспериментальными значениями исследуемого параметра и значениями, вычисленными для тех же точек факторного пространства по уравнению регрессии. Вследствие того, что матрица планирования является диагональной, коэффициенты регрессии некоррелированы между собой, следовательно, статическую значимость (отличии от нуля) для каждого коэффициента в отдельности можно проверять по критерию Стьюдента. Расчетное значение $t_{рас}$ этого критерия определяют как частное от деления модуля коэффициента b_i на оценку его среднеквадратического отклонения S_b :

$$t_{рас} = \frac{|b_i|}{S_b} \quad (4)$$

В ПФЭ, благодаря одинаковой удаленности всех экспериментальных точек факторного пространства от центра эксперимента, оценки всех коэффициентов уравнения регрессии независимо от их величины вычисляются с одинаковой погрешностью (при выполнении условия воспроизводимости опытов):

$$S_b = \frac{S_y}{N} \quad (5)$$

где S_y - оценка дисперсии воспроизводимости эксперимента,

$$S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_{y_j}}{N} \quad (6)$$

В 3-х степенях свободы и 95%-ном уровне значимости $t = 2,776445105$ [7]. Данные расчетов сведены в таблицу 5.

Таблица 5

Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке твердости сплава (y_1)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	2435,356	3158,7	24,9
b_1	55,26	4325,235	0,84
b_2	25	4325,235	0,38
b_3	143,93	4325,235	-2,19
b_{12}	-22	5922,542	-0,29
b_{13}	58,75	5922,542	0,76
b_{23}	44	5922,542	0,57
b_{123}	-33	5922,542	-0,43
b_{11}	-539,7	10856,33	-5,18
b_{22}	-397,54	10856,33	-3,82
b_{33}	-313,26	10856,33	-3,01

Уравнение регрессии в кодированном виде будет выглядеть следующим образом:

$$y_1 = 2435,356 - x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 \quad (7)$$

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 6.

Адекватность полученного уравнения проверялась по критерию Фишера, в результате которого $F_{расч.} = 15,825$. Табличное значение критерия Фишера равно 19,4. Полученное уравнение регрессии адекватно в пределах исследуемой области.

Для удобства расчетов запишем уравнения регрессии в раскодированном виде:

$$y_1 = -61801,564 + 1619,94m + 87,459W + 375,912v - 134,92448m^2 - 0,03975W^2 - 3,1326v^2 \quad (8)$$

При построении поверхностей откликов (программа SigmaPlot 11.0) варьировались только два фактора (рисунки 1-3).

При зафиксированном на нулевом уровне времени проведения опыта, температуры отжига ($W = 1100$) и времени отжига ($v = 60$) из основного уравнения (8) получены

уравнения (9), (10) и (11), по которым построены поверхности отклика твердости сплава в зависимости от времени и температуры отжига (см. рисунок 1), поверхности отклика твердости сплава в зависимости от времени проведения опыта и времени отжига (см. рисунок 2) и поверхности отклика твердости сплава в зависимости от времени проведения опыта и температуры отжига (см. рисунок 3).

Таблица 6

Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	y_u	\hat{y}_u	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	2458,00	1548,7	826835,4555
2	2287,00	2202,1	7215,772328
3	2369,00	3057,7	474258,521
4	1978,00	2947,1	939225,0474
5	1921,00	2651,2	533263,0216
6	1853,00	2540,7	472959,5388
7	1876,00	3396,3	2311404,959
8	1852,00	3285,8	2055789,546709
9	2596,00	2866,4	73094,705264
10	2636,00	2732,0	9220,707576
11	2756,00	2346,4	167767,1422
12	2896,00	3252,0	126720,8456
13	2945,00	2593,4	123633,1463
14	2956,00	3005,0	2400,989665
15	3275,00	2799,2	124003,2227

$$y_1 = -56944,28273 + 87,45869W + 375,91187v - 0,03975W^2 - 3,1326v^2 \quad (9)$$

$$y_1 = -61801,56416 + 1619,094m + 375,91187v - 134,924m^2 - 3,13v^2 \quad (10)$$

$$y_1 = -50524,208 + 1619,094m + 87,459W - 134,924m^2 - 0,0398W^2 \quad (11)$$

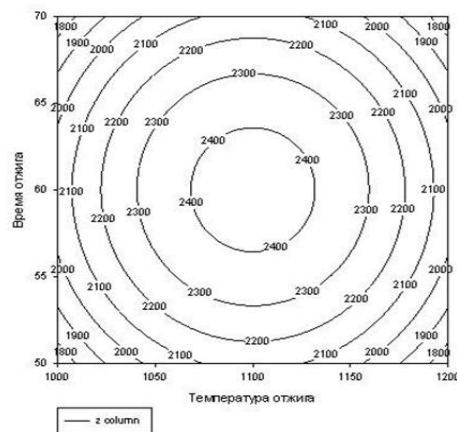
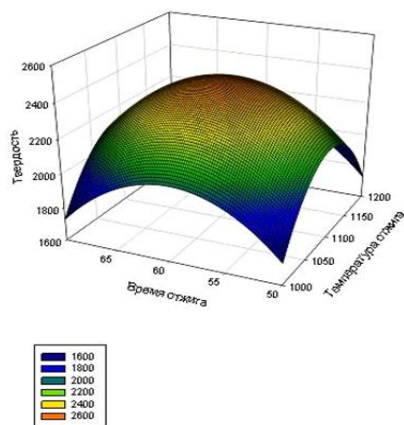


Рисунок 1. Поверхность отклика и сечение поверхности отклика твердости сплава в зависимости от времени отжига и температуры отжига

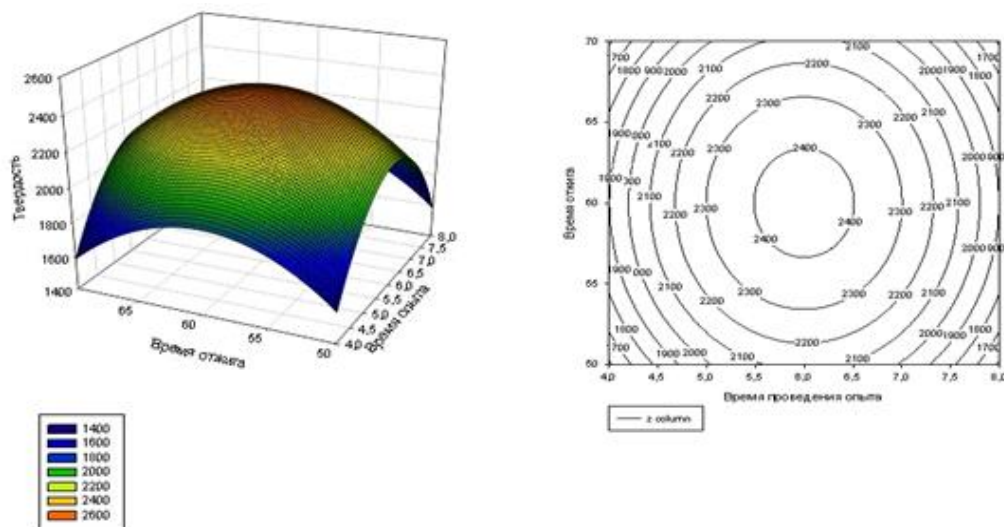


Рисунок 2. Поверхность отклика и сечение поверхности отклика твердости сплава в зависимости от времени проведения опыта и времени отжига

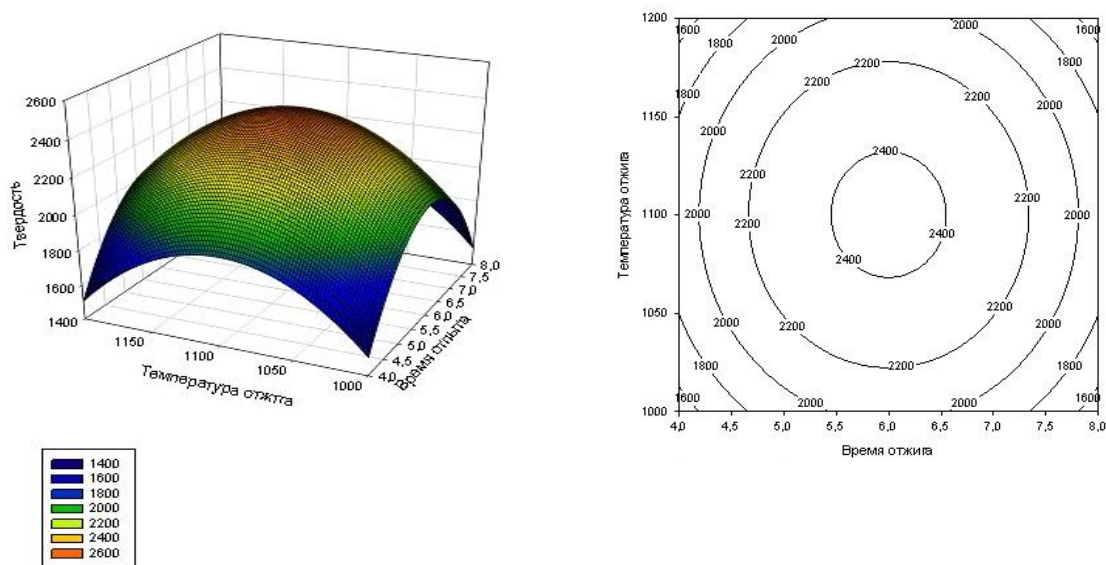


Рисунок 3. Поверхность отклика и сечение поверхности отклика твердости сплава в зависимости от времени проведения опыта и температуры отжига

Далее был проведён полный факторный эксперимент для определения зависимости КТЛР сплава от выбранных факторов. Проверка значимости коэффициентов регрессии факторной обработки КТЛР сплава производилась согласно методике [3], результаты расчетов сведены в таблицы 7. В исследуемой области уровней факторов значимыми оказались коэффициенты регрессии: b_0 , b_{13} , b_{23} , b_{123} и b_{22} . По экспериментальным данным было составлено следующее уравнение регрессии:

$$y_2 = 9,859 - 0,26x_2 - 0,23x_2x_3 + 0,48x_2^2 \quad (12)$$

На следующем этапе выполнен статический анализ полученной модели, то есть на этом этапе проверялась адекватность представления результатов экспериментов уравнением линейной регрессии, значимость коэффициентов регрессии и их взаимосвязь. Значимость коэффициентов уравнения регрессии (12) определялась по критерию Стьюдента (таблица 7).

Таблица 7

Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной
обработки КТЛР сплава (y_2)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	19,638	0,000698	371,48
b_1	-0,05	0,000956	-1,72
b_2	0,07	0,000956	2,17
b_3	-0,05	0,000956	-1,57
b_{12}	0,1	0,001309	2,76
b_{13}	-0,11	0,001309	-2,9
b_{23}	-0,19	0,001309	-5,11
b_{123}	0,16	0,001309	4,42
b_{11}	-0,12	0,002399	-2,4
b_{22}	0,23	0,002399	4,78
b_{33}	-0,08	0,002399	-1,57

В результате вычислений получено расчетное значение критерия Фишера $F_{\text{расч.}}=14,851$. В нашем случае при $f_1=15-3-1=11$, $f_2=3-1=2$ величина $F_{\text{табл.}}$ при уровне значимости 0,05 (вероятность 95%) равно $F_{\text{табл.}}=19,4$. Уравнение регрессии адекватно.

По уравнению регрессии вычисляем расчетное значение выходного показателя качества \bar{y}_u и величину $(y_u - \bar{y}_u)^2$ (таблица 8).

Таблица 8

Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	y_u	\hat{y}_u	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	9,57	9,7	0,013734619
2	9,22	10,1	0,742744588
3	10,23	9,6	0,362802672
4	10,82	9,7	1,364369805
5	9,87	9,7	0,016240119
6	9,84	9,8	0,005353572
7	10,16	9,3	0,717960417
8	10,01	9,3	0,453005000
9	9,57	9,7	0,012657000
10	9,63	9,7	0,006723749
11	10,21	10,0	0,063255364

12	10,35	9,4	0,835383109
13	10,12	9,9	0,053512395
14	9,20	9,5	0,093530963
15	9,11	9,7	0,372812532

Для удобства расчетов запишем уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$y_2 = 55,844 - 0,094W + 0,248v + 0,00005W^2 \quad (13)$$

При фиксации на нулевом уровне одного из трех факторов получены уравнения (14), (15) и (16), которые необходимы для построения поверхности отклика КТЛР сплава в зависимости от времени отжига, времени проведения опыта, температуры отжига:

$$y_2 = 35,779 - 0,041W + 0,204v - 0,00019W \cdot v + 0,00002W^2 \quad (14)$$

$$y_2 = 17,748 + 0,315m + 0,0315v - 0,00525m \cdot v \quad (15)$$

$$y_2 = 47,989 - 0,052W + 0,00002W^2 \quad (16)$$

Для более наглядного анализа влияния факторов на значения выходных величин выполнены графические построения. На рисунках 4, 5 и 6 приведено семейство поверхностей отклика и их сечений, построенных по полученным уравнениям регрессии (14), (15) и (16), для исследуемых факторов.

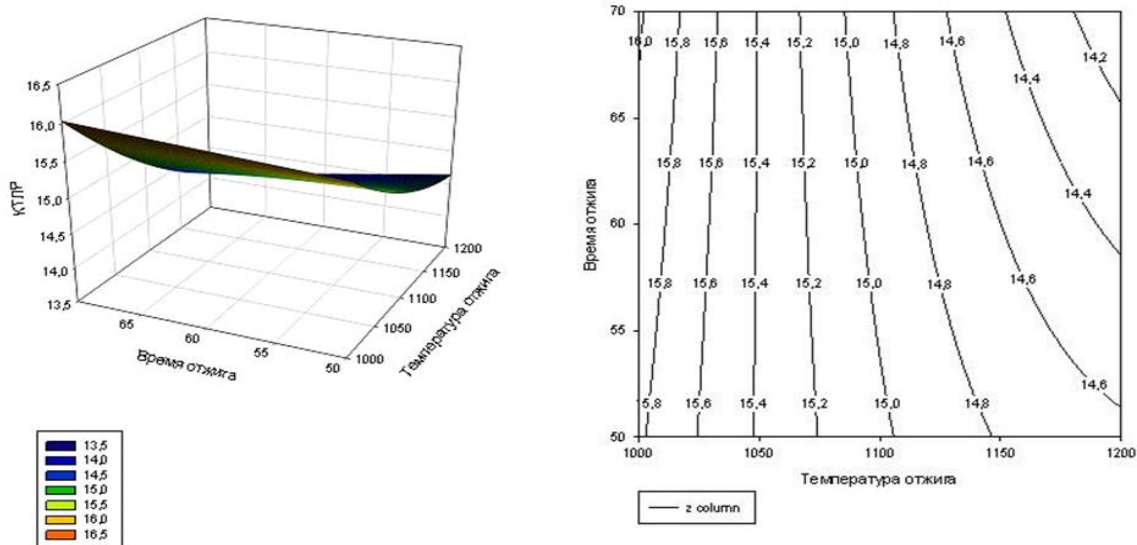


Рисунок 4. Поверхность отклика и сечение поверхности отклика КТЛР сплава в зависимости времени отжига и температуры отжига (при зафиксированном на нулевом уровне времени проведения опыта: $m=6$)

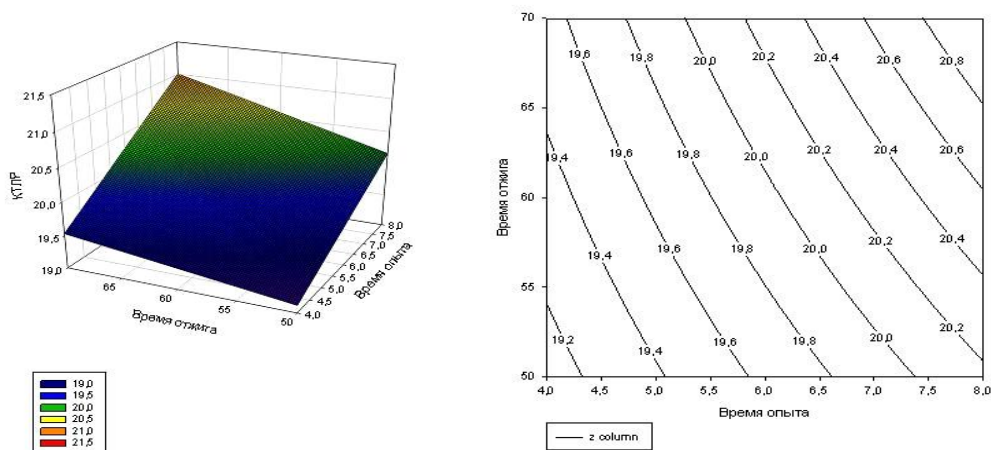


Рисунок 5. Поверхность отклика и сечение поверхности отклика КТЛР сплава в зависимости от времени проведения опыта и времени отжига (при зафиксированной на нулевом уровне температуре отжига: $W=1100$)

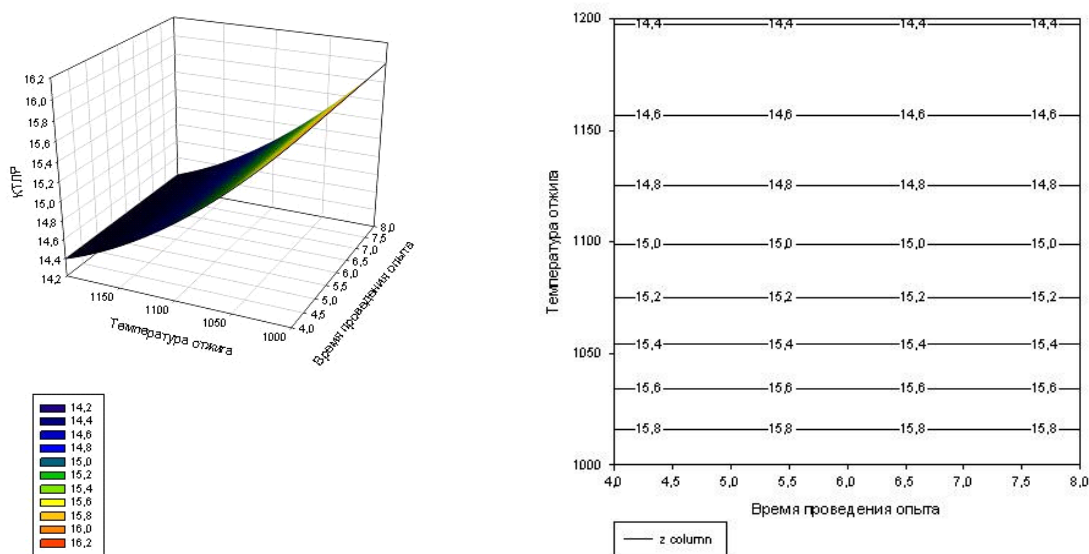


Рисунок 6. Поверхность отклика и сечение поверхности отклика КТЛР сплава в зависимости от времени проведения опыта и температуры отжига (при зафиксированной на нулевом уровне температуре отжига: $v=60$)

Подобный анализ проведен и для определения зависимости теплопроводности сплава от выбранных факторов. Проверим экспериментальные данные на нормальность распределения и однородность.

В таблице 9 приведены результаты расчетов коэффициентов уравнения регрессии второго порядка, дисперсии коэффициентов и их ошибки, а значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента.

Таблица 9

Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной
обработки теплопроводности сплава (y_3)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	9,859	0,002069	106,6
b_1	-0,01	0,002833	-0,23
b_2	-0,26	0,002833	-4,96
b_3	0,1	0,002833	1,85
b_{12}	0,1	0,003879	1,65
b_{13}	-0,05	0,003879	-0,84
b_{23}	-0,23	0,003879	-3,61
b_{123}	0,13	0,003879	2,13
b_{11}	0,02	0,007111	0,22
b_{22}	0,48	0,007111	5,68
b_{33}	0,06	0,007111	0,70

В результате расчета было получено следующее уравнение регрессии:

$$y_3 = 19,638 - 0,11x_1x_3 - 0,19x_2x_3 + 0,16x_1x_2x_3 + 0,23x_2^2 \quad (17)$$

После исключения незначимых коэффициентов регрессии проверяется адекватность полученного уравнения по критерию Фишера. Расчетные значения критерия Фишера составляют $F_{расч.}=19,15$. Полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс, в пределах исследуемой области. Запишем уравнение раскодированном виде:

$$y_3 = 2,209 + 5,595m - 0,012W + 0,763v - 0,0048mW - 0,093mv - 0,001Wv + 0,00008mWv + 0,00002W^2 \quad (18)$$

Вычисляем теоретические значения параметра оптимизации \bar{y}_u и величину ошибки, результаты которых приводим в таблицу 10.

Таблица 10

Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	y_u	\hat{y}_u	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	19,83	19,7	0,009785977
2	19,48	19,9	0,141091947
3	19,42	19,1	0,074819501
4	20,11	19,3	0,735106377
5	20,05	20,0	0,002407629
6	19,92	20,1	0,034999111
7	19,54	19,4	0,020184772
8	19,17	19,5	0,111606000
9	19,02	19,6	0,294055000
10	19,63	19,7	0,003755321

11	19,72	20,0	0,074649682
12	19,97	19,3	0,503634319
13	19,10	19,5	0,139848476
14	19,67	19,8	0,012009038
15	19,88	19,6	0,100632031

При фиксации на нулевом уровне времени проведения опыта и времени отжига по уравнению регрессии (19), (20) построены поверхностный отклики теплопроводности сплава и их сечений (рисунки 7-8).

$$y_3 = 55,836 - 0,0945W + 0,248v - 0,00023W \cdot v + 0,00005W^2 \quad (19)$$

$$y_3 = 70,694 - 0,108W + 0,00005W^2 \quad (20)$$

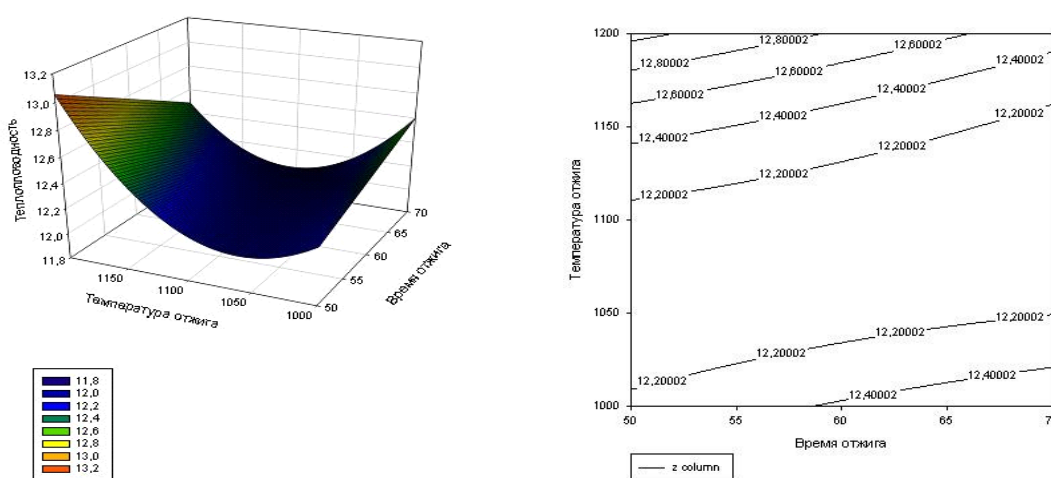


Рисунок 7. Поверхность отклика и сечение поверхности отклика теплопроводности сплава в зависимости от времени отжига и температуры отжига (при зафиксированной на нулевом уровне времени проведения опыта: $m=60$)

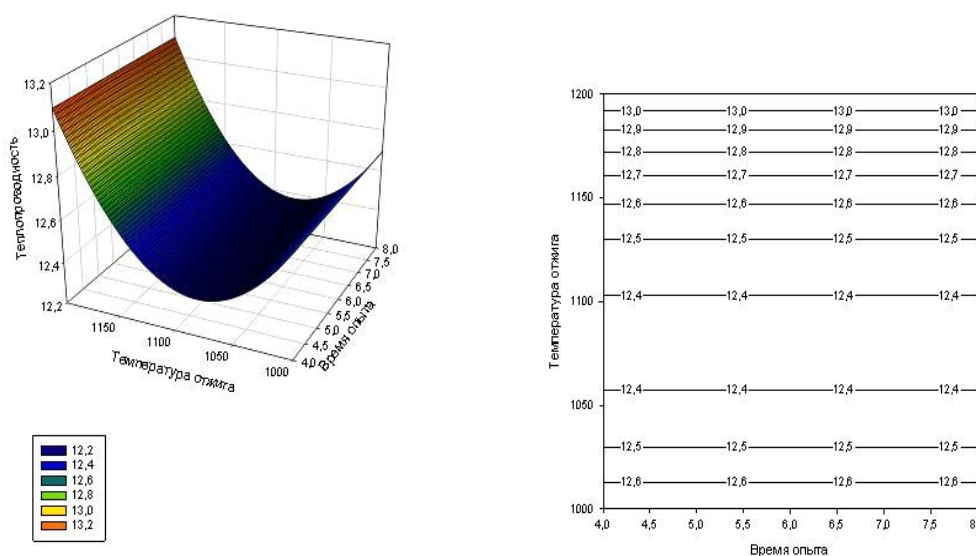


Рисунок 8. Поверхность отклика и сечение поверхности отклика теплопроводности сплава в зависимости от времени проведения опыта и температуры отжига (при зафиксированной на нулевом уровне времени отжига: $v=60$)

Таким образом, приведенные расчеты и экспериментальные исследования показали что, максимальное значение твердости сплава достигается при следующих пределах значений факторов: времени проведения опытов 5,5÷6,5 часов, температуре отжига 1075÷1125⁰С, времени отжига 57÷63 часов, а максимальное значение КТЛР достигается при следующих значениях факторов: времени проведения опытов - 8 часов, температуре отжига - 1000⁰С, времени отжига - 70 часов. Наибольшее влияние на теплопроводность имеет температура отжига (оптимальные значения для достижения максимальной теплопроводности находятся в пределах 1100÷1200 и 1000÷1060). Применение метода ПЭ позволило в аналитическом виде представить результаты исследований и на основе построения пространственных изображений с достаточной точностью оценить влияние различных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М: Металлургия, – 1969, – 157 с.
2. Мухачёв, В. А. Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб.-метод. пособие / В. А. Мухачев. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, – 2007, – 118 с.
3. Тихомиров, В.Б. Планирование и анализ эксперимента. – М: «Легкая индустрия», – 1974, – 262 с.
4. Саутин, С. П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С.П. Саутин. – Л.: Химия, – 1975 – 47 с.
5. Андреев, В.Н. Математическое планирование экспериментов // – Методические указания. Л.: ЛТА, –1982, – 39 с.
6. Адлер, Ю.П., Маркова, Е.В., Грановский, Ю.В. – Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М: Наука, – 1976, – 279 с.
7. Бродский, В.З. Введение в факторное планирование эксперимента // – М: Наука, – 1976, – 224 с.
8. Рогов, В.А., Позняк, Г.Г. Методика и практика технических экспериментов: Учебное пособие. – М: Академия, – 2012.

REFERENCES

1. Adler, Yu.P. Vvedenie v planirovanie eksperimenta. – M: Metallurgiya, – 1969, – 157 s.
2. Mukhachev, V.A. Planirovanie i obrabotka rezultatov eksperimenta: ucheb.-metod. posobie / V.A. Mukhachev. – Tomsk: Tomskiy gosudarstvennyy universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, – 2007, – 118 s.
3. Tikhomirov, V.B. Planirovanie i analiz eksperimenta. – M: «Legkaya industriya», – 1974, – 262 s.
4. Sautin, S.P. Planirovanie eksperimenta v khimii i khimiceskoy tekhnologii / S.P. Sautin. – L.: Khimiya, – 1975 – 47 s.
5. Andreev, V.N. Matematicheskoe planirovanie eksperimentov // – Metodicheskie ukazaniya. L.: LTA, –1982, – 39 s.

6. Adler, Yu.P., Markova, E.V., Granovskiy, Yu.V. – Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy. M: Nauka, – 1976, – 279 s.
7. Brodskiy, V.Z. Vvedenie v faktornoe planirovanie eksperimenta // – M: Nauka, – 1976, – 224 s.
8. Rogov, V.A., Poznyak, G.G. Metodika i praktika texnicheskikh eksperimentov: Uchebnoe posobie. – M: Akademiya, – 2012.

QAZ TURBİN PƏRLƏRİNİN QORUYUCU ÖRTÜKLƏRİNİN ALINMASI PROSESİNİN TƏDQIQI ÜÇÜN EKSPERİMENTİN PLANLAŞDIRILMASI METODU

***Səmədov Ə.S., Usubaliyev T.B., Abdullayev P.Ş.
Milli Aviasiya Akademiyası***

Tədqiqatı həyata keçirmək üçün eksperimentin planlaşdırılmasının riyazi aparatından istifadə edilmişdir ki, onun əsasında temperatur aralıqları, təcrübələrin vaxtı və sayı müəyyən edilmişdir. Eksperimentlərin nəticələrinin statistik təhlili, korrelyasiya və reqressiya təhlilləri, reqressiya tənliklərinin alınmış eksperimental nəticələrə uyğunluğunun yoxlanılması aparılmışdır. Təhlillər öyrənilən materialı təsvir edən tənliklərin kifayət qədər yüksək dəqiqliyini göstərdi. Çoxfaktorlu eksperimentlərin planlaşdırılmasının tətbiqi tədqiqat nəticələrini analitik formada təqdim etməyə və fəza təsvirlərinin qurulmasına əsaslanaraq müxtəlif amillərin təsirini kifayət qədər dəqiqliklə qiymətləndirməyə imkan verdi.

***Açar sözlər:** qaz turbin pərləri, qoruyucu örtüklər, təcrübə, tədqiqat metodologiyası, riyazi üsullar, çoxfaktorlu eksperimentlərin planlaşdırılmasının statistik üsulların tətbiqi, faktorların müəyyənləşdirilməsi, təcrübə parametrləri, fəaliyyət göstəriciləri.*

METHOD OF EXPERIMENTAL DESIGN TO STUDY THE PROCESS OF PRODUCING ALLOYS FOR PROTECTIVE COATINGS OF GAS TURBINE BLADES

***Samedov A.S., Usubaliyev T.B., Abdullayev P.Sh.
National Aviation Academy***

The experimental design method was used to conduct the research, based on which the temperature ranges, time and number of experiments were specified. Application of the multifactorial experiment method allowed it possible to present the research results in an analytical form and, based on the construction of spatial images, to assess the influence of various factors with sufficient accuracy.

***Key words:** gas turbine blades, protective coating, alloys, research methodology, math methods, application of statistical methods for multifactorial experimental design, determination of factors, experimental parameters, performance indicators.*

Рецензент: д.т.н., проф. Мустафаев М.Р.

Сведения об авторах

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Ученая степень, ученое звание, должность	Контакты
Самедов Адалят Солтан оглы	Национальная Академия Авиации	д.т.н., проф., проректор по учебной работе	samedov@naa.edu.az моб: (+994) 70 676 19 01
Усубалиев Турал Бейбала оглы	Национальная Академия Авиации	к.т.н., доцент каф. «ЛА и АД»	tusubaliyev@naa.edu.az моб: (+994) 55 212 00 46
Абдуллаев Парвиз Шахмурад оглы	Национальная Академия Авиации	д.т.н., проф. зав. каф. «ЛА и АД»	parabdulla@gmail.com моб: (+994) 50 632 66 77

UOT 004.89

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1037

ŞÜŞƏNİN KİMYƏVİ TƏRKİBİNƏ ƏSASLANAN İDENTİFİKASIYASINDA İZAH OLUNA BİLƏN SÜNİ İNTELLEKTİN TƏTBİQİ

**Qardaşova L.A.¹, İbrahimova S.R.², Kosov P.İ.¹
1-Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
2-Мулли Авиасуиһа Академиһасы**

Kimyəvi komponentlərinin tərkibinə görə şüşənin identifikasiyası məsələsinə elmi ədəbiyyatda çox təsadüf olunur. Bununla belə, əksər hallarda istifadəçilər və hətta ekspertlər maşın öyrənmə alqoritmləri və qara qutu modellərindən əldə edilən nəticələrin arxasında duran səbəbi başa düşə bilmirlər. Böyük miqdarda izah oluna bilən sistemlərə baxmayaraq, qara qutu modellərinin izah oluna bilməsi problemi həmişə aktual olaraq qalır. Bu məqalədə maddələrin kimyəvi tərkibinə əsasən klassifikasiyasına görə izahat vermək üçün yeni bir yanaşma təqdim olunmuşdur. Bizim tərəfimizdən təklif olunan ideya DARPA-nın izah oluna bilən süni intellektinin arxitekturasına əsaslanır. Bu arxitekturanı Bellucci M. və b. öz işlərində semantik veb texnologiyaları ilə genişləndirməklə tətbiq etmişdir. Kosov P.İ. və b. tərəfindən təklif olunan ontoloji xassələr bu məqalədə tətbiq olunur. Bu işdə yaradılmış izah oluna bilən sistem kimyəvi komponentlərin izah oluna bilməsi üçün xüsusi olaraq hazırlanmışdır və ontologiya kimi təqdim olunan müvafiq ekspert biliklərinə əsaslanır. Layihələndirilmiş sistem kimyəvi xassələrə və əşyaların təsvirində fərdi elementlərə malik olan şüşə identifikasiya verilənlər yığını üzərində eksperiment aparılaraq yoxlanılmış və sınaqdan keçirilmişdir.

Açar sözlər: süni intellekt, izah oluna bilən süni intellekt, ontologiya, ekspert bilikləri, semantik veb, materialşünaslıq, şüşə, kimya.

Giriş

Kimyəvi tərkib analizi vasitəsilə şüşə növlərinin müəyyən edilməsi bu sahədə xüsusilə cəlbedici bir nümunədir. Şüşə müxtəlif kimyəvi tərkibi olan amorf bərk maddə olmaqla çoxsaylı sənaye, memarlıq və texnoloji tətbiqlər üçün dəqiq klassifikasiya tələb edir. Ənənəvi maşın öyrənmə yanaşmaları klassifikasiya tapşırıqlarında effektiv olsa da, çox vaxt “qara qutular” kimi fəaliyyət göstərir, dəqiq proqnozlar verir, lakin qərarların arxasında duran səbəbləri izah edə bilmir. Bu da qeyri-şəffaf, kritik analiz və ya istehsal proseslərində keyfiyyətə nəzarət kimi risklər yüksək olduqda problemlidir. Bu çətinlikləri aradan qaldırmaq üçün yeni nəsil izah oluna bilən süni intellekt alqoritmlərinin tətbiqi mühüm elmi-praktiki əhəmiyyət daşıyır, hansı ki, həm dəqiq analitik nəticələr, həm də sistemli metodoloji əsaslandırma verir.

Oviedo və b. [1] və Zhong X. və b. [2] qeyd etdiyi kimi, materialşünaslıqda modelin izah oluna bilməsi və performans arasında əlaqə vardır. Məsələn, sadə modellər daha çox şərh oluna bilən, lakin potensial olaraq daha az dəqiqdir. Materialşünaslıqda mövcud izah oluna bilən süni intellekt (ing. eXplainable Artificial Intelligence, XAI) yanaşmaları, əsasən xüsusiyyətlərin əhəmiyyətinə, surroqat modellər və ya nümunə əsaslı mülahizə [2] vasitəsilə post-hoc izahatlarına diqqət yetirsə də, bu üsullar çox vaxt materialların xüsusiyyətlərinin hərtərəfli başa düşülməsi üçün lazım olan sistemli bilik təqdimatına malik deyildir.

Post-hoc və digər metodların əksinə olaraq, semantik veb texnologiyaları insanlara sistemli olaraq ölçətan alətlər təqdim edir və bilik bazalarının başa düşülməsini asanlaşdırır. Seeliger

A. və b. [3] ontologiyalarının istifadəsi ilə bağlı araşdırmaları qiymətləndirmişdir. Onlar istifadəçilərə düzgün izahat vermək üçün maşın öyrənməsi və semantik veb texnologiyalarının birlikdə necə istifadə olunacağına dair fikirləri müzakirə etmişdirlər. Bunun əhəmiyyəti Kulmanov M. və b. tərəfindən [4]-də daha ətraflı araşdırılmışdır. Müəlliflər əvvəllər qeyd olunan üsulların sinercisinə əsaslanan ən son yanaşmaları nəzərdən keçirmiş və verilənlərdəki semantik oxşarlıqları və onlardan istifadə ilə əldə edilən proqnozları müzakirə etmişlər. Başqa tədqiqatda, mental modellərin [5] koqnitiv konsepsiyasını nəzərə alaraq, Aslam M. və b. [6] onların XAI-dəki rolunu və əhəmiyyətini müzakirə etmişdir. Bu konsepsiya öyrənmə, əsaslandırma, anlama və qərar qəbul etməyə kömək etmək üçün şəxsi təcrübələrə və müşahidələrə əsaslanan mühiti təsvir edir [5]. Müəlliflər izahat tələblərini əldə etmək, eləcə də öyrənmə mərhələsini inkişaf etdirən ontologiyaya əsaslanan model yaratmaqla izahatların başa düşülməsini artırmaq üçün mental modellərdən istifadə etdiklərini iddia edirlər. Təklif olunan freymvork istifadəçilərinə XAI tərəfindən hazırlanmış izahatlar arasında seçim etməyə imkan verir.

Semantik şəbəkəyə əsaslanan XAI, materialşünaslıqda da geniş tətbiqlərə malikdir. Qayyum F. və b. [7] materialşünaslıqda izah oluna bilən süni intellektdən istifadənin vacibliyini göstərmişdir. Onların işlərində TabNet [8] arxitekturası dərin öyrənmə proqnozlarını keramika xüsusiyyətlərinin təfsir edilə bilən təhlili ilə inteqrasiya etmək üçün istifadə edilmişdir. Digər araşdırmada Wang A.Y. və b. [9] materialşünaslıqda dərin öyrənmə modellərini şərh etmək üçün bir neçə XAI texnikasını nümayiş etdirib. Onlar modelin, elementlərin mənalı təsvirlərini necə öyrəndiyini və elementlərin yerləşdirilməsinin, mürəkkəb təsvirlərin və diqqət mexanizmlərinin vizuallaşdırılması vasitəsilə kimyəvi davranışların əldə edilməsini göstərirlər. Onların işi material xüsusiyyətlərinin proqnozlaşdırılması üçün qara qutu modellərini daha şəffaf və etibarlı edir. Toshihiro Ashino [10] material ontologiyası istifadə edərək materialşünaslıq biliklərinin inteqrasiyası üçün semantik freymvorku təqdim etmişdir. O, standartlaşdırılmış verilənlər mübadiləsinə imkan verən maddələri, prosesləri, xassələri və ətraf mühiti əhatə edən əsas ontologiyalara material verilənlərini strukturlaşdırmışdır. Bu strukturlaşdırılmış sistem təfsir edilə bilən materialların identifikasiyası tapşırıqlarını dəstəkləyərək bilən izah oluna bilən süni intellekt sistemləri üçün əsas yaradır.

İşin məqsədi

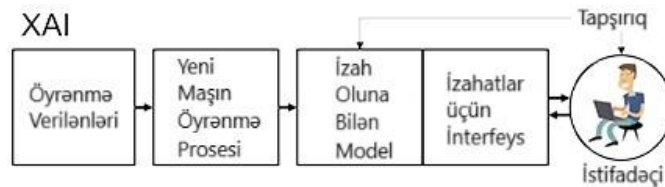
Bu tədqiqat, material identifikasiyası üçün müasir süni intellektin güclü izahat imkanlarını birləşdirən yeni bir yanaşma təqdim edir. Biz şüşə identifikasiyasının izah oluna bilən klassifikasiyası üçün xüsusi olaraq hazırlanmış bir sistemi təqdim edirik. Bu sistemi qurarkən ABŞ Müdafiə Nazirliyinin perspektivli layihələri araşdırma idarəsinin (ing. Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) əsas izah oluna bilən freymvork [11] elementlərindən, Bellucci M. və b.-nin [12] Ontologiyaya Əsaslanan Görüntü Klassifikatoru (ing. Ontology-based Image Classifier, OBIC) tərəfindən təqdim edilən genişləndirmələrdən və Kosov və b.-nin [13] təqdim etdiyi “izahedici” xüsusiyyətlərdən istifadə etmişik.

Bu yanaşma ekspert biliklərini təmsil etmək üçün ontoloji freymvorklardan istifadə edir və sahə ekspertlərinin şüşə xassələri və xüsusiyyətləri haqqında anlayışına uyğun izahatlar verir. Materialşünaslıqda ənənəvi XAI üsullarından fərqli olaraq, ontologiyaya əsaslanan yanaşmamız sahə biliklərinin, material xassələri arasındakı münasibətlərin və iyerarxik strukturların maşın tərəfindən oxuna bilən formatda formal təqdim edilməsinə imkan verir.

Məsələnin qoyuluşu və tədqiqat üsulları

Bu bölmədə işimizdə istifadə olunan bütün yanaşmalar ətraflı təsvir edilmişdir. Məqsəd müxtəlif materialşünaslıq və kimyəvi verilənlər ilə məşğul ola bilən və belə bir mühitdə adekvat izahat verən bir sistem yaratmaqdır. Bir neçə qabaqcıl yanaşmanı birləşdirən yeni sistem tədqiq edilmişdir. DARPA-nın [11] izah oluna bilən süni intellekti əsasında müasir ontologiyaya əsaslanan izah oluna bilən sistemin [12] arxitekturasında “izahedici” xüsusiyyətlər [13] istifadə edilmişdir.

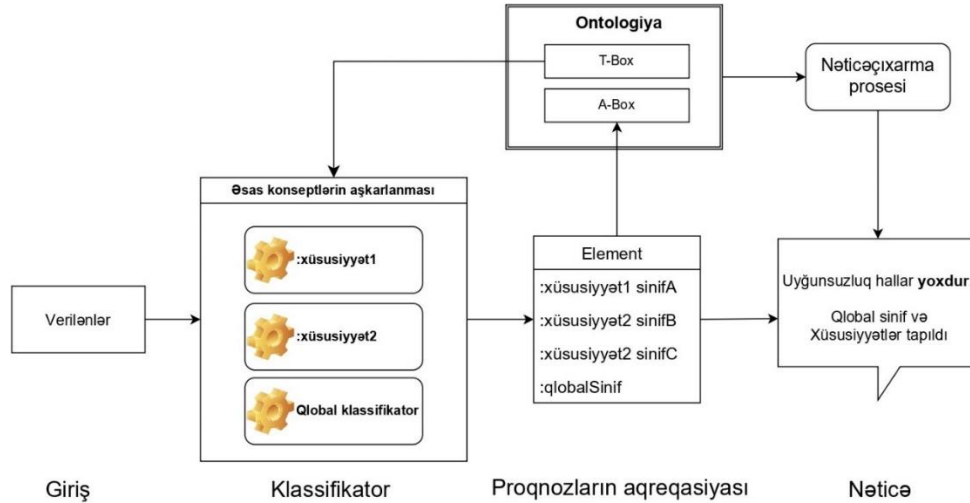
DARPA-nın izah oluna bilən Sİ (XAI). DARPA-nın XAI [11] üçün arxitekturası maşın öyrənmə modellərinin şəffaflığına və başa düşülməsinə yönəlib ki, bu da insan mərkəzli süni intellekt sistemlərinin etibarını və istifadəsini artırır. Bu freymvork iki əsas komponentdən ibarətdir: yeni maşın öyrənmə alqoritmləri (izah oluna bilən model) və izah oluna bilən freymvork. DARPA-nın XAI-nin ətraflı strukturu şəkil 1-də göstərilmişdir. Təsvir edilən freymvorka izah oluna bilən model və izahatlar üçün interfeys kimi modullar daxildir. Təklif olunan XAI sistemi məlumatları qəbul edir, qərarlar və ya alternativlər yaratmaq üçün maşın öyrənmə modellərindən istifadə edir və sonra izahatlar üçün interfeys vasitəsilə nəticələri insan tərəfindən başa düşülən formada təqdim edir. Bu yanaşma istifadəçilərin müdrək və ya əsaslandırılmış qərarlar qəbul etmələrinə imkan verən ətraflı verilənlər ilə təmin olunmasını reallaşdırır.



Şəkil 1. DARPA tərəfindən təqdim edilən XAI sisteminin arxitekturası [11]

Ontologiyaya əsaslanan görüntü klassifikatoru (OBIC). OBIC [12] DARPA-nın XAI arxitekturasına [11] tam uyğun gəlir. OBIC çoxlu maşın öyrənmə modellərini tətbiq etməklə və biliyin təsvirini təmin etmək üçün semantik veb texnologiyalarını birləşdirərək DARPA sistemini təkmilləşdirən iki əsas komponentə malikdir. Sistemin sadələşdirilmiş arxitekturası şəkil 2-də təqdim edilmişdir. OBIC öz xassələri və obyektin əsas sinfi kimi verilənlərin təsvirini saxlayan OWL2 ontologiyasından [14] istifadə edir. OBIC-in əsas ideyası, şəkillərdəki obyektlərdə tapılan və ontologiyada ekspertlər tərəfindən təsvir edilən vizual xüsusiyyətlərə əsaslanır. Verilənləri düzgün idarə etmək üçün ekspert ontologiyayı əl ilə qurur. OBIC Açıq Dünya Fərziyyəsindən (ing. Open World Assumption, OWA) istifadə edir. O, obyektlərin yoxluğunun səhv olduğunu güman edir, yəni ifadə əksi sübut olunana qədər doğru qalır.

Bu sistemin yanaşması “hər xüsusiyyət üzrə model” adlanır, yəni müəyyən ediləcək hər bir xüsusiyyət öz maşın öyrənmə modeli, üstəlik obyektin əsas sinfini müəyyən etmək üçün cavabdeh olan qlobal klassifikator ilə əlaqələndirilir. Siniflər və xassələr müəyyən edildikdən sonra onlar ontoloji fərdi elementlər kimi təşkil edilir və ardıcılığı yoxlamaq üçün əlavə məntiqi əsaslandırılmaya görə ontologiyanın ABox-na daxil edilir. Məntiqi əsaslandırıcı sonra izahatlar üçün interfeys üçün emal edilməmiş vektor nəticəsi təqdim edir, onu emal edir və hər şeyi insan üçün başa düşülən şəkildə çatdırır. Maşın öyrənmə modelləri bir xüsusiyyət üçün yenidən etiketlenmiş, orijinal verilənlər yığımında öyrədilir və orijinala əsaslanaraq hər bir xüsusiyyət üçün yeni, yenidən etiketlenmiş verilənlər yığını yaradır. Bunun əksinə olaraq, qlobal klassifikator ilkin etikətləri olan verilənlər yığımında öyrədilir.



Şəkil 2. OBIC-in işinin ümumi sxemi [12]

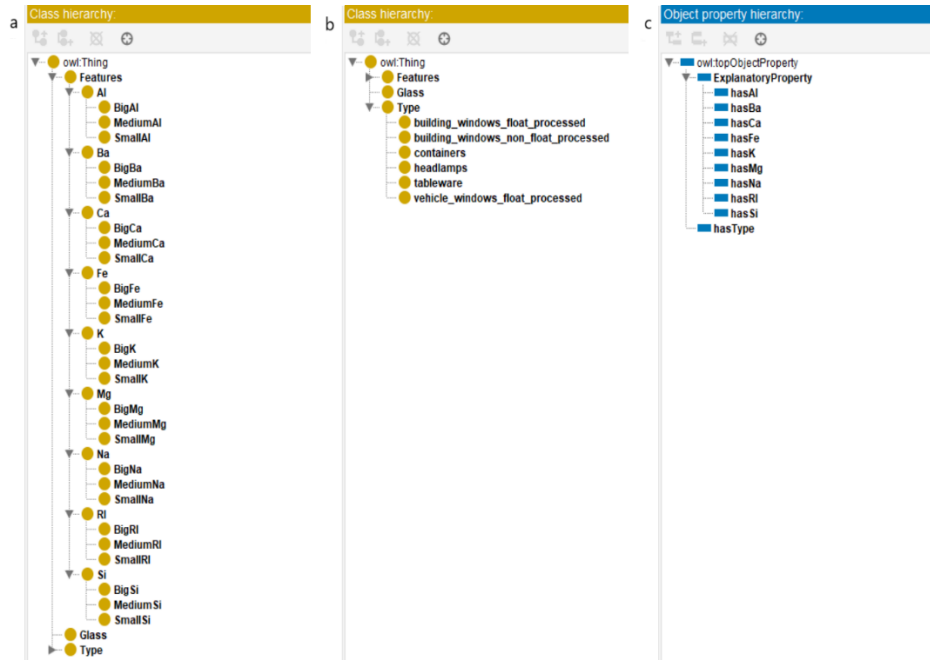
“İzahedici” xüsusiyyətlər. Kosov P.İ. və b. tərəfindən təqdim edilən “izahedici” xüsusiyyətlər anlayışı [13], DARPA-nın təqdim etdiyi ilkin fikrin ardınca bir neçə növ verilənlər üçün izahat əldə etməyə imkan verir. Qeyd edildiyi kimi, onların XAI sistemində ontoloji əsaslı izahatlar çatışmır. OBIC konsepsiyası verilənlərin vizual aspektlərinə əsaslanan cavabları təmin etmək üçün ontologiyada siniflərdə xüsusiyyətə əsaslanan məhdudiyyətdən istifadə etməkdən ibarətdir. Ontologiyaya daxilindəki hər bir sinif, təsvirin müşahidə edilən vizual atributlarına uyğunlaşdırmaq üçün klassifikasiyalı məhdudlaşdırıcı vizual xüsusiyyətlərə (forma, rəng və ya faktura kimi) malikdir. Kosov və b. istifadəçi təcrübəsi və ilkin bilikləri ilə uyğunlaşdırılan “izahedici” xüsusiyyətlər üçün məntiqi əsaslandırma və mental modellərdən [5] istifadə etməyi təklif edilmişdir. Bu üsul DARPA-nın təqdim etdiyi iş ciddi şəkildə riayət edir. Müəlliflər hesab edirlər ki, istifadəçinin bilik səviyyəsini və təcrübəsini nəzərə alaraq hər bir izahı əsaslandırmaq üçün müvafiq mental modellərdən istifadə edilməlidir. Verilənlərin növündən asılı olmayaraq, “izahedici” atributun olması XAI-ni izahatlarında daha dəqiq edir. Bu, istifadəçilərin sistem səhvlərini müəyyən etmələrini və düzəltmələrini asanlaşdırır. Ontologiyaya əsaslanan XAI sistemləri üçün “izahedici” xüsusiyyətlərin istifadəsi, müxtəlif verilənlər formatlarına əsaslanan istifadəçi tapşırıqlarını emal edə və cədvəl verilənləri ilə idarə olunan tapşırıqlar üçün etibarlı izahatlar verə bilər.

Məsələnin həlli

DARPA [11] və OBIC [12] tərəfindən təqdim olunan konsepsiyalara uyğun olaraq, biz sistemdə onun imkanlarını artıran və istifadəçilərə materialların və kimyəvi maddələrin izahatları ilə işləməyə imkan verən təkmilləşdirmələr hazırladıq. Bu, məntiqi təsvirlərə və mental modellərə [5] əsaslanan biliyi təsvir etmək üçün ekspertlər tərəfindən hazırlanmış OWL2 ontologiyasında [14] tapılan “izahedici” xüsusiyyətlərdən [13] istifadə etməklə həyata keçirilmişdir. Bundan əlavə, Semantik Veb Qayda Dili (ing. Semantic Web Rule Language, SWRL) ekspertlər tərəfindən hazırlanmış və ontologiyaya yeni daxil edilmiş verilənlər vasitəsilə əsaslandırma üçün istifadə edilmişdir. Quraşdırılmış sistem çevikdir və istənilən məşin öyrənmə modelindən istifadə etməklə son istifadəçilərin və mütəxəssislərin ehtiyaclarına uyğun olaraq tənzimlənir. İstənilən istifadəçi

interfeysindən istifadə etməyə imkan verən bütün lazım olan verilənlər JSON və CSV faylları kimi işlənir və saxlanılır.

Sistemin quruluşu. Eksperiment zamanı işlənib hazırlanmış yanaşmamız [15]-də təqdim olunan şüşə identifikasiyası verilənlər yığımında sınaqdan keçirilib. TabNetdən [8] verilənlərin klassifikasiyası üçün maşın öyrənmə modelimiz kimi istifadə edilib. O, yanaşmamızda yoxlamalı və sübut etməli olduğumuz xüsusiyyətləri səmərəli şəkildə istifadə edir. Bu verilənlər yığımındakı hər bir element 9 xüsusiyyətlə təsvir edilən və 6 fərqli şüşə növündə etikətlənən bir şüşə elementini təmsil edir. Beləliklə, ontologiyada 3 əsas sinif var. Məsələn, şüşənin növünü proqnozlaşdırmağa kömək edən xüsusiyyətlər sinfi "Features", növləri saxlayan sinif "Type" və verilənlər yığımından bütün şüşələri saxlayan "Glass" sinfi. Verilənlər yığımındakı hər bir sıra ontologiyaya fərdi olaraq daxil edilmiş şüşədir. Obyekt xüsusiyyətlərə, "ExplanatoryProperty"-yə malikdir və bu nəticəni izah etmək üçün istifadə olunur, "hasType" isə "Type"-ı proqnozlaşdırmaq üçün istifadə olunur. Ontologiyanın dəqiq strukturu, eləcə də bütün iyerarxik təsvirlərin Protege proqramından götürülən fraqmenti şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. Ontologiyanın Xüsusiyyətləri (b) və Tip (c) və Obyekt Xüsusiyyətləri (a) sinifləri

“*Explanatory Properties*” ekspert biliklərinə əsaslanır və istifadəçilərin mental modellərinə uyğunlaşdırılır. Cədvəl 1 göstərir ki, diapazon (range) və sahə (domain) ontologiya sinifləri ilə müəyyən edilir. Eyni sahə xüsusiyyətləri müəyyən edir, diapazon isə bir xüsusiyyətdən digərinə dəyişir. Bütün “izahedici” xüsusiyyətlərin ümumi sahəyə malik olmasının səbəbi odur ki, onların hamısı “Features” sinfinin müvafiq alt siniflərindən öz diapazonunu kimi istifadə edərək, yalnız “Glass” sinfinə daxil edilmiş fərdi şüşə obyektləri təsvir etməyə xidmət edir.

Hər bir *topObjectProperty* üçün diapazon (range) və sahə (domain)

Cədvəl 1

<i>topObject Property</i>	Range	Domain
<i>hasRI</i>	Glass	Features → RI
<i>hasNa</i>	Glass	Features → Na
<i>hasMg</i>	Glass	Features → Mg
<i>hasAl</i>	Glass	Features → Al
<i>hasSi</i>	Glass	Features → Si
<i>hasK</i>	Glass	Features → K
<i>hasCa</i>	Glass	Features → Ca
<i>hasBa</i>	Glass	Features → Ba
<i>hasFe</i>	Glass	Features → Fe
<i>hasType</i>	Glass	Type

Qeyd olunan sinif iyerarxiyası, məhdudiyyətlər və sinif təsvirləri kimi xüsusiyyətlər ekspertlərin subyektiv rəylərinə əsasən yaradılmış və daha sonra ekspert bilikləri və ontologiyasının mental modellərinə [5] və son istifadəçinin verilən bilik səviyyəsinə uyğunlaşdırılmışdır. Beləliklə, eyni sistem müxtəlif elementlər tərəfindən fərqli şəkildə qəbul edilə bilər. Bu fərqlər yalnız izahatların necə təqdim olunduğuna və istifadəçilərin onları necə şərh etdiyinə təsir göstərir. Qeyd etmək vacibdir ki, qavrayışdakı bu dəyişikliklər heç bir şəkildə orijinal verilənləri dəyişdirmir.

Nəticələr və onların müzakirəsi. Bu təcrübə nəticəsində biz maşın öyrənmə modellərindən proqnozlar yaradır və onları JSON faylları kimi saxlayırıq. Daha sonra izahat freymvorku istifadəçilərə asanlıqla başa düşülən izahatlar vermək üçün bu proqnozlardan istifadə edir. Bu dizayn maşın öyrənmə modellərinin nəticələrini ehtiva edən JSON fayllarından istifadə edərək müxtəlif istifadəçi interfeyslərinin sistemimizlə inteqrasiyasına imkan verir. Əlavə olaraq, kifayət qədər təcrübə ilə proqramçılar və ya ekspertlər digər yeni istifadəçi interfeysi sistemlərinin inteqrasiyasına ehtiyac olmadan istifadəçi tələblərinə cavab vermək üçün izahatların necə təqdim olunduğunu fərdiləşdirə bilərlər.

Hazırlanmış sistem ekspert tərəfindən hazırlanmış ümumi on üç SWRL qaydasını təklif edir. Qaydalar verilənlər yığımında təqdim olunan bütün şüşə növləri üçün nəzərdə tutulmuşdur və onların dəqiqliyi 75-78% aralığında dəyişir. Qaydalar və “izahedici” xüsusiyyətlər ekspert biliklərinə əsaslanır və istifadəçilərin mental modellərinə uyğunlaşdırılıb. Bu o deməkdir ki, fərqli təcrübəyə malik olan ekspertlər və istifadəçilər eyni verilənlər yığınları üçün müxtəlif izahlara malik ola bilərlər. SWRL qaydaları tətbiqlərin praktikliyi və real həyatda tətbiq oluna bilməsi nəzərə alınmaqla yaradılmalı, mənalı və ümumi olmalı və müxtəlif kimyəvi verilənlər yığımına tətbiq oluna bilməsi üçün verilənlər yığımına qərəzli olmamalıdır. Nümunə olaraq, şəkil 4-də fərdi elementlər vasitəsilə nəticə çıxarma üçün mümkün SWRL qaydaları göstərilmişdir.

Uyğunsuzluq hallarında sistem yanlış cavablar verməmək üçün “Bilmirəm” işarəsini verir. Bununla belə, ardıcıl elementlər təqdim edildikdə, sistem tapılmış xassələrlə birlikdə qlobal klassifikator tərəfindən müəyyən edilmiş sinif kimi təfərrüatlar daxil olmaqla hərtərəfli izahatlar təqdim edir. Bu, istifadəçiyə bütün məlumatları görməyə və əlavə məntiqi nəticə çıxarmaya kömək

etmək üçün edilib. Ətraflı izahat əldə etmək üçün ardıcıl və qeyri-sabit proqnozların ümumi sayı və faizi kimi parametrləri verməklə sistemin izahatlarını ümumiləşdirmək üçün tənzimləmək olur.

<pre> hasRI(?g, MediumRI) ^ hasNa(?g, MediumNa) ^ hasMg(?g, MediumMg) ^ hasAl(?g, SmallAl) ^ hasSi(?g, MediumSi) ^ hasK(?g, SmallK) ^ hasCa(?g, MediumCa) ^ hasBa(?g, SmallBa) ^ hasFe(?g, SmallFe) → hasType(?g,"building_windows_float_processed") </pre>	<pre> hasRI(?g, MediumRI) ^ hasNa(?g, MediumNa) ^ hasMg(?g, MediumMg) ^ hasAl(?g, BigAl) ^ hasSi(?g, MediumSi) ^ hasK(?g, SmallK) ^ hasCa(?g, SmallCa) ^ hasBa(?g, SmallBa) ^ hasFe(?g, SmallFe) → hasType(?g,"building_windows_non_float_processed") </pre>
<pre> hasRI(?g, MediumRI) ^ hasNa(?g, MediumNa) ^ hasMg(?g, MediumMg) ^ hasAl(?g, SmallAl) ^ hasSi(?g, MediumSi) ^ hasK(?g, SmallK) ^ hasCa(?g, BigCa) ^ hasBa(?g, SmallBa) ^ hasFe(?g, SmallFe) → hasType(?g, "vehicle_windows_float_processed") </pre>	<pre> hasRI(?g, MediumRI) ^ hasNa(?g, SmallNa) ^ hasMg(?g, SmallMg) ^ hasAl(?g, BigAl) ^ hasSi(?g, MediumSi) ^ hasK(?g, MediumK) ^ hasCa(?g, BigCa) ^ hasBa(?g, SmallBa) ^ hasFe(?g, SmallFe) → hasType(?g, "containers") </pre>
<pre> hasRI(?g, MediumRI) ^ hasNa(?g, BigNa) ^ hasMg(?g, SmallMg) ^ hasAl(?g, MediumAl) ^ hasSi(?g, BigSi) ^ hasK(?g, SmallK) ^ hasCa(?g, MediumCa) ^ hasBa(?g, SmallBa) ^ hasFe(?g, SmallFe) → hasType(?g, "tableware") </pre>	<pre> hasRI(?g, BigRI) ^ hasNa(?g, BigNa) ^ hasMg(?g, SmallMg) ^ hasAl(?g, BigAl) ^ hasSi(?g, MediumSi) ^ hasK(?g, SmallK) ^ hasCa(?g, BigCa) ^ hasBa(?g, BigBa) ^ hasFe(?g, SmallFe) → hasType(?g, "headlamps") </pre>

Şəkil 4. Nəticə çıxarma üçün mümkün SWRL qaydaları

Nəticə

Bu araşdırma kimya və materialşünaslıq üçün XAI sisteminin izahatlarını təkmilləşdirmək və izah olunma qabiliyyətini artırmaq imkanlarını təhlil edir. Yeni təklif olunan yanaşma “izahedici” xüsusiyyət anlayışının kimyəvi tərkibə əsaslanan izahatlar verməklə materialşünaslıq kimi mühüm sahədə izahlılığını yaxşılaşdırmaqla XAI-ni inkişaf etdirməyə necə kömək edə biləcəyinə aydınlıq gətirir. Bizim yanaşmamızı qiymətləndirmək üçün DARPA ideyaları ilə uyğunlaşdırılmış OBIC-in bir hissəsi kimi “izahedici” xüsusiyyətləri şüşə identifikasiyası verilənlər yığımına tətbiq edilmişdir. Tərəfimizdən sınaqlar və eksperimentlər nəticəsində bu xassələrdən optimal şəkildə istifadə edə bilən, kimya və materialşünaslıq verilənlər yığınlarının proqnozlarını və izahatlarını təmin edən yeni sistem yaradılmışdır.

REFERENCES

1. Oviedo F., Ferres J. L., Buonassisi T., Butler K. T. Interpretable and Explainable Machine Learning for Materials Science and Chemistry. *Acc. Mater. Res.* Vol. 3, № 6, pp. 597-607, 2022. (in English)
2. Zhong X., Gallagher, B., Liu, S., Kailkhura B., Hiszpanski A., Han, T. Y. J. Explainable machine learning in materials science. *npj Comput Mater.* Vol. 8, № 1, pp. 204, 2022. (in English)

3. Seeliger A., Pfaff M., Krcmar H. Semantic web technologies for explainable machine learning models: A literature review. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2465, pp. 30-45, 2019. (in English)
4. Kulmanov M., Smaili F.Z., Gao X., Hoehndorf R. Semantic similarity and machine learning with ontologies. *Briefings in Bioinformatics*, Vol. 22, № 4, pp. bbaa199, 2021. (in English)
5. Jones N.A., Ross H., Lynam T., Perez P., Leitch A. Mental Models: An Interdisciplinary Synthesis of Theory and Methods. *Ecology and Society*, Vol. 16, № 1, pp. art46, 2011. (in English)
6. Aslam M., Segura-Velandia D., Goh Y.M. A Conceptual Model Framework for XAI Requirement Elicitation of Application Domain System. *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 108080-108091, 2023. (in English)
7. Qayyum F., Khan M.A., Kim D.H., Ko H., Ryu G.A. Explainable AI for Material Property Prediction Based on Energy Cloud: A Shapley-Driven Approach. *Materials*, Vol. 16, № 23, pp. 7322, 2023. (in English)
8. Arik S.O., Pfister T. TabNet: Attentive Interpretable Tabular Learning. *arXiv*, 2019. (in English)
9. Wang A.Y., Mahmoud M.S., Czasny M., Gurlo A. CrabNet for Explainable Deep Learning in Materials Science: Bridging the Gap Between Academia and Industry. *Integr Mater Manuf Innov*, Vol. 11, № 1, pp. 41-56, 2022. (in English)
10. Ashino T. Materials Ontology: An Infrastructure for Exchanging Materials Information and Knowledge. *Data Sci. J.*, Vol. 9, pp. 54-61, 2010. (in English)
11. Gunning D., Aha D.W. DARPA's Explainable Artificial Intelligence Program. *AI Magazine*. Vol. 40, № 2, pp. 44-58, 2019. (in English)
12. Bellucci M., Delestre N., Malandain N., Zanni-Merk C. Combining an explainable model based on ontologies with an explanation interface to classify images. *Procedia Computer Science*, Vol. 207, pp. 2395-2403, 2022. (in English)
13. Kosov P., El Kadhi N., Zanni-Merk C., Gardashova L. Advancing XAI: new properties to broaden semantic-based explanations of black-box learning models. *Procedia Computer Science*, Vol. 246, pp. 2292-2301, 2024. (in English)
14. World Wide Web Consortium (W3C). OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition). 2012. <https://www.w3.org/TR/owl2-overview> (in English)
15. German B. Glass Identification. *UCI Machine Learning Repository*, 1987. <https://doi.org/10.24432/C5WW2P> (in English)

APPLICATION OF EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN GLASS IDENTIFICATION BASED ON ITS CHEMICAL COMPOSITION

Gardashova L.A., Ibrahimova S.R., Kosov P.I.
Azerbaijan State Oil and Industry University

The identification of glass based on its chemical component composition is frequently encountered in scientific literature. However, in most cases, users and even experts cannot understand the underlying reasoning behind the results obtained from machine learning algorithms and black box models. Despite the existence of numerous explainable systems, the problem of black box model explainability remains perpetually relevant. This paper presents a novel approach for

providing explanations based on the classification of substances according to their chemical composition. Our proposed idea is based on DARPA's explainable artificial intelligence architecture. This architecture was implemented by Bellucci et al., who extended it with semantic web technologies in their work. The ontological properties proposed by Kosov P.İ. et al. are applied in this paper. The explainable system developed in this work is specifically designed for the explainability of chemical components and is based on relevant expert knowledge presented as ontology. The designed system has been verified and tested through experimentation on a glass identification dataset containing chemical properties and individual elements in the description of objects.

Key words: *artificial intelligence, explainable artificial intelligence, ontology, expert knowledge, semantic web, materials science, glass, chemistry.*

Rəyçilər: *t.f.d., dos. Rəhimova N.Ə.*

t.f.d., dos. Dadaşov F.H.

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Qardaşova Lətafət Abbas qızı	Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti	Elmi işlər üzrə prorektor t.e.d., prof.	l.qardashova@asoiu.edu.az mob: (+994) 50 584 09 01
Ibrahimova Sevda Rafiq qızı	Милли Авиация Академиясы	“Aerokosmik informasiya sistemləri” kafedrasının dosenti, f.r.e.n.	s_ibrahimova@yahoo.com mob: (+994) 50 342 70 18
Kosov Pavel İqoreviç	Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti	“Kompüter mühəndisliyi” kafedrasının doktorantı	Pavel_kosov@asoiu.edu.az mob: (+994) 77 81 80

UDC: 004.9

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1039

USING A SINGLE-BOARD COMPUTER AS A NAS SERVE

Rzayev K.O.

Капитал Банк

The rapid advancement of information and computer technologies has led to the development of single-board computers. Single-board computers are perfect for a variety of uses, such as embedded systems, development projects, and educational settings. Commercial Network Attached Storage systems come with various features and capabilities but are often expensive and complex. On the other hand, single-board computers are cost-effective and versatile. This article explores the potential of using single-board computers to create a Network Attached Storage system for aviation applications. The approach provides a cost-effective alternative to commercial Network Attached Storage systems. The use of single-board computers-based Network Attached Storage systems can also be extended to other industries requiring reliable and cost-effective data storage solutions. Additionally, the paper evaluates and compares the hardware components and potential applications by various providers.

Key word: NAS, SBC, Data Storage, File Sharing, Microcomputer, Raspberry Pi, Embedded Systems, Cost-effective.

Additional keywords and phrases: NAS, SBC

Introduction

The advent of single-board computers (SBCs) like the Raspberry Pi and Cubieboard has revolutionized computing by offering powerful, compact, and affordable computing solutions. These devices integrate a microprocessor, memory, input/output (I/O) systems, and other essential components on a single printed circuit board [1]. This paper discusses the feasibility and advantages of using SBCs to build a Network Attached Storage (NAS) server tailored for aviation needs, where data transfer speed, cost-efficiency, and system flexibility are critical.

Literature Review

From basic computers to a development platform for a wide range of projects, from weather stations to media center systems, single-board computers have a wide range of purposes and target customers. Many of these organizations' primary goals are to lower the cost of computers and development and provide a collection of resources that help people learn about computers and computer programming to make these tools available to a larger audience. Numerous businesses are creating single-board computers for different markets. One such is the BBC Micro: Bit, which was created especially for kids' usage in classrooms [2]. This reminds me of the BBC's original Microcomputer from the 1980s, which was designed to be a teaching tool as part of the BBC's computer literacy initiative. Hardkernel Co., a South Korean startup, manufactures a range of

single-board computers known as Odroid [3] Since launching their first board in 2009, the firm has produced other boards. Although the Android operating system is the primary focus of Odroid boards, they also support a variety of Linux-based operating systems, including Ubuntu. Higher-end technologies, such as 1GB Ethernet USB 3 and larger RAM capacities, that are absent from other single-board computers are typically the focal point of Odroid products. However, when compared to other single-board computers, the Odroid devices can be highly expensive because of their high-end features and shipping from Korea [4]. In addition to providing an open-source hardware platform, Arduino allows users to design their custom boards and makes boards for a variety of uses. Rather than being a single-board computer, the Arduino is better understood as a microcontroller. While the Arduino was designed from the bottom up to be a device for projects that just ran a program rather than running software as part of a full OS like the Pi, the Raspberry Pi is more of a general-purpose computer that can be used in projects.

NAS Server Architecture

Single-board computers (SBCs) are entire computers consisting of a CPU, memory, and necessary input/output components all on one circuit board. They are perfect for a variety of uses, such as embedded systems, development projects, and educational settings because of their small size and adaptability [5]. The design of SBCs ensures that all necessary components are integrated, making them suitable for various specialized applications. The SBC market offers various models, each catering to different needs. Key players include Cubieboard and Raspberry Pi: - Cubieboard: This series includes models from the early Cubieboard to the more advanced Cubietruck and Cubieboard 4. Features such as HDMI, Ethernet, Wi-Fi, and Bluetooth are common across these models, providing ample connectivity options. Each iteration of Cubieboard has introduced enhancements in processing power, memory capacity, and peripheral support, making them increasingly suitable for complex tasks [3].

- Power input;
- Ethernet;
- HDMI;
- Optical audio port;
- VGA;
- USB;
- Micro USB;
- 3.5 mm audio jack;
- SD card;
- SATA;
- GPIO.

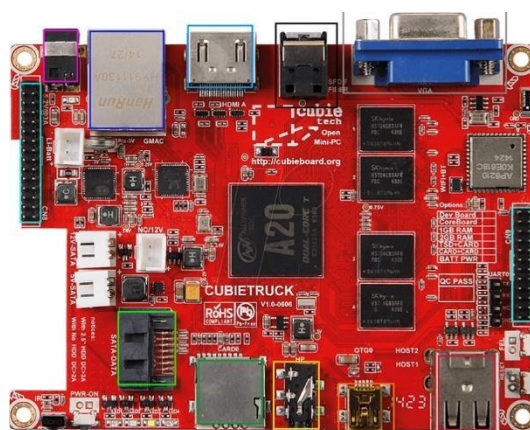


Figure 1. Cubieboard Architecture

Raspberry Pi: Known for its affordability and widespread use, Raspberry Pi models range from the basic Model A to the more powerful Model B and the ultra-compact Zero series [6]. These models vary in processing power, memory, and I/O options, making them suitable for a wide range

of applications. The Raspberry Pi community has also developed a wealth of software and project guides, further enhancing the versatility and appeal of these devices.

NAS servers are dedicated file storage devices connected to a network, allowing multiple users to store and retrieve data from a central location. NAS systems have evolved from basic file servers to sophisticated devices offering multiple functionalities, including data backup, media streaming, and cloud storage. The primary function of a NAS is to provide a central repository for data, accessible to authorized users within a network. Commercial NAS systems come with various features and capabilities but are often expensive and complex. High-end NAS solutions offer advanced features such as RAID configurations, multiple drive bays, and integrated backup solutions. However, these features come at a significant cost, which can be prohibitive for small-scale applications. In contrast, using an SBC to build a NAS server offers a cost-effective and customizable alternative, particularly suitable for specialized applications.

Evaluation of Hardware Systems

In this paper, we have evaluated various single-board computer systems for their suitability in different applications based on their characteristics. The Asus Tinker Board offers a balance of performance and connectivity, making it suitable for general use. The Odroid provides versatile OS support, capable of running both Android and Ubuntu, making it ideal for applications requiring specific operating systems. The C.H.I.P, with its onboard storage and basic connectivity options, is well-suited for simpler projects. However, the Raspberry Pi 4 stands out as the most versatile and high-performance option, with its high RAM capacity, extensive connectivity features, and robust performance capabilities, making it the best choice for more intensive applications (table 1).

Table 1

Evaluation of SBC as NAS systems

System Name	Characteristics
Asus Thinker Board	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 GB Ethernet ● 2 GB RAM capacity ● Bluetooth ● Wifi ● Software: Debian, Tinker OS ● Chip Clocking up to 1.8 GHz
Odroid	<ul style="list-style-type: none"> ● Android OS (supports Linux as Ubuntu) ● 1 Gb Ethernet ● USB 3 ● High RAM Capacities ● MicroSD ● eMMC flash card
C.H.I.P	<ul style="list-style-type: none"> ● Bluetooth ● Wifi ● 4 GB storage ● Debian OS

Raspberry Pi 4	<ul style="list-style-type: none"> ● USB-C ● Micro HDMI Ports ● Supporting 2x4k displays ● Up to 8 RAM capabilities ● Gigabit Ethernet ● USB 2, USB 3 ● Raspbian OS
----------------	--

Usage Scenarios in Aviation

A NAS server in aviation can serve multiple purposes: data logging, file sharing, system backups, media server, and mail server/web hosting. Data Logging serves as collecting and storing flight data for analysis and compliance. Flight data recorders generate large amounts of data that must be stored securely and accessed quickly for analysis. File Sharing is mainly facilitating the easy sharing of manuals, charts, and other critical documents among the crew and maintenance teams. Having a central repository of up-to-date documents ensures that all team members have access to the latest information. Ensuring regular backups of crucial system data to prevent data loss. Automated backup solutions can be configured to regularly back up critical systems, ensuring data integrity and availability in case of hardware failure or other issues [7]. As a media server, NAS is capable of storing and cataloging video, audio, and graphic files on the NAS, making them accessible to computers, TVs, laptops, tablets, and smartphones in offices, airport waiting areas, or airplanes. Essentially, this is the entertainment aspect of a "smart network": a network infrastructure that connects all local gadgets into a single functional system. Another popular scenario, similar to the media server, is using NAS as a torrent server [8,9]. This requires the NAS to be connected to the internet 24/7 to download new files through a peer-to-peer network and provide access to already downloaded content to other users. Running a torrent server on NAS requires the storage platform to have the necessary mechanisms, at least built-in utilities that replicate the functions of torrent client programs. Hosting a mini website, mail server, or surveillance camera server is another possible application of NAS in aviation. Setting up a mail server in an office is beneficial if there's a local network. For web servers, users should consider the computational power of the NAS, which depends on the technical platform and processor architecture. ARM-based NAS devices are cost-effective, produce minimal heat, and have low power consumption, making them ideal for these applications.

Conclusion

This paper demonstrates the feasibility of using an SBC as a cost-effective NAS server for various applications and evaluates the existing hardware by several criteria. SBCs offer significant advantages in terms of cost, flexibility, and ease of use compared to commercial NAS systems. By leveraging SBCs, aviation professionals can deploy customized, efficient, and affordable storage solutions that meet their specific needs. The use of SBC-based NAS systems can also be extended to other industries requiring reliable and cost-effective data storage solutions. The selection of a single-board computer should be driven by the specific needs of the project, considering factors such as required performance, connectivity, and operating system support. Each of the evaluated systems has unique strengths that cater to different types of projects, ensuring that there is an appropriate option available for a wide range of applications.

REFERENCES

1. “How to Choose the Single Board Computer for Your Projects”, 2024, Shenzhen International Innovation Valley, China. <https://www.geniatech.com/how-to-choose-the-single-board-computer-for-your-projects>
2. “The Micro:bit Educational Foundation”. <https://microbit.thinkific.com/>.
3. “Hardkernel.co ODR0ID-XU4”. <https://www.mikronauts.com/hardkernel/hardkernel-odroid-xu4-preview/>
4. Christopher Maguire, “Developing a Network Storage Device Using a Single Board Computer”, University of Bedfordshire, October 2018. <https://uobrep.openrepository.com/bitstream/handle/10547/624003/Repository%20MAGUIRE%20Chris.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
5. “What are Single Board Computers and How Are They Used?”, May 18, 2022, Letchworth Garden City, United Kingdom. <https://www.dsl-industrialcomputing.co.uk/what-are-single-board-computers-and-how-are-they-used>
6. Matthias Jochen Schnepf, Diana Gudu, Max Fischer, “Benchmark of a Cubieboard cluster”, Journal of Physics Conference Series, Dec 2015. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/664/5/052032/pdf>
7. Ajay Chadha, “Centralized Knowledge Repository - Its Importance, Benefits, Implementation, and Best Practices”, March 2023. <https://www.phpkb.com/kb/article/centralized-knowledge-repository-its-importance-benefits-implementation-and-best-practices-356.html>
8. M.A. Howe, Michael Gregory Marino, “Integration of embedded single-board computers into an object-oriented software bus DAQ application”, Nuclear Science Symposium Conference Record IEEE, November 2008. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4775104>
9. Andika Candra Jaya, “The use of Raspberry Pi as NAS”, April 2021. https://www.researchgate.net/publication/350755237_The_use_of_Raspberry_Pi_as_NAS

TƏKLÖVHƏLİ KOMPÜTERİN NAS SERVER KİMİ İSTİFADƏ EDİLMƏSİ

Rzayev K.O.
Kapital Bank

İnformasiya və kompüter texnologiyalarının sürətli inkişafı tək platalı kompüterlərin (TPK) inkişafına səbəb oldu. TPK-lar daxili sistemlər, tətbiq layihələri və təhsil platforması kimi müxtəlif istifadələr üçün mükəmməldir. Kommersiya NAS sistemləri müxtəlif xüsusiyyətlərə və imkanlara malikdir, lakin çox vaxt bahalı və mürəkkəbdir. Digər tərəfdən, tək platalı kompüterlər sərfəli və çox yönlüdür. Bu məqalə aviasiya tətbiqləri üçün Network Attached Storage (NAS) sistemi yaratmaq üçün TPK-dən istifadə potensialını araşdırır. Bu yanaşma kommersiya NAS sistemlərinə sərfəli alternativ təmin edir. TPK əsaslı NAS sistemlərinin istifadəsi etibarlı və sərfəli məlumat saxlama həlləri tələb edən digər sənaye sahələrinə də genişləndirilə bilər. Bundan əlavə, məqalə müxtəlif provayderlər tərəfindən aparat komponentləri və potensial tətbiqləri qiymətləndirir və müqayisə edir.

Açar sözlər: NAS, Tək Lövhəli Kompüter, Məlumat Saxlama, Fayl Paylaşımı, Mikrokompüter, Raspberry Pi, Gömülü Sistemlər, Sərfəli.

Reviewer: Qarayev Q.İ., Ph.D.

Information about the authors

Name, surname, father's name	Workplace	Position, scientific degree, scientific name	Contact
Rzayev Kamran Oqtay	Kapital Bank	Backend-Developer (MS)	rzayev1213@gmail.com mob: (+994) 55 969 01 95

УДК: 37.013.32

DOI: 10.30546/EMNAA.2024.04.1043

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ В ПРЕПОДАВАНИИ РУССКОГО ЯЗЫКА КАК ИНОСТРАННОГО

Ашрафова О.Н.

Национальная Авиационная Академия

В данной статье представлен анализ современных вызовов, с которыми сталкиваются преподаватели русского языка как иностранного. В современном мире, где глобализация и межкультурное взаимодействие становятся все более интенсивными, изучение русского языка приобретает все большую популярность. Однако, вместе с этим возникают новые и уникальные вызовы, требующие приспособления и разработки новых подходов к преподаванию. В этой статье рассмотрены не только вызовы, но и предложены практические рекомендации и стратегии, которые помогут преподавателям преодолеть эти преграды и достичь эффективных результатов в преподавании русского языка как иностранного.

Ключевые слова: преподавание русского языка, иностранный язык, вызовы, индивидуализация, адаптированные учебные материалы, устная речь, литература, культура, межкультурное взаимодействие.

Введение. Современное общество стало свидетелем увеличения потребности в изучении русского языка как иностранного. Глобализация, развитие межкультурного взаимодействия и возрастающий интерес к русской культуре создают новые возможности и вызовы для преподавания русского языка.

Студенты могут иметь разные языковые фонды, культурные контексты и индивидуальные потребности. Это требует от преподавателей гибкости и способности адаптировать учебный процесс под нужды каждого студента.

Индивидуализация и дифференциация становятся неотъемлемыми частями преподавательской практики, что позволяет достичь оптимальных результатов.

Кроме того, развитие навыков устной речи, использование литературы и культуры в учебном процессе, а также развитие кросс культурной компетенции становятся все более важными аспектами преподавания русского языка. Студенты стремятся не только освоить языковые навыки, но и понять русскую культуру и ее особенности.

Актуальность проблемы преподавания русского языка как иностранного неоспорима в современном мире. Русский язык является одним из самых распространенных языков международного общения и официальным языком во многих странах.

Однако, современные вызовы и тенденции в мире образования требуют от преподавателей русского языка как иностранного гибкости, адаптивности и новых подходов.

Развитие технологий и доступность онлайн-ресурсов меняют образ обучения и требуют от преподавателей освоения новых инструментов и методов обучения. Кроме того, межкультурное взаимодействие становится все более значимым, и преподавателям необходимо помочь студентам не только освоить язык, но и понять адаптироваться к русской культуре и обществу [1].

В свете этих факторов, понимание и преодоление современных вызовов в преподавании русского языка как иностранного становятся критически важными для обеспечения качественного и эффективного обучения. Преподаватели должны быть готовы к разнообразным потребностям студентов, использовать современные технологии и развивать свои методические подходы, чтобы создать стимулирующую и интерактивную учебную среду. Это позволит студентам успешно освоить русский язык и достичь своих языковых и культурных целей.

Целью данной статьи является представление новейшей информации и современных подходов к преподаванию русского языка как иностранного.

Основная цель статьи - исследовать актуальные тенденции и изменения в преподавании русского языка, связанные с развитием технологий, межкультурного взаимодействия и индивидуализации образования [2]. Рассмотрена важность развития навыков устной речи, использования литературы и культуры в учебном процессе, а также развитие межкультурной компетенции.

Преподавание русского языка как иностранного в современном образовательном контексте сталкивается с рядом вызовов и требует применения новых подходов для достижения оптимальных результатов. В данной статье мы рассмотрим актуальные тенденции и представим новые методы, которые помогут преподавателям эффективно справляться с ними [2].

Одним из ключевых вызовов является неоднородность групп студентов. Студенты, изучающие русский язык как иностранный, могут иметь разные языковые фонды, культурные контексты и индивидуальные потребности. Для успешного обучения необходимо индивидуализировать учебный процесс, адаптировать его под нужды каждого студента. Это требует от преподавателей гибкости и умения применять дифференцированные методы обучения, которые учитывают разнообразие уровней и потребностей студентов.

Важным аспектом современного преподавания русского языка является использование современных технологий. В эпоху цифровой революции, интерактивные онлайн-платформы, приложения и социальные сети предоставляют новые возможности для эффективного обучения. Преподаватели должны быть готовы осваивать новые инструменты и внедрять их в учебный процесс. Возможности онлайн-обучения, вебинаров и виртуальных классов позволяют создать интерактивную и мотивирующую учебную среду, которая способствует активному участию студентов и развитию их коммуникативных навыков [3].

Развитие навыков устной речи является одним из приоритетов в преподавании русского языка. В современном мире, где устная коммуникация занимает все более центральное место, студенты должны быть способными свободно и грамотно выражать свои мысли на русском языке. Преподаватели должны предлагать студентам разнообразные упражнения и задания, которые развивают их устную речь, а также создавать ситуации, в которых студенты могут практиковать язык на практике.

Кроме того, использование литературы и культуры является важной составляющей преподавания русского языка. Через чтение литературных произведений и изучение культурных аспектов русскоязычных стран студенты не только расширяют свой лингвистический репертуар, но и погружаются в мир русской культуры и истории. Преподаватели могут использовать адаптированные литературные тексты, фильмы, музыку и другие источники, которые помогут студентам лучше понять русскую культуру и развить свою кросс культурную компетенцию [4].

Использование современных технологий является неотъемлемой частью современного преподавания русского языка. Онлайн-платформы, приложения и инструменты помогают создать интерактивную и стимулирующую учебную среду. Виртуальные классы и вебинары позволяют преподавателям и студентам взаимодействовать и обмениваться информацией в режиме реального времени, расширяя возможности обучения и общения.

Развитие устной речи является приоритетом в преподавании русского языка. Студентам необходимо развивать свою способность говорить свободно и грамотно на русском языке [5]. Преподаватели могут предлагать упражнения и задания, которые стимулируют общение и практику устной речи.

Групповые дискуссии, ролевые игры и различные коммуникативные задания помогут студентам развить свои навыки в реальных ситуациях общения.

Включение литературы и культуры русскоязычных стран в учебный процесс позволяет студентам понять русскую культуру и историю. Чтение адаптированных литературных произведений, просмотр фильмов и изучение культурных особенностей помогают студентам расширить свой языковой и культурный репертуар, а также развить кросс культурную компетенцию [6].

Индивидуализация обучения, использование современных технологий, развитие устной речи и включение литературы и культуры - это фундаментальные элементы, которые помогут преподавателям достичь успеха и обеспечить качественное обучение студентов русскому языку.

Обучение русскому языку как иностранному представляет определенные особенности и вызовы, особенно для студентов из разных языковых сред. В данной статье рассмотрены эти трудности, предложены эффективные методы и подходы для их преодоления, используя новые слова и информацию.

Одной из основных трудностей, с которыми сталкиваются студенты, является сложность русской грамматики. Русский язык обладает богатыми грамматическими правилами, включая падежи, глагольные виды и сложную систему согласования [7]. Для преодоления этих трудностей рекомендуется активное использование грамматических упражнений, где студенты могут практиковать и закреплять правила на конкретных примерах. Также полезно предлагать студентам контекстуальные задания, которые помогут им увидеть грамматику в действии и применять ее на практике. Еще одной сложностью является произношение русских звуков и интонации.

Русский язык имеет свои уникальные звуки, которые могут отличаться от звуков в языке студента. Для этого можно использовать фонетические упражнения и тренировки, которые помогут студентам различать и правильно произносить русские звуки. Также

полезно применять аудиоматериалы, записи носителей языка и слушать русскую речь в различных контекстах.

Культурные различия также представляют вызов для студентов из других языковых сред [1]. Русская культура, обычаи и традиции могут быть совершенно новыми и непонятными для студентов. Для преодоления этой трудности рекомендуется включать в учебный процесс изучение культурных аспектов русскоязычных стран.

Это может включать знакомство с русской литературой, искусством, историей и современной культурой. Чтение адаптированных литературных произведений и просмотр фильмов на русском языке помогут студентам понять русскую культуру и развить их кросс-культурную компетенцию.

Ограниченный доступ к практике в русском языке также может быть трудностью для студентов [3]. Часто студенты не имеют возможности общаться с носителями языка или практиковать русский язык в реальных ситуациях. Для преодоления этой трудности рекомендуется создавать симуляции реальных ситуаций общения, где студенты могут применять свои навыки в практических упражнениях. Ролевые игры, дебаты и групповые дискуссии помогут студентам развить свою уверенность в устной речи и навыки коммуникации на русском языке.

Дополнительным методом, который может помочь студентам преодолеть трудности в изучении русского языка, является погружение в языковую среду. При возможности, студенты могут посетить страны, где русский язык является основным или одним из официальных языков. Поездка в Россию или другие русскоязычные страны позволит студентам практиковать русский язык в реальных ситуациях, общаться с носителями языка и погрузиться в культуру и атмосферу русского языка [8].

Также стоит отметить важность постоянной практики и последовательного подхода к изучению русского языка. Регулярное повторение и закрепление материала помогут студентам укрепить свои знания и навыки. Постепенное увеличение сложности упражнений и заданий также позволит студентам прогрессировать в изучении языка.

Использование разнообразных учебных материалов, таких как учебники, рабочие тетради, онлайн-ресурсы, аудио и видеоматериалы, также может быть полезным. Разнообразие материалов поможет студентам развить все аспекты языка, включая чтение, письмо, говорение и понимание на слух.

Важно поддерживать мотивацию студентов и создавать интерес к изучению русского языка [4]. Это может быть достигнуто путем включения в учебный процесс интересных и практических тем, использования игр и конкурсов, а также признания достижений студентов. Позитивная и поддерживающая обстановка в классе или во время онлайн-занятий также будет способствовать эффективному изучению языка [9].

В целом, преодоление трудностей в изучении русского языка для студентов из разных языковых сред требует систематического подхода, активной практики и погружения в языковую среду. Комбинация грамматических упражнений, фонетических тренировок, изучения культурных аспектов и практических упражнений поможет студентам развить навыки и достичь успеха в изучении русского языка.

Выводы. Изучение русского языка как иностранного представляет определенные трудности, но с применением эффективных методов и подходов студенты из разных языковых сред могут успешно преодолеть эти вызовы.

Одной из основных сложностей является изучение русской грамматики с ее богатыми правилами и особенностями. Активное использование грамматических упражнений и контекстуальных заданий позволит студентам закрепить правила и применять их на практике.

Произношение русских звуков и интонации также может вызывать трудности. Фонетические упражнения и тренировки, включая использование аудио-материалов с записями носителей языка, помогут студентам развить правильную артикуляцию и произношение русских звуков.

Культурные различия являются еще одной сложностью для студентов. Изучение культурных аспектов русскоязычных стран, включая литературу, искусство и историю, поможет студентам понять их и развить кросс культурную компетенцию.

Ограниченный доступ к практике также может быть преодолен путем создания симуляций реальных ситуаций общения и практических упражнений. Ролевые игры, дебаты и групповые дискуссии помогут студентам развить навыки устной речи и коммуникации на русском языке.

Погружение в языковую среду играет важную роль в изучении русского языка. Общение с носителями языка, поездки в русскоязычные страны и использование их ресурсов помогут студентам практиковать язык и погрузиться в русскую языковую среду.

Важно поддерживать мотивацию студентов и создавать интерес к изучению русского языка. Разнообразные учебные материалы и методы, такие как игры, конкурсы и признание достижений студентов, помогут создать позитивную обстановку и стимулировать учебный процесс.

Систематический подход, регулярная практика и постепенное увеличение сложности заданий также способствуют успешному изучению русского языка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ушакова, Е. А. Русская культура и искусство: учебное пособие. Москва: Флинта. - 2018, -328 с.
2. Голицынский, Ю. Б. Грамматика сборник упражнений. Москва: Каро. -2012, -424 с.
3. Алексеева, Л. Г., & Леонтьева, Н. В. Русский язык как иностранный: учебное пособие. Москва: Русский язык. -2017, -87 с.
4. Кудрявцева, Л. В., & Макарова, А. А. Русская фонетика: учебное пособие. Москва: Флинта. -2018, -92 с.
5. Селищева, Е. В. Практическая грамматика русского языка: учебное пособие. Москва: Издательский центр "Академия". -2019, -168 с.
6. Мозговая, Е. И. Русская культура: учебное пособие. Москва: Русский язык. -2016, - 325с.
7. Романова, Н. А. Русская литература: учебное пособие. Москва: Русский язык. -2017, -391 с.
8. Бойко, О. В. Русский язык как иностранный: учебное пособие по развитию устной речи. Москва: Флинта. -2015, -200 с.

9. Черкашина, О. И. Русский язык как иностранный: учебное пособие для начинающих. Москва: Русский язык. Курсы. -2016, -135 с.

REFERENCES

1. Ushakova, E. A. Russkaya kultura I iskusstvo:uchebnoe posobie. -Moskva: Flinta. -2018, -328 s.
2. Golitsynsky, Yu. B. Qrammatika sbornik uprajneniy. -Moskva: Karo. -2012, -424 s.
3. Alekseeva, L. G., & Leontyeva, N. V. Russkiy yazik kak inostranniy: uchebnoe posobie. -Moskva: Russkiy yazik. -2017, -87 s.
4. Kudryavtseva, L. V., & Makarova, A. A. Russkaya fonetika:uchebnoe posobie. –Moskva: Flinta. -2018, -92 s.
5. Selisheva, E. V. Prakticheskaya qrammatika russkogo yazika:uchebnoe posobie,- Moskva:Izdatelskiy centr”Akademiya”. -2019, -168 s.
6. Mozgovaya, E. I. Russkaya kultura:uchebnoe posobie. -Moskva:Russkiy yazik. -2016, - 325 s.
7. Romanova, N. A. Russkaya literatura:uchebnoe posobie. -Moskva:Russkiy yazik.- 2017, -391 s.
8. Boyko, O. V. Russkiy yazik kak inostranniy:uchebnoe posobie po razvitiyu ustnoy rechi. -Moskva. -Flinta. -2015, -200 s.
9. Cherkashina, O. I. Russkiy yazik kak inostranniy:uchebnoe posobie dlya nachinayushikh. Moskva:Russkiy yazik. -2016, -135 s.

RUS DİLİNİN XARİCİ DİL KİMİ TƏDRİSİNDƏ MÜASİR ÇAĞIRIŞLAR

Əsrəfova O.N.

Milli Aviasiya Akademiyası

Bu məqalədə rus dili müəllimlərinin xarici dil kimi qarşılaşdıqları müasir çağırışların təhlili verilmişdir. Qloballaşma və mədəniyyətlər arasındakı qarşılıqlı əlaqənin getdikcə intensivləşdiyi müasir dünyada rus dilinin öyrənilməsi getdikcə populyarlaşır. Bununla yanaşı, tədrisə yeni yanaşmaların hazırlanması və uyğunlaşdırılması tələb olunan yeni və unikal çağırışlar yaranır. Bu məqalədə təkcə çağırışlar deyil, həm də müəllimlərə bu maneələri aradan qaldırmağa və xarici dil kimi rus dilinin tədrisində səmərəli nəticələr əldə etməyə kömək edəcək praktik tövsiyələr və strategiyalar da nəzərdən keçirilmişdir.

***Açar sözlər:** rus dilinin tədrisi, xarici dil, çağırışlar, fərdiləşmə, uyğunlaşdırılmış tədris materialları, şifahi nitq, ədəbiyyat, mədəniyyət, mədəniyyətlər arasındakı qarşılıqlı əlaqə.*

MODERN CHALLENGES IN TEACHING RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE

Ashrafova O.N.
National Aviation Academy

This article presents an analysis of modern challenges faced by teachers of Russian as a foreign language. In the modern world, where globalization and intercultural interaction are becoming more intense, the study of the Russian language is gaining more and more popularity. However, along with this, new and unique challenges arise that require adaptation and development of new approaches to teaching. This article considers not only challenges, but also offers practical recommendations and strategies that will help teachers overcome these obstacles and achieve effective results in teaching Russian as a foreign language.

Key words: *teaching Russian, foreign language, challenges, individualization, adapted educational materials, oral speech, literature, culture, intercultural interaction.*

Рецензент: *к.ф.н., доц. Дупикова Н.Н.*

Сведения об авторе

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Ученая степень, ученое звание, должность	Контакты
Ашрафова Офелия Намиз гызы	Национальная Академия Aviации	Преподаватель кафедры “Язык и общественные дисциплины”	Ofeliya.ashrafova@bk.ru моб: (+994) 50 873 85 40

MÜNDƏRİCAT

AVIASIYA VƏ RAKET-KOSMİK TEXNİKASI

1. Bort nəzarət-ölçü sistemi ilə VTOL mikro PUA-nın təyyarə uçuş rejimində tədqiqi. Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.İ. 1

AVIASIYA TƏHLÜKƏSİZLİYİ

2. Hava nəqliyyatında 3-cü sinif təhlükəli yüklərin emalının təkmilləşdirilməsi istiqamətləri. İsmayılov P.İ., Əzimli L.E. 8

AEROKOSMİK MONİTORİNG VƏ ƏTRAF MÜHİTİN QORUNMASI

3. Dəniz yataqlarında karbohidrogenlərin yığım-nəql prosesləri zamanı ekoloji və iqtisadi riskin qiymətləndirilməsi. İskəndərov E.X., İsmayılova H.Q., Fərzəlizadə Z.İ., Məmmədova İ.E. 16
4. Yüksək hündürlükdə aktiv və passiv məsafədən zondlamada PUA-ların qısa dalğalı İQ diapozonda istifadə məsələləri. Əliyeva G.V. 22

CİHAZQAYIRMA

5. Lingli fəza mexanizmlərinin xarakterik nöqtələrinin təcilinin təyini üçün 3D kompüter modeli əsasında yeni qrafiki üsul. Mustafayev M.R., Pənahova N.C., Rəhimova S.M. 31

NƏQLİYYAT LOGİSTİKASI

6. Beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi və monitorinqi (CAREC təcrübəsi). Nəcəfov E.M., Mustafayeva A.Z. 42
7. Hava nəqliyyatı sistemlərində əks-əlaqə proseslərinin çoxölçülü xətti trend modellərinin qurulması. Ağayev N.B., Ağayev N.F. 52
8. Heydər Əliyev aeroportunda mobil tətbiqdən istifadə ilə logistik proseslərin optimizasiyası. Kərimov B.A., Mailova İ.R. 65

MATERİALŞÜNASLIQ

9. Qaz turbin pərlərinin qoruyucu örtüklərinin alınması prosesinin tədqiqi üçün eksperimentin planlaşdırılması metodu. Səmədov Ə.S., Usubaliyev T.B., Abdullayev P.Ş. 76
10. Şüşənin kimyəvi tərkibinə əsaslanan identifikasiyasında izah oluna bilən süni intellektin tətbiqi. L.A. Qardaşova, İbrahimova S.R., Kosov P.İ. 91

İNFORMASIYA TEXNOLOGİYALARI

11. Təklövəhəli kompüterin NAS server kimi istifadə edilməsi. Rzayev K.O. 100

İCTİMAİ ELMLƏR

12. Rus dilinin xarici dil kimi tədrisində müasir çağırışlar. Əşrəfova O.N. 106

CONTENTS

AVIATION AND ROCKET SPACE TECHNOLOGY

1. Research of a vertical takeoff and landing micro uav in the plane mode with the onboard control - measurement system. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev Q.I. 1

AVIATION SECURITY

2. Directions for improving the handling of class 3 dangerous goods in air transport. Ismayilov P.I., Azimli L.E. 8

AEROSPASE MONITORING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

3. Assessment of environmental and economic risk in hydrocarbon gathering and transportation. Iskandarov E.Kh., Ismayilova H.G., Farzalizade Z.İ., Mammadova İ.E. 16
4. Issues of using the short-wave IR range for high-altitude active and passive remote sensing using UAVS. Aliyeva G.V
(Вопросы использования коротковолнового ИК диапазона для высотного активного и пассивного дистанционного зондирования с использованием БПЛА. Алиева Г.В.). 22

INSTRUMENTATION

5. A new graphical method for determining the acceleration of characteristic points of a spatial linkage mechanism based on a 3D computer model. Mustafayev M.R., Panahova N.C., Rahimova S.M. 31

TRANSPORT LOGISTICS

5. Assessment and monitoring of the performance of international transport corridors (CAREC ekhperience). Najafov E.M., Mustafayeva A.Z. 42
6. Construction of multivariate linear trend models of feedback processes in air transport systems. Aghayev N.B., Aghayev N.F. 52
7. Optimization of logistics processes at Heydar Aliyev airport using mobile application. Kerimov B.A., Mayilova I.R.
(Оптимизация логистических процессов в аэропорту Гейдар Алиев с помощью мобильного приложения. Керимов Б.А., Майилова И.Р.). 65

MATERIALS SCIENCE

9. Method of experimental design to study the process of producing alloys for protective coatings of gas turbine. Samedov A.S., Usubaliyev T.B., Abdullayev P.Sh.
(Методика планирования эксперимента по исследованию процесса получения сплавов защитных покрытий лопаток газовых турбин. Самедов А.С., Усубалиев Т.Б., Абдуллаев П.Ш.). 76
10. Application of explainable artificial intelligence in glass identification based on its chemical composition. Gardashova L.A., Ibrahimova S.R., Kosov P.I. 91

INFORMATION TECHNOLOGY

11. Using a single-board computer as a nas serve. Rzayev K.O. 100

SOCIAL SCIENCES

12. Modern challenges in teaching russian as a foreign language. Ashrafova O.N.
(Современные вызовы в преподавании русского языка как иностранного Ашрафова О.Н.). 106

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 tezisnin 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!!!

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

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

Çapa hazırlanmışdır: 25.01.2025
“Elmi Məcmuə”
“Azərbaycan Hava Yolları” Qapalı Səhmdar Cəmiyyəti
Hava Limanlarının İstismarı Baş İdarəsinin
Poliqrafiya Mərkəzində çap olunmuşdur.
Formatı - 60x84 1/8.
Tiraj 50 nüsxə.