

Milli Aviasiya Akademiyası



ISSN 1811-7341

ELMI MƏCMUƏ

Cild 26, №1, 2024



National Aviation Academy

SCIENTIFIC JOURNAL

Volume 26, №1, 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. Sübhən Fərmayıl oğlu Əliyev

H.e.d. Fərdin Yaşar oğlu Xəlilov

H.e.d., dos. Rauf Məmməd oğlu Qarayev

İqtisad elmləri

İ.e.d., prof. Heydər Sərdar oğlu Həsənov (redaktor)

İ.e.d., prof. Rustem Tursunoviç Yuldaşev, 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 Sadıqov

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 elektronika, 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/>



Akademik
Arif Mir Cəlal oğlu Paşayev

Arif Mir Cəlal oğlu Paşayev 1934-cü il fevralın 15-də Bakıda ziyalı ailəsində anadan olmuşdur. 1957-ci ildə Odessa Elektrotexniki Rabitə İnstitutunu “Radiorabitə və radioyayım” ixtisası üzrə bitirmiş və həmin ildə S.M. Kirov adına Azərbaycan Dövlət Universitetində laborant vəzifəsində əmək fəaliyyətinə başlamışdır. 1958-1961-ci illərdə Azərbaycan SSR Elmlər Akademiyasının Fizika və Riyaziyyat İnstitutunda kiçik elmi işçi kimi fəaliyyət göstərmişdir. 1961-1964-cü illərdə keçmiş SSRİ-nin aparıcı elmi mərkəzlərindən sayılan Dövlət Nadir Metallar İnstitutunun aspirantı olmuş, 1965-ci ildə “Yüksək və ifrat yüksək tezliklərdə yarımkeçirici materialların elektrofiziki parametrlərini ölçmək üçün kontaktsiz üsullar və onların əsasında qurulan cihazların işlənilib hazırlanması” mövzusunda namizədlik dissertasiyasını müdafiə edərək texnika elmləri namizədi elmi dərəcəsi almışdır.

Onun elmi fəaliyyətinin əsas istiqaməti yarımkeçirici cihazlar və yarımkeçiricilər fizikası olmuşdur. O, ilk sovet alimlərinin sırasında material və məmulatların elektromaqnit nəzarət üsullarının yaradılmasına başlamış və öz həyatının 40 ildən artıq bir dövrünü elektromaqnit nəzarət fizikasının və yarımkeçiricilərin parametrlərinin ölçülməsi metodlarının elmi əsaslarının inkişafına və tədqiqinə həsr etmişdir.

Akademik A.M. Paşayev haqlı olaraq yüksək və ifratyüksək tezliklər sahəsində materialların kontaktsiz üsullarla tədqiqatlarının fiziki əsaslarının yaradıcısı hesab edilir.

A.M. Paşayevin tətbiqi tədqiqatlarının əsas hissəsi yeni cihazların yaradılmasına, mövcud cihazların təkmilləşdirilməsinə, müxtəlif fiziki kəmiyyətlərin ölçülməsinin yeni metodlarının işlənilməsinə yönəlmişdir. Bununla yanaşı o, istehsalatın qarşısında duran material və məmulatlara nəzarətin problemlərini və çətinliklərini də çox gözəl bilirdi və onun elmi tədqiqatları məhz bu problemlərin həllinə yönəlmişdi.

1960-cı illərin sonlarından Azərbaycanda mikroelektron sənayesi inkişaf etməyə başladığı dövrdən, A.M. Paşayevin xüsusilə, mikroelektron vericilərinin yaradılması üzrə mikroelektronika sahəsində elmi fəaliyyəti başlamışdır. Bu sahədə aparılan elmi tədqiqatlar və araşdırmalar mikroelektronikada yeni istiqamətin - qeyri-elektrik kəmiyyətlərin mikroelektron çeviriciləri sahəsinin əsasını qoydu.

A.M. Paşayevin yarımkeçiricilər elektronikasası və mikroelektronika sahəsində nəzəri və təcrübi tədqiqatlarının nəticələri 1978-ci ildə “Yarımkeçiricilərin zədəsiz tədqiqatlarının fiziki əsasları, inkişaf prinsipləri və tətbiqi perspektivləri” mövzusunda müvəffəqiyyətlə müdafiə etdiyi doktorluq dissertasiyasında öz əksini tapmış və o, “01.04.10-Yarımkeçiricilər və dielektriklər fizikası” ixtisası üzrə fizika-riyaziyyat elmləri doktoru elmi dərəcəsinə layiq görülmüşdür.

Mikroelektron vericilər sahəsində tədqiqatları davam etdirərkən A.M. Paşayev tərəfindən yeni növ inteqral temperatur, təzyiq, rütubət, güc, təcil və vibrasiya vericiləri yaradılmışdır. Bu vericilər gəmiqayırmada, neft maşınqayırmada, tibbdə, müdafiə sənayesində və digər sahələrdə geniş tətbiq olunan yüksək cəldliyə malik nəzarət sistemlərinin yaradılmasında istifadə olunur. Onların əsasında sualtı obyektlərə nəzarət və tədqiq üçün nəzərdə tutulmuş telemetrik, çox funksiyalı, hidroakustik kompleks aparatlara yaradıldı.

1991-ci ildə A.M. Paşayev “Avtonom hidroakustik informasiya sisteminin yaradılması sahəsində kompleks işlərə görə” Azərbaycan Dövlət Mükafatı Laureatı adına layiq görülmüşdür.

A.M. Paşayev tərəfindən işlənmiş bir çox cihaz və qurğular ixtira səviyyəsində yerinə yetirilərək keçmiş SSRİ-nin müxtəlif sənaye müəssisələrində tətbiq edilmiş, müxtəlif beynəlxalq sərqi və müsabiqələrdə qızıl, gümüş, bürünc medal və diplomlara layiq görülmüşdür.

A.M. Paşayev uzun müddət – 1971-ci ildən 1996-cı ilə qədər Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası (AMEA) Fizika İnstitutunun “Zədəsiz ölçmə və nəzarətin fiziki üsulları” laboratoriyasına rəhbərlik etmiş və institutun elmi istiqamətlərinin müəyyən edilməsində fəal iştirak etmişdir. Məhz bu müddət ərzində onun alim və elmi təşkilatçı kimi görkəmli qabiliyyətə malik olması bütövlükdə özünü büruzə vermişdir. 1996-cı ildən bu laboratoriya “Akustooptika laboratoriyası” adlanır və akademik Arif Paşayev hal-hazırda da həmin laboratoriyaya rəhbərlik edir.

Akademik A.M. Paşayev 1996-cı ildə “Azərbaycan Hava Yolları” Qapalı Səhmdar Cəmiyyəti Milli Aviasiya Akademiyasının rektoru təyin edilmişdir. Bu dövrdən başlayaraq Milli Aviasiya Akademiyası (MAA) özünün təşəkkülü və inkişafının yeni mərhələsinə qədəm qoymuş, Akademiyada təhsilin, elmin və təcrübənin vəhdətində müasir təhsil kompleksinin yaradılması strategiyası reallaşdırılmağa başlanmışdır.

MAA-nın nəzdində Elmi-tədqiqat Nəqliyyat və Aviakosmik Problemləri İnstitutu, Konstruktor Bürosu və Təcrübə-Sınaq İstehsalatından ibarət Elm-İstehsalat Birliyi yaradılmışdır.

Akademik A.M. Paşayev Azərbaycanda ilk dəfə olaraq müasir dünya standartlarına uyğun təhsil, elm və istehsalatın vəhdətini nəzərdə tutan ali təhsil ocağı yaratmağa nail olmuşdur.

MAA səciyyəvi xüsusiyyətlərinə, maddi-texniki, tədris-metodiki, elmi-tədqiqat və laboratoriya-təcrübə bazasına görə Azərbaycan Respublikasının təhsil sistemində xüsusi yer tutur. Aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanması mülki aviasiyanın inkişafının ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Məhz mülki aviasiyada uçuşların təhlükəsizliyinə qoyulan yüksək tələblər Azərbaycanda aviasiya elminin və təhsilinin əsas istiqamətlərini özündə ehtiva etmişdir.

Akademik A.M. Paşayevin MAA-da fəaliyyəti tədris prosesinin təşkili ilə yanaşı mülki aviasiya sahəsində elmi kadrların yetişdirilməsi, Azərbaycanda aviasiya elminin yaradılması və inkişaf etdirilməsi ilə bağlı olmuşdur. Bu dövrdən başlayaraq onun elmi tədqiqatlarının istiqaməti daha çox aviasiya təhlükəsizliyi, daşımaların təşkili, yerüstü komplekslər, uçan aparatlar və onların sistemlərinin istismarı, hava nəqliyyatının istismarı radiotexnika, radionaviqasiya, radiolokasiya, havada hərəkətin idarə edilməsi, bərk cism elektronikasi, radioelektron komponentləri, mikro- və nanoelektronika, aviasiya materialşünaslığı, tribologiya və digər yaxın istiqamətlərə yönəlmişdir.

Onun rəhbərliyi altında MAA-da mülki aviasiya sahəsi üzrə müntəzəm olaraq elmi seminarlar və konfranslar keçirilməyə başlamış, Azərbaycanda və dünyada tanınmış alimlər MAA-da elmi fəaliyyətə cəlb edilmişlər.

MAA-da texnika və hüquq elm sahələri üzrə doktorluq dissertasiyalarının müdafiə şuraları yaradılmış, bu şuralarda 1996-cı ildən etibarən 150-yə yaxın elmi iş müdafiə edilmişdir. MAA-nin əməkdaşları tərəfindən 25-dən artıq elmlər doktorluğu və 70-dən çox fəlsəfə doktorluğu dissertasiyaları müdafiə edilmişdir.

Hazırda Akademiyada 20 bakalavriat, 17 magistratura və 10 doktorantura ixtisasları üzrə iki mindən çox tələbə təhsil alır. Elmi-pedaqoji fəaliyyətdə 40-dan çox elmlər doktoru və 120-dən çox fəlsəfə doktoru iştirak edir. Onların sırasında əməkdar elm xadimləri, əməkdar müəllimlər, əməkdar pilotlar, əməkdar mühəndislər, əməkdar incəsənət xadimləri, əməkdar mədəniyyət işçiləri vardır.

Bu gün Akademiyanın tədris strukturuna 6 fakültə, 23 kafedra, Pilotların hazırlığı mərkəzi, IATA institutu, Texniki xidmət məktəbi, İnformasiya texnologiyaları mərkəzi, “Aerokosmik monitoring” təlim mərkəzi daxildir. Akademiyanın uğurları onun infrastrukturunun və maddi-texniki bazasının inkişafı ilə əhəmiyyətli dərəcədə bağlıdır. MAA-nın infrastrukturuna 5 tədris-laboratoriya korpusu, Pilotların hazırlığı mərkəzinin Trenajor kompleksi, Elm-istehsalat birliyi, TexnoRitm Mərkəzi, Tələbə şəhərciyi, Tələbə tədris mərkəzi, Tələbə yaradıcılıq evi, Uçuş aparatlarının hazırlanması laboratoriyası, Heydər Əliyev muzeyi, Aviasiya tarixi muzeyi, İdman kompleksi, Fitnes mərkəzi, Otel “Akademiya”, parklar, kitabxanalar, iaşə və istirahət obyektləri və s. daxildir. Tələbə şəhərciyində otel tipli dörd yataqxana, geniş müasir stadion, tennis kortları, mini-futbol, voleybol, basketbol idman meydançaları, həmçinin zəruri köməkçi strukturlar yaradılmışdır.

2010-cu ildə Akademiyanın bazasında yaradılan Pilotların Hazırlığı Mərkəzi Airbus A319/320, Boeing B757/767, Embraer E190, ATR42/72, İL-76TD təyyarələrinin, həmçinin Mi-171 (Mi-8 MVTV) helikopterinin müasir trenajorları ilə təchiz edilmişdir. Pilotların Hazırlığı Mərkəzi Şərqi Avropada və MDB məkanında ən böyük mərkəzlərdən biri olaraq, pilot-müdavimlərin məqsədyönlü, fasiləsiz hazırlığına və uçuş heyəti üzvlərinin istehsalatdan ayrılmadan ixtisaslarının artırılmasına xidmət edir.

AMEA-nın və bir sıra beynəlxalq akademiyaların həqiqi üzvü A.M. Paşayev fizika sahəsindəki yüksək nailiyyətlərinə görə Yusif Məmmədəliyev adına medala, İngiltərə Beynəlxalq Bioqrafiya

Mərkəzinin qızıl medalına və “SSRİ ixtiraçısı” adına layiq görülmüşdür.

A.M. Paşayev Ukrayna Milli Aviasiya Universitetinin, Gürcüstan Aviasiya Universitetinin, A.S. Popov adına Odessa Milli Rabitə Akademiyasının Fəxri doktoru, həmçinin Vyana Beynəlxalq Universitetinin, N.E.Jukovski adına Milli aerokosmik universiteti – Xarkov aviasiya institutunun fəxri professorudur.

Akademik A.M. Paşayev 2005-ci ildə təsis edilmiş Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının prezidenti, Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının prezidenti və 2009-cu ilin iyul ayında təsis edilmiş “Elmi Təminatlı İnnovasiya Assosiasiyası” İctimai Birliyinin prezidentidir.

Beynəlxalq əlaqələrin möhkəmləndirilməsi işindəki xidmətlərinə görə akademik A.M. Paşayevə İnsan Hüquqlarının Müdafiəsi Beynəlxalq Komitəsinin “Şərəf və Ləyaqət” qızıl ulduzu təqdim olunmuşdur.

Akademik A.M. Paşayev 500-dən çox elmi əsərin, 100-dən artıq kitab və monoqrafiyanın, tədris-metodik vəsaitin, 110-dan artıq müəlliflik şəhadətnaməsi, patent və sənaye nümunələrinin müəllifidir.

Akademik A.M. Paşayev Rusiya Təbiət Elmləri Akademiyası, Elmi Kəşflər və İxtiralar Müəlliflərinin Beynəlxalq Akademiyası tərəfindən qeydə alınmış 2 elmi kəşfə imza atmışdır. Onlardan birincisi 2007-ci ildə Rusiya və Gürcüstandan olan alimlərlə birgə yarımkeçiricilər fizikası sahəsində (340 sayılı diplom), ikincisi isə 2013-cü ildə Azərbaycan, Rusiya və Ukrayna alimləri ilə birgə tribologiya sahəsində edilmişdir (462 sayılı diplom). Birinci elmi kəşflə əlaqədar akademik A.M. Paşayevə fizika sahəsində Nobel mükafatı laureatı P.L. Kapitsa adına qızıl medal təqdim olunmuşdur. O, həmçinin Rusiya Təbiət Elmləri Akademiyasının Fəxri akademiki seçilmiş və bununla əlaqədar ona V.İ. Vernadski adına qızıl döş nişanı verilmişdir.

Onun rəhbərliyi altında 16 elmlər doktoru, 12 fəlsəfə doktoru yetişdirilmişdir.

Akademik A.M. Paşayev Azərbaycan elmini dünya səviyyəsində ləyaqətlə təmsil etdiyinə görə Ümumdünya Əqli Mülkiyyət Təşkilatının Ali mükafatına - “Qızıl medal”ına, eləcə də Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının yubiley “Qızıl medal”ına, “Mühəndislik şöhrəti” ordeninə layiq görülmüşdür.

“Aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanması işindəki xüsusi xidmətlərinə və tədris prosesinin nümunəvi təşkilinə görə” akademik A.M. Paşayevə Dövlətlərarası Aviasiya Komitəsinin (DAK) qızıl medalı təqdim edilmişdir (2008).

Akademik A.M. Paşayev 2009-cu ildə Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının Beynəlxalq mükafatı laureatı və Böyük qızıl medalı ilə təltif olunmuşdur.

MAA-nın tələbələrinə göstərdiyi yüksək qayğı və dəstəyinə görə A.M. Paşayev 2010-cu ilin mart ayında Bakı şəhər Gənclər və İdman Baş İdarəsi tərəfindən “İlin ən fəal rektoru” fəxri diplomu ilə təltif edilmişdir.

Azərbaycan Respublikası Rabitə və İnformasiya Texnologiyaları Nazirliyinin kollegiyasının qərarına əsasən akademik A.M. Paşayev Kosmik məsələlər üzrə Şuranın sədri təyin olunmuşdur (2010).

2011-ci ildə akademik A.M. Paşayev Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının prezidenti seçilmişdir. Elə həmin ildə o, Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının (BMA) vitse-prezidenti seçilmiş və o, BMA-nın ən yüksək mükafatı - “Mühəndislik şöhrəti” ordeninə layiq görülmüşdür.

Elm və texnikanın inkişafına, beynəlxalq əməkdaşlığın möhkəmlənməsinə böyük töhfələrinə görə akademik A.M. Paşayev Rusiya və Ukrayna Mühəndislik Akademiyalarının həqiqi üzvü seçilmiş, Ukrayna Mühəndislik Akademiyasının ali mükafatı - “Mühəndislik Şöhrəti” ordeni ilə təltif edilmişdir (2014).

Aviasiya və kosmik sahədə xidmətlərinə görə 2015-ci ildə Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası tərəfindən akademik A.M. Paşayevə “İlin mühəndisi” fəxri diplomu və xatirə medalı təqdim olunmuşdur. 2016-cı ildə akademik A.M. Paşayev Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının (BMA) Prezidentlər Şurasının qərarı ilə akademiyanın işində xüsusi fəaliyyətinə və beynəlxalq əlaqələrin möhkəmləndirilməsinə verdiyi töhfələrə görə BMA-nın “Fəxri Qızıl Nişanı” fərqlənmə

nişanı və Diplomu ilə təltif olunmuşdur.

Akademik A.M. Paşayev ixtirachılıq sahəsində 2-ci, 4-cü və 5-ci Respublika Müsabiqəsində I dərəcəli diploma layiq görülmüşdür (2014, 2016, 2017).

Azərbaycan Respublikasında səmərəli elmi fəaliyyətinə və təhsilin inkişafında xüsusi xidmətlərinə görə Arif Mir Cəlal oğlu Paşayev Azərbaycan SSR Dövlət mükafatı laureatı (1991), “Şöhrət” ordeni (2004), “Əməkdar elm xadimi” fəxri adı (2005), “Şərəf” ordeni (2009), “İstiqlal” ordeni (2014) ilə təltif edilmişdir.

Akademik Arif Paşayevin Azərbaycanda elmin, təhsilin inkişafı yolundakı gərgin əməyi və yüksək ixtisaslı aviasiya mütəxəssislərinin hazırlanması sahəsindəki misilsiz xidmətləri vardır. Onun ömür yolu, zəngin həyat təcrübəsi Azərbaycan xalqına, bütövlükdə insanlığa xidmətin parlaq nümunəsidir. O, hər zaman millətin, dövlətin və Vətənin xidmətində duran həqiqi ziyalı, sadəlik, təvazökarlıq, ləyaqətlik, xeyirxahlıq, humanizm kimi üstün keyfiyyətləri özündə birləşdirən dünya şöhrətli alim, çağdaş elm və təhsil tarixinə imzasını qoymuş nurlu şəxsiyyətdir.

Akademik Arif Paşayev qayğıkeş, səmimi insan, özünə və həmkarlarına qarşı tələbkər və bacarıqlı rəhbərdir. Köməyə ehtiyacı olan insanlara əl uzatmaq, qayğı göstərmək, maddi və mənəvi dayaq durmaq onun xarakterini səciyyələndirən ən gözəl keyfiyyətlərdir. Bu baxımdan Akademiyada hər kəs Arif müəllimi özünə arxa, dayaq və ümid yeri sanır, onun rəhbərliyi altında işləməkdən böyük qürur hissi duyur.

Milli Aviasiya Akademiyasının rektoru akademik Arif Mir Cəlal oğlu Paşayevi şanlı yubileyi münasibəti ilə səmimi qəlbədən təbrik edir, ona uzun ömür, cansağlığı və yeni uğurlar arzulayırıq!

Elmi Məcmuə jurnalının redaksiya heyəti

УДК: 539.5

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.6.

УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ ДЕФОРМИРОВАННЫХ НАНОСЛОЕВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ $A^{IV}B^{VI}$: АНАЛИЗ НОВОЙ МОДЕЛИ

¹Пашаев А.М., ²Даварашвили О.И., ²Енукашвили М.И., ^{2,3}Ахвледiani З.Г.,
²Бычкова Л.П., ²Гуляев Р.Г., ^{2,4}Дзаганя М.А., ⁵Зломанов В.П.

¹Национальная Академия Авиации Азербайджана, ²Тбилисский Государственный
Университет имени Джавахишвили, ³Институт Физики им. Э. Андроникашвили,

⁴Институт Физической и Органической химии им. П. Меликишвили, ⁵Московский
Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

В работе анализируется новая модель, согласно которой в эпитаксиальных нанослоях полупроводников $A^{IV}B^{VI}$, выращенных на диэлектрических подложках, достигается высокая степень совершенства при их максимальной деформации. Выявлено различное влияние контраста упругости и критических толщин на структуру слоев. Согласно представляемой модели существующий контраст упругости, например, между слоем PbSe и подложкой KCl, приводит к смещению сетки дислокаций в подложку и понижению доли, проникающих из подложки в слой дислокаций. Рассмотрена возможность устранения нескольких критических толщин в слоях путем удаления или блокирования центров неоднородностей в их кристаллической решетке. Проведен детальный анализ гетероструктур по характеру релаксации напряжений: выделено два случая, когда напряжения полностью снимаются и, наоборот, поддерживается деформированное состояние слоев. Высокая подвижность носителей заряда и форма контура рентгено-дифракционной линии подтверждают улучшение степени совершенства нанослоев полупроводников $A^{IV}B^{VI}$ при деформациях, достигающих 0,015 и в целом, рассматриваемую модель.

Ключевые слова: новая модель, деформация нанослоев, дислокации, контраст упругости, критическая толщина, структура нанослоев.

Улучшение структуры деформированных нанослоев возможно при анализе природы формирования деформаций и дефектов в слоях. Деформации в полупроводниковых гетероструктурах имеют разное происхождение [1,2], а также различное влияние и назначение [3,4]. В частности, они возникают на гетерогранице и распространяются в слой и подложку при сопряжении материалов с разными параметрами кристаллических решеток или из-за взаимной диффузии компонентов на гетерогранице, когда напряжения могут достигать предела упругости составляющих гетеропару материалов. В первом случае возникающие деформации-напряжения в растущем слое могут привести к существенному изменению энергетического спектра - ширины запрещенной зоны полупроводников [5]. При параллельном легировании примесями, повышающими модуль упругости, и уровни которых смещаются в запрещенную зону, осуществляется компенсация концентрации носителей

заряда. При этом в соединениях и твердых растворах полупроводников $A^{IV}B^{VI}$ возможен переход в диэлектрическое состояние [6]. Во втором случае деформации - напряжения возникают из-за появляющегося различия в параметрах решетки вдоль переходного слоя при взаимной диффузии компонентов в процессе роста слоев в изначально изопериодной структуре, например, $PbSe - PbSnSeTe$ [7]. Возможная релаксация напряжений в этом случае приводит к повышению дефектности переходного слоя к понижению времени жизни носителей заряда и в лазерах, например, соответственно к повышению порогового тока.

В обоих случаях деформации-напряжения существенным образом зависят от толщины слоя или переходной области. С ростом их толщины нарастает упругая энергия, определяемая упругими постоянными материалов слоев, деформацией и толщиной. При достижении порогового значения упругая энергия частично или полностью передается дефектам - существующим дислокациям или другим неоднородностям структуры, являющихся локациями для зарождения новых дислокаций. Под неоднородностями в слое в первую очередь имеется в виду смещение атомов соединения со своих позиций в решетке или размещение в ней неконтролируемых примесей, а также отсутствие атомной гладкости на его поверхности и гетерогранице. Из дефектов, свойственных особенно полупроводникам с широкой областью гомогенности, к каким относятся и полупроводники $A^{IV}B^{VI}$, следует отметить нестехиометрические дефекты, например, вакансии свинца или селена в селениде свинца. Эти дефекты меньше способствуют размножению дислокаций, а большей частью влияют на их торможение, размещаясь в их ядрах. К числу других дефектов структуры следует отнести также границы субзерен и блоков. При соотношении размера субзерен и толщины слоя > 0.5 разоориентация между субзернами $< 10^{-4}$ мин (для зарождения дислокаций невелика). Что касается дислокаций, возникающих на границе блоков, они тормозятся указанными выше вакансиями. Минимальная энергия при этом затрачивается на создание дислокаций, которые слабо связаны на центрах неоднородностей в объеме слоя и начинают создавать сетку дислокаций. В условиях деформаций неоднородные атомы, смещаясь неодинаково с основными атомами, создают дополнительные локальные напряжения и возможность зарождения новых дислокаций. В отличие от ростовых дислокаций, когда важны термоупругие напряжения, при деформациях возрастает роль дислокаций, возникающих на неоднородностях. Толщина слоев, при которой образуется начальная сетка дислокаций, называется критической толщиной. Она определяется параметрами решетки, сопрягающихся на гетерогранице материалов и ориентацией подложки и поэтому относится к фундаментальному свойству данной гетеропары [8]. Для слоев $PbSe$, выращенных, например, на подложке KCl , она составляет 2 нм.

В работе выстраивается модель, в которой учитываются такие обстоятельства: а) возможность существования нескольких критических толщин, когда поэтапно энергия деформации передается дислокациям, образующим сетку дислокаций; б) упругий контраст между нанослоем полупроводника $A^{IV}B^{VI}$ и диэлектрической подложкой, способный привести к смещению сетки дислокаций в подложку и значительно уменьшить долю проникающих из подложки в слой дислокаций, и тем самым создать возможность значительного улучшения структуры слоя.

Новые критические толщины возникают при зарождении или высвобождении дислокаций на различных неоднородностях (дефектах и дефектных состояниях), часть из которых появляется при деформации. Поэтому в полную энергию напряженной

гетероструктуры входит энергия взаимодействия дислокаций с дефектами слоя. Полная энергия включает также энергию деформированного состояния слоя и энергию самих дислокаций (при этом большая часть дислокаций образует сетку и их можно отнести к дислокациям несоответствия). Эта энергия меняется по толщине гетероструктуры и сетка дислокаций несоответствия образуется в ее минимуме. Если упругий контраст между слоем и подложкой отсутствует, то сетка дислокаций несоответствия располагается на самой гетерогранице, когда в случае его появления в области с меньшим модулем сдвига. Именно из-за связи обоих представленных факторов (критическая толщина и упругий контраст) с энергетическим балансом, они рассматриваются в рамках единой модели.

По мере нарастания толщины слоев или расширения переходной области возросшая упругая энергия может приводить к зарождению новых дислокаций при преодолении соответственно большего энергетического барьера. Тогда это можно отнести к поэтапному превышению новой, последующей критической толщины. Т.е. для данной толщины слоя остается доля ещё непереданной энергии дефектам и можно считать, что для каждой толщины слоя существует конечная остаточная деформация-напряжение и, как показали наши исследования, они могут сохраняться в слое в течение длительного времени - не менее трех лет. Согласно измеренным значениям остаточных деформаций (по тангенциальному параметру решетки слоя) в слоях PbSe, выращенных на подложках KCl с толщинами 20, 50, 70 нм, они составляют 0,015, 0,010, 0,008 соответственно [9]. На рисунке 1 представлена зависимость рассогласования - остаточной деформации от толщины слоев PbSe, выращенных при скоростях роста < 2 нм/с.

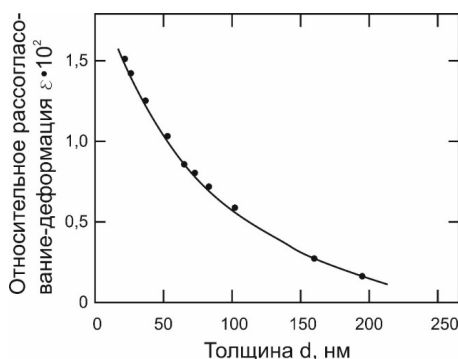


Рисунок 1. Зависимость рассогласования-деформации в слоях PbSe, выращенных на подложках KCl, от их толщины

Отметим, что несмотря на возможность существования нескольких критических толщин, слои с толщинами выше первой критической толщины относят условно к сверхкритическим. Важно учесть, что релаксация напряжений происходит уже на уровне нанотолщины слоев и поэтому деформированные слои целесообразно исследовать в пределах толщин < 100 нм. От начальной сетки дислокаций несоответствия, если она размещена в слое или на гетерогранице, в объем слоя проникают дислокации и вместе с дислокациями, проникающими из подложки и создаваемыми на неоднородностях, в напряженном слое они существенно понижают времена рассеяния и рекомбинации носителей заряда. Путем формирования различных многослойных структур можно сместить

различных многослойных структур можно сместить дислокации к краям слоев. Другим способом уменьшения плотности дислокаций при росте нанослоев может служить использование тонких подложек-мембран с уменьшенным значением модуля упругости. Используя условия контраста упругости слоя и подложки [10] при росте, например, PbSe на тонкой подложке KCl возможно значительно сместить сетку дислокаций в подложку или вовсе создать структуру без сетки дислокаций несоответствия при наименьших толщинах слоя и мембраны. Уменьшение толщины подложки при нанотолщине слоев и усиление упругого контраста влияют в одном направлении: приводят к перераспределению деформаций между слоем и подложкой и смещению сетки дислокаций несоответствия в подложку. Действительно, в гетероструктурах PbSe/KCl осуществляется значительный упругий контраст: модули сдвига слоя PbSe и подложки KCl равны соответственно 27,6 и 6,3 GPa, а их соотношение составляет $\sim 4,4$. Это приводит не только к смещению сетки дислокаций в подложку, но и к ограничению доли, проникающих в слой дислокаций и сохранению поверхности слоя гладкой. В условиях смещения сетки дислокаций несоответствия в подложку с повышенной плотностью дислокаций они аккумулируются на самой сетке. Значения модулей сдвига определялись методом внутреннего трения [11] и брались для наиболее совершенных образцов.

Что касается неоднородностей различных типов в объеме слоя подобно человеческому организму, когда принимаемые лекарства через кровь достигают органа, подлежащего лечению, так и специальные примеси вводятся в кристалл или слой активно взаимодействуя и соединяясь с неоднородными атомами, или вовсе противодействуя их появлению, они нейтрализуют возможность создания локальных напряжений, приводящих к зарождению дислокаций. Число неоднородностей в слое может быть существенно уменьшено также путем понижения скорости роста и последующего отжига. Это весьма целесообразно и как видно из рисунка 2 из-за роста числа неоднородностей при повышении скорости роста слоев растет и полуширина рентгено-дифракционной линии.

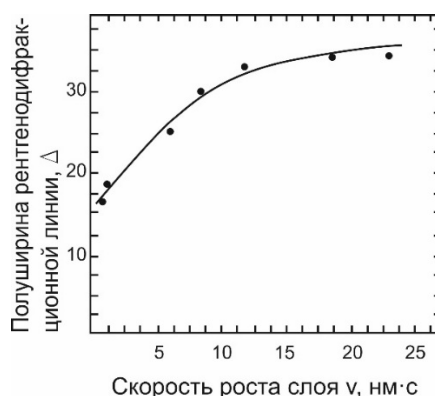


Рисунок 2. Зависимость полуширины рентгено-дифракционной линии от скорости роста слоев

При утоньшении подложки влияние в целом неоднородностей в слое ослабевает, происходит перераспределение деформаций между слоем и подложкой. Энергия деформации слоя уменьшается, соответственно и зарождение дислокации - существенно растет критическая толщина.

По аналогии со структурами Si-Ge/Si [8,12] можно оценить, как при различных толщинах слоев и подложек может максимально меняться соотношение деформаций в слое и мембране. Перераспределение деформаций между слоем и мембраной, как отмечалось, есть следствие использования тонких подложек. Рассмотрены случаи двух толщин слоев 50 и 15нм и толщин мембран 25 и 15нм и перераспределения деформации между ними. Как показывают расчеты, для толщины слоя 50нм и мембраны 25нм деформация в слое уменьшается приблизительно в 3 раза. При толщине мембраны 15нм деформация в слое уменьшается уже в 4 раза. Для толщин слоя 15нм и мембран 25 и 15нм деформации в слое понижаются в 1,5-2 раза. Запас высоких деформаций в слоях достигается дальнейшим уменьшением их толщины до уровня <10нм. Такие слои могут использоваться в ИК фотоприемниках с многократным проходом излучения. В случае использования однопроходных для ИК излучения слоев с толщинами 50-70нм компромисс между максимальной деформацией и степенью совершенства слоев достигается при использовании вместо KCl подложек BaSe с большим параметром кристаллической решетки ($a_{KCl}=6,290\text{Å}$, $a_{BaSe}=6,600\text{Å}$). На рисунке 3 представлена схема энергетического смещения краев зон и примесных уровней In и Cr в напряженных слоях $A^{IV}B^{VI}$, выращенных на подложках KCl или BaSe.

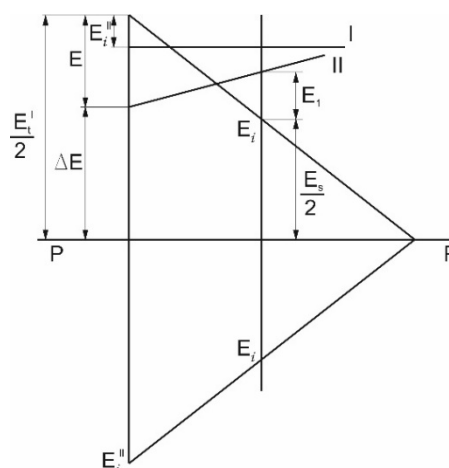


Рисунок 3. Энергетическая схема смещения краев зон и примесных уровней Cr (I) и In (II) в слоях, выращенных при «отрицательном» давлении на подложках KCl или BaSe

В целом путем оптимального подбора слоев и подложек по параметрам кристаллической решетки, упругому контрасту и толщинам можно оптимизировать деформации в слоях. Отметим, что скорость роста слоев методом молекулярной эпитаксии с «горячей стенкой» при смене критических толщин может оставаться неизменной и определяться в основном расстоянием открытого края кварцевой ампулы с источником эпитаксии до подложки, т.е. скоростью доставки испаряющихся молекул к подложке [13]. С другой стороны, исследованием полуширин рентгена-дифракционных линий подтверждает, что не происходит смены критических толщин. В общем случае при уменьшении энергии деформации в процессе ее передачи дислокациям в слоях понижается сама деформация, т.е. тангенциальный параметр решетки. В результате даже в нанослоях при нескольких критических толщинах по толщине слоев возникают области с различными параметрами кристаллических решеток. Т.е. по мере прохождения последующих критических толщин в слое происходит релаксация напряжений. Энергия деформации-напряжения поэтапно

передается на зарождение новых дислокаций и их освобождение от центров неоднородностей, изменяя таким образом их плотность в слое. Хотя ширина рентгено-дифракционной линии с утоньшением слоев возрастает из-за нарастающих остаточных напряжений, она оказалась такой же, как и для слоев кремния с той же толщиной, выращенных на сапфире и составляла $(8-10)'$ при плоскости отражения (200) [14].

В напряженных нанослоях полупроводников $A^{IV}B^{VI}$ методом рентгеновской дифракции помимо деформаций изучались размеры субзерен: в частности, при толщине слоя PbSe, например, 70нм они составили 45нм. Четырехзондовым методом определялись концентрация носителей заряда $-(1-6) \times 10^{18} \text{см}^{-3}$ и их подвижность, которая достигала нескольких сотен $\text{В}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$. Плотность дислокаций в слоях PbSe (подложка KCl) была на 3-4 порядка меньше, чем в подложке. Спектры оптического пропускания характеризовались резким краем. При концентрации носителей заряда $>2 \times 10^{18} \text{см}^{-3}$ спектры смещались из-за вырождения. Обнаруженная с уменьшением толщины слоев тетрагональная фаза подтверждает наличие в них высоких деформаций-напряжений [15,16].

Как вытекает из проведенного исследования, для толщины подложек $>20-40\text{нм}$ (например, KCl при росте слоев PbSe) оба представленных фактора в модели [17] влияют на структуру слоев, но по-разному. При возрастании контраста упругости и смещении сетки дислокаций в подложку значительно уменьшается доля проникающих в слой дислокаций. Наоборот, если критических толщин несколько (выявляются по характеру рентгено-дифракционной линии), то плотность дислокаций в слое возрастает, и это связано с различными центрами неоднородностей. В этом случае введение в слой PbSe, например, соединения Ge или Sn с Te или с Po можно сохранить структуру валентных электронов, оказать противодействие размещению атомов свинца или селена в подрешетках друг друга - это, с одной стороны. С другой стороны, если введенные атомы сами будут размещаться в подрешетках свинца и селена, то образование локальных деформаций будет намного меньше.

Введение указанных соединений в слой PbSe с учетом их особенностей позволяет уменьшить эффективные массы носителей заряда и увеличить длины их свободного пробега (времена рассеяния), что приведёт к возрастанию подвижности. Влияние этих соединений заметно и при деформации растяжения слоев: подвижность носителей и в этом случае возрастает по сравнению с ненапряженным слоем без введения указанных соединений.

В случае же толщины подложек $<20-40\text{нм}$ часть деформаций слоя передается подложке и оптимизация по деформациям и структуре слоев достигается путем значительного уменьшения их толщины.

Таким образом, по характеру релаксации напряжений гетероструктуры на основе полупроводников представляют особый интерес в двух случаях. В первом - регулирование физических свойств слоев осуществляется путем изменения состава твердых растворов [18] и совершенство слоев достигается использованием «мягких» подложек (с меньшим модулем сдвига, чем в слое). При этом уменьшение толщины подложки оказывает тот же эффект, что и уменьшение модуля сдвига: если возрастает отношение толщин слоя и подложки, деформации больше смещаются в подложку. С целью полного снятия напряжения, например, слоя кремний-германий «мягкую» подложку из пористого кремния подвергают предварительной дополнительной деформации.

Во втором случае, наоборот, требуется напряженное-деформированное состояние слоя, например, селенида свинца на подложке хлористого калия. Свойства слоев при этом меняются

при изменении степени деформации слоя. Рассогласование в этом случае вообще достигается без предварительного напряжения подложки, хотя иногда оно используется для тонкой подстройки деформации слоя. Для сохранения деформированного состояния слоя соотношение толщин слоя и подложки будет обратным по сравнению с первым случаем, меньше единицы. Совершенная структура слоя получается также при упругом контрасте между слоем и подложкой (сетка дислокаций и в этом случае смещается в подложку, особенно при введении в селенид свинца серы, усиливающей упругий контраст) и при введении в слой соединений германия или олова с более тяжелым элементом, чем селен для противодействия появлению центров неоднородностей. В результате плотность дислокаций в слое (с учетом проникающих из подложки) устанавливается на несколько порядков меньше, чем в подложке. Подвижность носителей заряда в деформированном слое будет выше, чем в ненапряженном слое.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, R.G. GuIyaev, V.P. Zlomanov. Unrelaxed State in Epitaxial Heterostructures based on Lead Selenide. *Jornal of Modern Physics*, 2012, 3, 6, 502-510.
2. А.М. Пашаев, О.И. Даварашвили, Г.Ш. Дарсавелидзе, Л.П. Бычкова, М.И. Енукашвили, М.А. Дзаганя, В.П. Зломанов. Диффузионное рассогласование в полупроводниковых гетероструктурах: условие возникновения и пути преодоления его негативного воздействия на излучательные приборы. *Известия НАН Грузии*, 2009, 6, 4, 331-336.
3. Пашаев А.М., Даварашвили О.И., Алиев В.А., Енукашвили М.И., Зломанов В.П. Закономерная связь между одновременной стабилизацией уровня Ферми и преобразованием упругих свойств в узкозонных полупроводниках IV-VI с их трансформацией в диэлектрическое состояние. Научное открытие, диплом №340. Сборник кратких описаний научных открытий, научных гипотез. Международная Академия и Ассоциация авторов научных открытий. Москва, 2008.
4. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, M.A. Dzagania. On the Possibilities for Improving the Efficiency of Radiation in Heterostructures Based on IV-VI Semiconductors. *IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering* 49, (2013) 012029, 1-4.
5. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, Z.G. Akhvlediani, M.J. Erukashvili, L.P. Bychkova, M.A. Dzagania. Study of the Forbidden Gap Width of Strained Epitaxial Lead Selenide Layers. *Journal of Materials Science and Engineering*, 2012, 2, 142-150.
6. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, V.P. Zlomanov. Modeling of the dielectric state in PbSnSe and PbSnTe nanolayers with high concentration of nonstoichiometric defects. *Book of Abstracts of the 17th International Conference on Radiation Effects in Insulators*. Helsinki, 2013, PB-16.
7. А.М. Пашаев, О.И. Даварашвили, М.И. Енукашвили, В.А. Алиев, В.П. Зломанов. Проблемы рассогласования в гетероструктурах на основе полупроводников A^{IV}B^{VI}. Труды Международной конференции «Научно-технический прогресс и современная авиация». Баку, 2009, 3, 17- 19.
8. Ю.Б. Болховитянов, О.П. Пчеляков, С.И. Чикичев. Кремний-германиевые

- эпитаксиальные пленки: физические основы получения напряженных и полностью релаксированных гетероструктур, УФН, 2001, 171, 7, 689-715.
9. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, R.G. GuIyaev, V.P. Zlomanov. Stretching strain - effective “negative” pressure in lead selenide nanolayers. ПЕИТ, 2014, 3, 11, 318-323.
 10. В.М. Юрченко, Э.П. Фельдман, Л.Н. Гумен, А.М. Кроник, А.Е. Зюбанов. Формирование сетки дислокаций несоответствия вблизи интерфейса пленка - подложка с учетом упругого контраста. Конденсированные среды и межфазные границы, 2008, 10, 3, 277-281.
 11. АМ. Пашаев, О.И. Даварашвили, В.А. Алиев, Г.Ш. арсавелидзе, М.И. Енукашвили, В.П. Зломанов. Экспериментальное моделирование упругих свойств бинарных соединений $A^{IV}B^{VI}$. Вести Академии Наук Азербайджана, 2008, 5, 96-100.
 12. T.David, I.Agua, K.Liu, L.Farve, A.Ronda, M.Abbarchi, I.Claude, I.Berbezier. New strategies for producing defect free Si-Ge strained nanolayers. Scientific Reports, 2018, 8, 2, 4-14.
 13. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, R.G. Gulyaev, M.A. Dzagania, V.P.Zlomanov. Investigation of strained lead selenide layers. Global Journal of Engineering Science and Research Management (GJESRM), 2016, 3(6), 56-64.
 14. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, Z.G. Akhvlediani, M.I. Erukashvili, R.G. Gulyaev, V.P. Zlomanov. The Structure of Thin Epitaxial Layers of Lead Selenide. Journal of Materials Science and Engineering, 2013, A(3), 116-121.
 15. А.М. Пашаев, О.И. Даварашвили, М.И. Енукашвили, З.Г. Ахвледиани, Л.П. Бычкова, Р.Г. Гуляев, М.А. Дзаганя, В.П. Зломанов. Напряженные полупроводниковые слои на диэлектрических подложках (на примере материалов $A^{IV}B^{VI}$). Препринт, МНЛ-ТГУ, 2016, 22 с.
 16. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, R.G. Gulyaev, M.A. Dzagania, V.P. Zlomanov. High deformations in lead selenide nanolayers and related new properties. European Chemical Bulletin, 2019, 8(2), 57-62.
 17. А.М. Пашаев, О.И. Даварашвили, М.И. Енукашвили, З.Г. Ахвледиани, Л.П. Бычкова, Р.Г. Гуляев, М.А. Дзаганя, В.П. Зломанов. Сочетание высоких деформаций и степени совершенства в нанослоях полупроводников $A^{IV}B^{VI}$. Ученые Записки НАА Азербайджана, 2019, 21, 4, 3-9.
 18. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, V.P. Zlomanov. Control of the forbidden gap with varying the composition and the thickness of the layers of IV-VI semiconductors. Nano Studies, 2015, 12, 5-10.

REFERENCES

1. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, R.G. GuIyaev, V.P. Zlomanov. Unrelaxed State in Epitaxial Heterostructures based on Lead Selenide. Journal of Modern Physics, 2012, 3, 6, 502-510.
2. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, G.Sh. Darsavelidze, L.P. Bichkova, M.I. Erukashvili, M.A. Dzaganiya, V.P. Zlomanov. Diffuzionnoe rassoglasovanie v poluprovodnikovikh geterostrukturakh: uslovie vozniknoveniya i puti predoleniya ego negativnogo vozdeystviya na izluchatel'nie pribori. Izvestiya NAN Gruzii, 2009, 6, 4, 331-336.
3. Pashaev A.M., Davarashvili O.I., Aliev V.A., Erukashvili M.I., Zlomanov V.P.

- Zakonomernaya svyaz' mejdu odnovremennoy stabilizatsiey urovnya Fermi i preobrazovaniem uprugikh svoystv v uzkozonnikh poluprovodnikakh IV-VI s ikh transformatsiey v dielektricheskoe sostoyanie. Nauchnoe otkritie, diplom №340. Sbornik kratkikh opisaniy nauchnikh otkritiy, nauchnikh gipotez. Mezhdunarodnaya Akademiya i Assotsiatsiya avtorov nauchnikh otkritiy. Moskva, 2008.
4. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, M.A. Dzagania. On the Possibilities for Improving the Efficiency of Radiation in Heterostructures Based on IV-VI Semiconductors. IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering 49, (2013) 012029, 1-4.
 5. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, Z.G. Akhvlediani, M.J. Erukashvili, L.P. Bychkova, M.A. Dzagania. Study of the Forbidden Gap Width of Strained Epitaxial Lead Selenide Layers. Journal of Materials Science and Engineering, 2012, 2, 142-150.
 6. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, V.P. Zlomanov. Modeling of the dielectric state in PbSnSe and PbSnTe nanolayers with high concentration of nonstoichiometric defects. Book of Abstracts of the 17th International Conference on Radiation Effects in Insulators. Helsinki, 2013, PB-16.
 7. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.İ. Erukashvili, V.A. Aliev, V.P. Zlomanov. Problemi rassoglasovaniya v geterostrukturakh na osnove poluprovodnikov $A^{IV}B^{VI}$. Trudi Mezhdunarodnoy konferentsii «Nauchno-tehnicheskiy progress i sovremennaya aviatsiya» Baku, 2009, 3, 17-19.
 8. Yu.B. Bolkhovityanov, O.P. Pchelyakov, S.İ. Chikichev. Kremniy-germanievie epitaksial'nie plenki: fizicheskie osnovi polucheniya napryazhennikh i polnost'yu relaksirovannikh geterostruktur. UFN, 2001, 171, 7, 689-715.
 9. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, R.G. Gulyaev, V.P. Zlomanov. Stretching strain - effective “negative” pressure in lead selenide nanolayers. IIEIT, 2014, 3, 11, 318-323.
 10. B.M. Yurchenko, E.P. Fel'dman, L.N. Gumen, A.M. Kronik, A.E. Zyubanov. Formirovanie setki dislokatsiy nesootvetstviya vblizi interfeysa plenka-podlozhka s uchetom uprugogo kontrasta. Kondensirovannye sredi i mezhfaznie granitsi, 2008, 10, 3, 277-281.
 11. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, V.A. Aliev, G.Sh. Darsavelidze, M.I. Erukashvili, V.P. Zlomanov. Eksperimental'noe modelirovanie uprugikh svoystv binarnikh soedineniy $A^{IV}B^{VI}$. Vesti Akademii Nauk Azerbaydzhana, 2008,5, 96-100.
 12. T. David, I. Agua, K.Liu, L.Farve, A.Ronda, M.Abbarchi, I.Claude, I.Berberzier. New strategies for producing defect free Si-Ge strained nanolayers. Scientific Reports, 2018, 8, 2, 4-14.
 13. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, R.G. Gulyaev, M.A. Dzagania, V.P. Zlomanov. Investigation of strained lead selenide layers. Global Journal of Engineering Science and Research Management (GJESRM), 2016, 3(6), 56-64.
 14. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, Z.G. Akhvlediani, M.I. Erukashvili, R.G. Gulyaev, V.P. Zlomanov. The Structure of Thin Epitaxial Layers of Lead Selenide. Journal of Materials Science and Engineering, 2013, A(3), 116-121.
 15. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bichkova, R.G.

- Gulyaev, M.A. Dzaganiya, V.P. Zlomanov. Napryazhennye poluprovodnikovye sloi na dielektricheskikh podlozhkakh (na primere materialov $A^{IV}B^{VI}$). Preprint, MNL-TGU, 2016, 22s.
16. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, R.G. Gulyaev, M.A. Dzaganiya, V.P. Zlomanov. High deformations in lead selenide nanolayers and related new properties. European Chemical Bulletin, 2019, 8(2), 57-62.
17. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bichkova, R.G. Gulyaev, M.A. Dzaganiya, V.P. Zlomanov. Sochetanie visokikh deformatsiy i stepeni sovershenstva v nanosloyakh poluprovodnikov $A^{IV}B^{VI}$. Uchenie Zapiski NAA Azerbaydzhana, 2019, 21, 4, 3-9.
18. A.M. Pashaev, O.I. Davarashvili, M.I. Erukashvili, Z.G. Akhvlediani, L.P. Bychkova, V.P. Zlomanov. Control of the forbidden gap with varying the composition and the thickness of the layers of IV-VI semiconductors. Nano Studies, 2015, 12, 5-10.

$A^{IV}B^{VI}$ YARIMKEÇİRİCİLƏRDƏ DEFORMASIYA OLUNMUŞ NANOLAYLARIN STRUKTURUNUN YAXŞILAŞDIRILMASI: YENİ MODELİN TƏHLİLİ

**¹Paşayev A.M., ²Davaraşvili O.İ., ²Erukashvili M.İ., ^{2,3}Akhvlediani Z.Q.,
²Biçkova L.P., ²Gulyaev R.G., ^{2,4}Dzaganiya M.A., ⁵Zlomanov V.P.**

¹Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası, ²İ. Cavaxışvili adına Tbilisi Dövlət Universiteti, ³E. Andronikaşvili adına Fizika İnstitutu, ⁴P. Melikişvili adına Fiziki və Üzvi Kimya İnstitutu, ⁵M.V. Lomonosov adına Moskva Dövlət Universiteti

İşdə dielektrik alıtlıqlarda yetişdirilən IV-VI yarımkeçiricilərin epitaksial nanolaylarında onların maksimum deformasiyasında yüksək mükəmməlliyə nail olunduğu yeni model təhlil edilir. Elastiklik və kritik qalınlıqların kontrastının layların strukturuna müxtəlif təsirləri aşkar edilmişdir. Təqdim olunan modelə görə, mövcud elastiklik kontrastı, məsələn, PbSe təbəqəsi ilə KCl alıtlığı arasında dislokasiya şəbəkəsinin altığa yerdəyişməsinə və altlıqdan dislokasiya təbəqəsinə nüfuz edən nisbətən azalmasına səbəb olur. Qatlarda bir neçə kritik qalınlığın onların kristal qəfəsindəki qeyri-bərabərlik mərkəzlərini aradan qaldırmaq və ya bloklamaqla aradan qaldırılması imkanları nəzərdən keçirilir. Heterostrukturların təfərrüatlı təhlili gərginliyin relaksasiya xarakteri əsasında aparılmışdır: gərginliklər tamamilə aradan qaldırıldıqda və əksinə, təbəqələrin deformasiyaya uğramış vəziyyəti saxlanıldıqda iki hal müəyyən edilmişdir. Yükdaşıyıcıların yüksək hərəkətliliyi və rentgen şüalarının difraksiya xətti konturunun forması 0,015-ə çatan deformasiyalarda $A^{IV}B^{VI}$ yarımkeçiricilərin nanolaylarının mükəmməllik dərəcəsinin və ümumiyyətlə, nəzərdən keçirilən modelin təkmilləşdirilməsini təsdiqləyir.

Açar sözlər: yeni model, nanə qatının deformasiyası, dislokasiyalar, elastiklik kontrastı, kritik qalınlıq, nano qatın strukturu.

**IMPROVEMENT OF THE STRUCTURE OF THE DEFORMED NANOLAYERS OF
 $A^{IV}B^{VI}$ SEMICONDUCTORS: ANALYSIS OF A NEW MODEL**

**¹Pashaev A.M., ²Davarashvili O.I., ²Erukashvili M.I., ^{2,3}Akhvlediani Z.G.,
²Bychkova L.P., ²Gulyaev R.G., ^{2,4}Dzaganina M.A., ⁵Zlomanov V.P.**

¹National Aviation Academy of Azerbaijan, ²Tbilisi State University named after Javakhishvili, ³Institute of Physics named after E. Andronikashvili, ⁴Institute of Physical and Organic Chemistry named after P. Melikishvili, ⁵Moscow State University M.V. Lomonosov

In this work the analysis of a new model was held, in accordance with that high degree of perfection at maximal deformations in epitaxial nanolayers of IV-VI semiconductors is achieved. Different ways of influence of contrast of elasticity and critical thicknesses on layers were discovered. The contrast in the elasticity between PbSe layer and KCl substrates, for example, leads to the displacement of the net of discrepancy of dislocations to the substrate and to decrease of the portion of the penetrated dislocations to the layer. The possible liquidation of several critical thicknesses was proposed by blocking of nonhomogenities' centers. We held the detailed analysis on the relaxation of strains in heterostructures, and two cases are presented: a) when strains are fully removed and b) on the contrary, with maintenance of deformed state of the layers. High values of the mobility of current carriers and the character of x-ray diffraction line confirm the improvement of the degree of perfection of the nanolayers IV-VI semiconductors and, particularly, of the present model.

Keywords: *new model, nanolayer deformation, dislocations, elasticity contrast, critical thickness, nanolayer structure.*

AVIASIYA VƏ KOSMİK TEXNİKASI

UOT 533.69.048: 004.942

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.17.

BORT NƏZARƏT-ÖLÇÜ SİSTEMİ İLƏ KONVERTOPLAN TIPLİ MİKRO PUA-NIN VTOL REJİMİNDƏ TƏDQIQI

Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.İ.

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə, konvertoplan tipli pilotsuz mikro uçuş aparatının əsas uçuş parametrlərini qeydə almaq üçün hazırlanmış bort nəzarət-ölçü sistemi və sistemi təşkil edən element bazası təsvir edilmişdir. Müxtəlif vaxtlarda və meteoroloji şəraitlərdə VTOL rejimində yerinə yetirilmiş sınaq uçuşlarında bort nəzarət-ölçü sistemi vasitəsilə həm mühərriklərin hər birinin temperaturu, cərəyan sərfi və dövrlər sayı, həm də planerin üç koordinat oxu üzrə bucaq dəyişməsi və təcili ölçülmüş və qeydə alınmışdır. Qeydə alınmış parametrlərin zamandan asılılıq qrafikləri qurulmuş və bunlara əsasən uçuş aparatının qalxma, enmə və asılma rejimləri tədqiq edilmişdir.

VTOL mikro PUA-nın uçuşa hazırlıq, qalxma və enmə rejimlərində güc elementlərinin ölçülmüş parametrlərinin avtomatlaşdırılmış qeydiyyatı aparılmış və qurulmuş qrafiklər üzrə təhlillər aparılmışdır.

Açar sözlər: Konvertoplan, pilotsuz mikro uçuş aparatı, bort ölçü-qeydiyyat sistemi, akselerometr, girooskop, termometr, uçuş-texniki parametrləri.

1. Giriş

Konvertoplan tipli pilotsuz mikro uçuş aparatlarının (mikro PUA) uçuş-texniki parametrləri haqqında məlumatları toplamaq üçün hazırlanmış bort nəzarət-ölçü sistemi (BNÖS) vasitəsilə həm uçuş aparatının güc sistemində daxil olan mühərriklərin temperaturu, cərəyan sərfi və dövrlər sayı, həm də təyyarə oxlarının və sürət vektorunun istiqaməti haqqında məlumatlar uçuş zamanı qeydə alınır. Həmçinin uçuş zamanı mühərriklərin dövrlər sayı radio ötürücü vasitəsi ilə BNÖS-də qəbulədiçi monitor qismində istifadə edilən yerüstü idarəetmə pultuna ötürülür və qeyd olunur. Pultun ekranında indikasiya olunan dövrlər sayının qiymətlərinə əsasən real uçuş zamanı uçuş aparatının güc sistemində, nəticədə uçuşların təhlükəsizliyinə nəzarət edilir. Qeydə alınmış parametrlərə əsasən uçuş aparatının növbəti uçuşa buraxılması və ya yerdə diaqnostikasının aparılması qərarlaşdırılır [1-5].

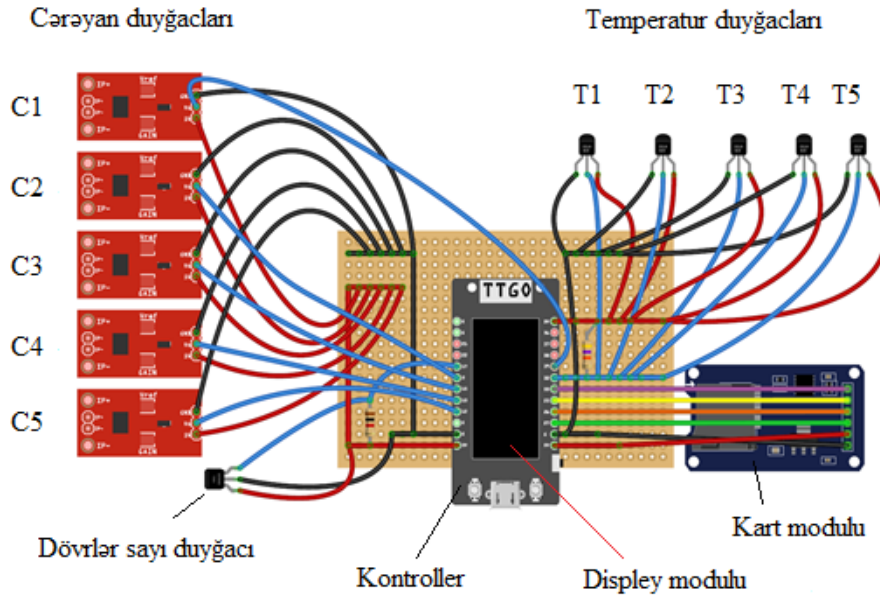
İşin məqsədi. İşlədiyimiz BNÖS-dən istifadə etməklə real uçuşda qeydə alınmış uçuş-texniki parametrləri təhlil edərək konvertoplan tipli mikro PUA-nın güc elementlərində yaranan problemləri öncədən aşkarlamaq və baş verə biləcək qəzaların qarşısını almaqdan ibarətdir.

2. BNÖS-ün element bazası

BNÖS-ün element bazası kontroller, TTGO Display modulu, microSD kart modulu, ətalət ölçü modulu (İMU), gərginlik çeviricisi, akkumulyator batareyası və temperatur, cərəyan və dövrlər sayı duyğacılarından, eləcə də yerüstü idarəetmə pultundan təşkil olunmuşdur. Bunlardan BNÖS-ün əsas element bazasına kontroller, displey modulu, kart modulu, 5 dəst duyğacılar qrupu və İMU

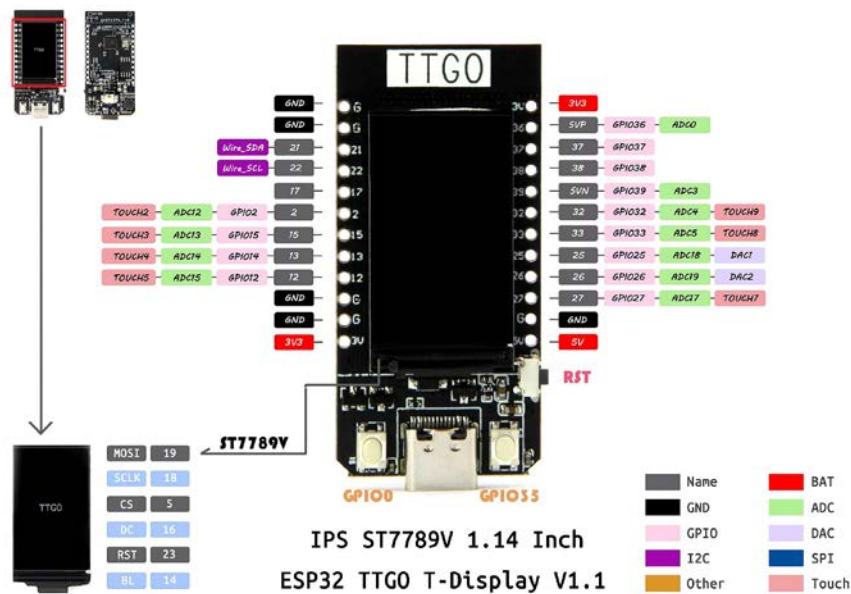
daxildir. Bir dəst duyğalar qrupu temperatur, cərəyan və dövrlər sayı olmaqla üç növ duyğacdən təşkil olunmuşdur.

BNÖS-ün laborator nümunəsinin elektrik birləşmələrinin təsviri şəkil 1-də göstərilmişdir.



2.1. “ESP 32” kontrolleri (şəkil 2)

İPS ST7789V 1.14^{II} monitora sahib kontroller, “ESPRESSİF-ESP32 240MHs Xtensa” mikrosxem bazasında iki nüvəli 32 bit-lik LX6 mikroprosessorundan ibarət olub, proqram yaddaşı (“QSPI flash”) 16MB, əməliyyat yaddaşı (SRAM) 520 KB, işçi gərginliyi 2.7-4.2V və işçi cərəyanı $\approx 60\text{mA}$ təşkil edir [6].



Şəkil 2. ESP 32 kontrollerinin pin diaqramı

2.2. DS18B20 rəqəmsal temperatur duyğacı (şəkil 3a)

“DS18B20” markalı rəqəmsal temperatur duyğacının ölçü dəqiqliyi: $-55\text{ }^{\circ}\text{C}...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatur diapazonunda $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ təşkil edir. Duyğacı proqramlaşdırmaq mümkündür. Sistemdə 5 ədəd rəqəmsal temperatur duyğacından istifadə olunub (şəkil 1).

2.3. ACS758 (ACS758LCB-100B-PFF-T 100A Linear Hall Current Module) cərəyan duyğacı (şəkil 3b)

Cərəyan duyğacının iş prinsipi - Hall effektindən istifadə etməklə bu duyğacdən keçən cərəyanın yaratdığı maqnit sahəsini ölçməyə əsaslanır. İki istiqamətli qütblüyə malik duyğacın enerji təchizatı gərginliyi $3,3...5\text{ V}$, ölçü diapazonu $\pm 100\text{ A}$, həssaslığı 20 mV/A təşkil edir.

Sistemdə 5 ədəd cərəyan duyğacından istifadə olunub (şəkil 1).

2.4. FS-CPD02 RPM duyğacı (şəkil 3c)

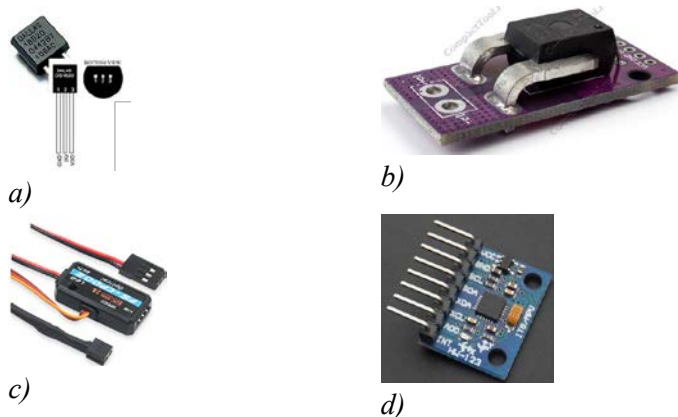
FS-CPD02 markalı dövrlər sayı duyğacının ölçü diapazonu $0...60000$ dövr/dəqiqə, enerji təchizatı gərginliyi $4...8\text{ V}$ təşkil edir. Duyğac FlySky idarəetmə pultunun dəstinə daxildir və onu baza moduluna qoşmaq üçün “i.bus” protokolundan istifadə edilir.

Sistemdə 5 ədəd dövrlər sayı duyğacından istifadə olunub (şəkil 1-də yalnız biri göstərilmişdir).

2.5. MPU6050 İMU modulu (şəkil 3d)

“MPU6050” moduluna 6 ox üzrə bucaq və xətti təcilin dəyişməsinə qeydə almaq xüsusiyyətinə malik, mikroelektromexaniki (MEM) texnologiyaya ilə hazırlanmış eyni adlı mikrosxem (çip) daxildir. “MPU6050” mikrosxeminin tərkibində olan girooskop Koriolis effektinə əsasən 3 koordinat oxu (x, y, z) üzrə istənilən tərənəyi, hərəkəti və yaxud titrəməni siqnal formasında qeydə alır və filtrləmə apardıqdan sonra alınan siqnalın gərginliyinə uyğun proporsional bucaq dəyişməsinə qeydə alır. Eləcə də “MPU6050” mikrosxeminin tərkibinə 3 oxlu akselerometr daxildir. Akselerometr koordinat oxları boyunca əyilmə və ya meyletmə bucağını aşkar edərək qeydə almaq üçün istifadə olunur. Şəkil 1-də “MPU6050” modulu da göstərilməyib.

“ESP 32” kontrollerini və “MPU6050” İMU modulunu Arduino IDE mühitində proqramlaşdırmaq mümkündür [6-11].



Şəkil 3. Bort ölçü- qeydiyyat sistemində istifadə olunan duyğaclər:
a) temperatur, b) cərəyan, c) dövrlər sayı, d) İMU modulu

yetirmək mümkündür.

Sistemin enerji təchizatı avtonomdur və çıxış gərginliyi 5 V səviyyəsində stabilləşdirilən gərginlik çeviricisi istifadə etməklə 12 V gərginlikli akkumulyator batareyasından yerinə yetirilir. Sistem gərginlik çeviricisinə USB TypeC kabeli vasitəsilə qoşulur. İstifadə şəraitindən asılı olaraq sistemin enerji təchizatını bort enerji sistemindən və ya elektron sürət tənzimləyicisindən (ESC) yerinə

3. İşə hazırlıq

1. Sınaqların dinamik rejimdə yerinə yetirilməsi məqsədi ilə konvertoplan tipli pilotsuz mikro uçuş aparatını real uçuşa hazırlamaq.

2. Uçuş aparatının avionikasını, eləcə də aerodinamikasının tənzimlənməsinə və idarəedilməsinə xidmət edən təchizatların möhkəmliyini yoxlamaq.

3. Uçuş aparatının ağırlıq mərkəzinə nəzərən mərkəzləşməsinin düzgünlüyünü yoxlamaq.

4. Təhlükəsizliyi təmin etmək məqsədilə meteoroloji göstəricilərin mikro PUA-nın uçuş parametrlərinə uyğun limit daxilində olmasına əmin olmaq.

5. Multikopter rejimində uçuşu tədqiq etmək üçün qaldırıcı mühərriklərə pər quraşdırmaq (dartı mühərriki istisna olmaqla).

6. İki microSD yaddaş kartını FAT32 fayl sistemində formatlamaq.

7. Birinci yaddaş kartını kart moduluna daxil etmək, BNÖS yaddaş kartı olmadıqda da işə düşür, bu halda LCD ekranda yaddaş kartının yoxluğu barədə məlumat görünür.

8. İkinci yaddaş kartını telemetrik məlumatlar qəbuledicisi qismində istifadə olunan yerüstü monitora daxil etmək (telemetrik məlumatlar uçuş kontrolleri vasitəsilə ölçür, bu səbəbdən monitir BNÖS-ə aid olmur).

9. Uçuş aparatına 6S Li-Po akkumulyator batareyasını qoşmaq, dörd qaldırıcı mühərriki işə salmaq və mühərriklərin işləməsinə əmin olmaq.

10. BNÖS-ə avtonom enerji mənbəyi qismində 3S Li-Po akkumulyator batareyası qoşmaq.

Gərginliyin BNÖS-ə verilməsi anı (zamanı) qeydə alınır. Bu zaman əmin olmaq lazımdır:

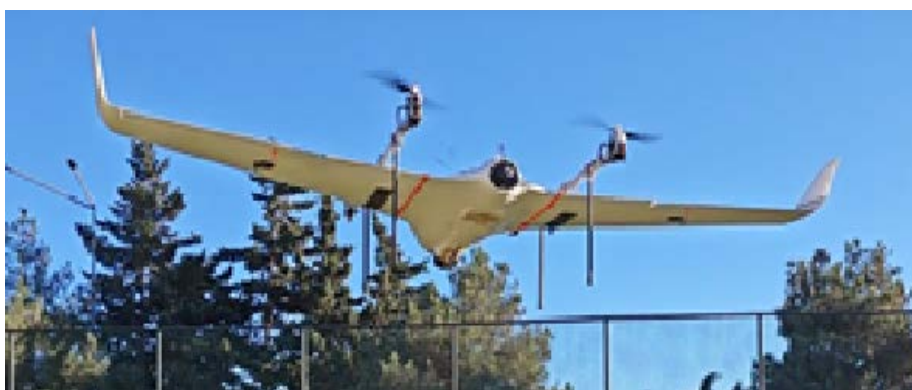
-həmin andan başlayaraq uçuş parametrləri BNÖS-də yaddaş kartına yazılır;

-telemetrik məlumatlar monitorda yaddaş kartına yazılır;

-mühərriklərin dövrlər sayının qeydə alınması üçün istifadə olunan əlavə yer idarəetmə pultunun monitorunda fiksasiya olunan qiymətlər video təsvir şəklində qeydə alınır (yaddaşa yazılır).

4. Dinamik rejimdə sınağın yerinə yetirilməsi

Tədqiqat zamanı mühərriklərin müxtəlif sürətlərdə fırlanması yerinə yetirilmiş, uçuş aparatının ardıcıl olaraq havaya qalxma, havada asılma və yerə enmə rejimlərində uçuşları tədqiq edilmişdir. Konvertoplan tipli pilotsuz mikro uçuş aparatının multikopter rejimində praktiki sınaqlarından qeydə alınan görüntülər şəkil 4-də göstərilmişdir. Şəkildə uçuş aparatının havada üfüqi tarazlığını dayanıqlı saxlaması görünür. Bütün sınaqlar videoformatda qeydə alınaraq arxivləşdirilmişdir [12-14].



Şəkil 4. Konvertoplan tipli pilotsuz mikro uçuş aparatının multikopter uçuş rejimində aparılan praktiki sınaq uçuşları

Tədqiqat məqsədi ilə müxtəlif günlərdə multikopter rejimində yerinə yetirilmiş sınaq uçuşlarında mikro PUA-nın uçuş parametrləri kompleks şəkildə ölçülmüş və qeydə alınmışdır. Günün fərqli vaxtlarında uçuş üçün əlverişli meteoroloji şəraitdə, hər dəfə davam etmə müddəti 6...7 dəqiqə olmaqla yeddi uçuş icra olunmuşdur. Məqalədə bu uçuşlardan ikisinin nəticələrinə əsasən, uçuş zamanı BNÖS vasitəsi ilə qeydə alınmış və arxivləşdirilmiş məlumatlar uçuşdan sonra tədqiq olunmuş, parametrlərin zamandan asılılıq qrafikləri ardıcılıqla verilmişdir (şəkil 5-7) [15].

Uçuş-texniki parametrlərinin (mühərriklərin temperaturu, cərəyan sərfi və dövrlər sayı) və İMU-nun çıxış siqnallarının uzlaşmış tədqiqi tədqiqatın etibarlılığını nümayiş etdirir. Uçuş zamanı müxtəlif kəmiyyətlərin qeydə alınmış qiymətlərinin sinxron dəyişməsinə göstərmək məqsədilə onların zamandan asılılıq qrafikləri eyni miqyasda tərtib edilmişdir.

4.1. 1-ci sınaq

Sınaq zamanı havanın temperaturu 12 °C, təzyiqi 760 mm.c.s., küləyin sürəti 20° dərəcədən stabil 3-4 m/san, ani sürətlənməsi 5-6 m/san təşkil etmişdir (şəkil 5).

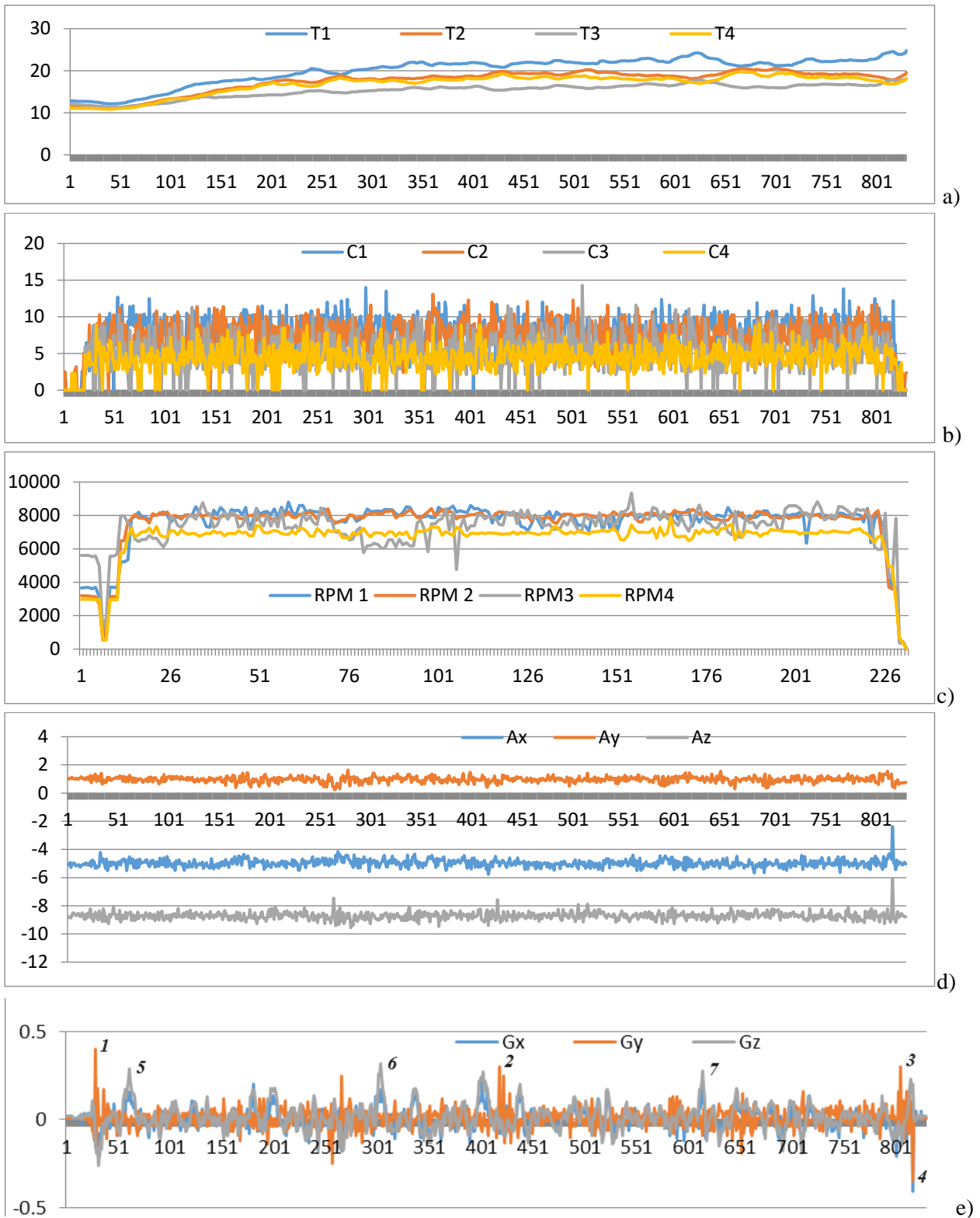
Konvertoplan tipli mikro PUA-nın qaldırıcı mühərriklərinin temperaturlarının şəkil 5a-da göstərilmiş zamandan asılılıq qrafiklərinə əsasən uçuş müddətini üç mərhələyə bölmək mümkündür. Birinci mərhələdə işə düşdükdən sonra qısa müddətdə mühərriklərin temperaturları 1...2 °C azalır. Bu, fırlanmağa başlayan andan pərlərin yaratdığı hava axınının mühərriklərin temperaturunu nisbətən azaltması ilə izah edilir. İkinci mərhələdə fırlanma sürətinin artmasına baxmayaraq, qrafiklərdən görüldüyü kimi mühərriklərin temperaturu müəyyən müddətdə artır.

Bu, onunla izah olunur ki, bu mərhələdə, əvvəl sürət yığma, sonra qərarlaşmış rejimdə mühərriklərə düşən gücə mütənasib olaraq onlara tətbiq olunan enerji də artır. Üçüncü mərhələdə uçuşun sonunda, mühərriklərin fırlanma sürəti, uyğun olaraq temperaturun azalmasına xidmət edən hava axını kəskin azalır və nəhayət sifira bərabər olur. Nəticədə, müəyyən müddətdə mühərriklərin temperaturları 2...3 °C artır. Zaman keçdikcə mühərriklərin və ətraf mühitin temperaturları bərabərləşir. Hər üç mərhələdə, temperatur dəyişməsinin ətalətli hadisə olmasını nəzərə almaq lazımdır [16-18].

Birinci mərhələdə uçuşun əvvəlində qaldırıcı mühərriklərin fırlanma sürəti aşağıdır, ikinci mərhələdə uçuş aparatının havada asılma rejiminə keçməsi və bu rejimdə uçuşu davam etdirməsi üçün mühərriklərə tətbiq edilən gücün və enerjinin artırılması tələb olunur. Məlumdur ki, mühərriklərin cərəyan sərfi onların fırlanma sürətinə mütənasibdir. Bu səbəbdən uçuşun əvvəlində uçuş aparatı yerdə olanda cərəyan sərfi aşağı olmuş, lakin havada asılma rejimində qaldırıcı mühərriklərin cərəyan sərfi və dövrlər sayı artmışdır (şəkil 5b, şəkil 5c). Üçüncü mərhələdə uçuşun sonunda, dövrlər sayının və cərəyan sərfinin sifira qədər azalması qeydə alınmışdır.

İMU-nun çıxış siqnallarının etibarlılığını və uçuş aparatının dayanıqlığını tam şəkildə yoxlamaq məqsədi ilə 2-3 m hündürlükdə havada asılı qalma rejimində uçuş yerinə yetirilmişdir [18, 19].

Uçuş müddətində uçuş aparatının üfüqi müstəvidə çox aşağı sürətlə dönməsi, lakin onun üfüqi tarazlığını saxlaması müşahidə edilmişdir. Bunu şəkil 5-də göstərilmiş qrafiklərdən müəyyən etmək mümkündür. Şəkil 5a-da göstərilmiş qrafiklərdən görünür ki, zaman keçdikcə bir diaqonal üzrə yerləşmiş mühərriklərin temperaturu (T1, T2) digər diaqonal üzrə yerləşmiş mühərriklərə (T2, T4) nisbətən çox artır. Burada, mühərriklərin yerləşməsi "PixHawk" uçuş kontrollerinin kvadrokopter üçün ştat düzlişünə uyğundur və T1-T4 uyğun mühərriklərin temperaturunu bildirir. Eyni zamanda qrafiklərdən, mühərriklərin dövrlər sayının (RPM) onların temperaturuna mütənasib olduğunu müəyyən etmək mümkündür (şəkil 5a, şəkil 5c).



Şəkil 5. Multikopter rejimində aparılan sınaq uçuşları zamanı BNÖS vasitəsilə qeydə alınan qiymətlər əsasında qurulmuş: a) temperaturun ($^{\circ}\text{C}$), b) cərəyanın (A), c) mühərriklərin dövrlər sayının (RPM, dövr/dəqiqə), d) akselerometrin və e) giroskopun çıxış siqnallarının zaman qrafikləri

Elmi işdə sinxron olaraq digər zaman qrafikləri ilə İMU-dan daxil olan məlumatları kompleks şəkildə tədqiq etdikdə uçuş aparatının dayanıqlığının yaranması əyani olaraq sübuta yetirilir.

Uçuş müddətində üfqi tarazlığı və dayanıqlığı təmin etmək üçün giroskop və akselerometrin x, y, z oxları üzrə uçuş aparatının küləyə əks təsir göstərmək, qaldırıcı qüvvənin yaranması və ani külək sürətlənmələrinə qarşı dayanıqlığı temperatur, cərəyan və mühərrikin dövrlər sayına mütənəsb olduğu sübut olunur.

Belə ki, şəkil 5e-də qeyd olunan 1...4 nöqtələrində giroskopun çıxış siqnalının y oxu üzrə, eləcə də 5...7 nöqtələrində z oxu üzrə küləyin əks müqavimətinin yüksəlməsi görünür.

İMU vasitəsi ilə kontrollerə siqnal daxil olur və paralel olaraq bir diaqonal üzrə yerləşmiş mühərriklərin RPM1 və RPM2 dövrlər sayı, T1 və T2 temperaturları, eləcə də "Holl" cərəyan duyğacı vasitəsi ilə qeydə alınan C1 və C2 cərəyan sərfi artır (maksimum qiymətini alır). Nəticədə "uçan qanad" profilli uçuş aparatı tarazlığı təmin edir və təyin olunmuş hündürlüyü saxlamaqla uçuşu davam etdirir.

4.2. 2-ci sınaq

Mürəkkəb meteoroloji şəraitdə (uçuş aparatının məhdudiyətləri daxilində təhlükəsiz uçuşu təmin edilir) uçuş dayanıqlığının yoxlanılması məqsədi ilə uçuş aparatının multikopter rejimində sınaq uçuşu tədqiq olunmuşdur. Sınaqlar zamanı havanın temperaturu 10 °C, təzyiqi 756 mm.c.s., küləyin sürəti 175° dərəcədə artan 5 - 6 m/san, ani sürətlənməsi 11-12 m/san təşkil etmişdir (şəkil 6).

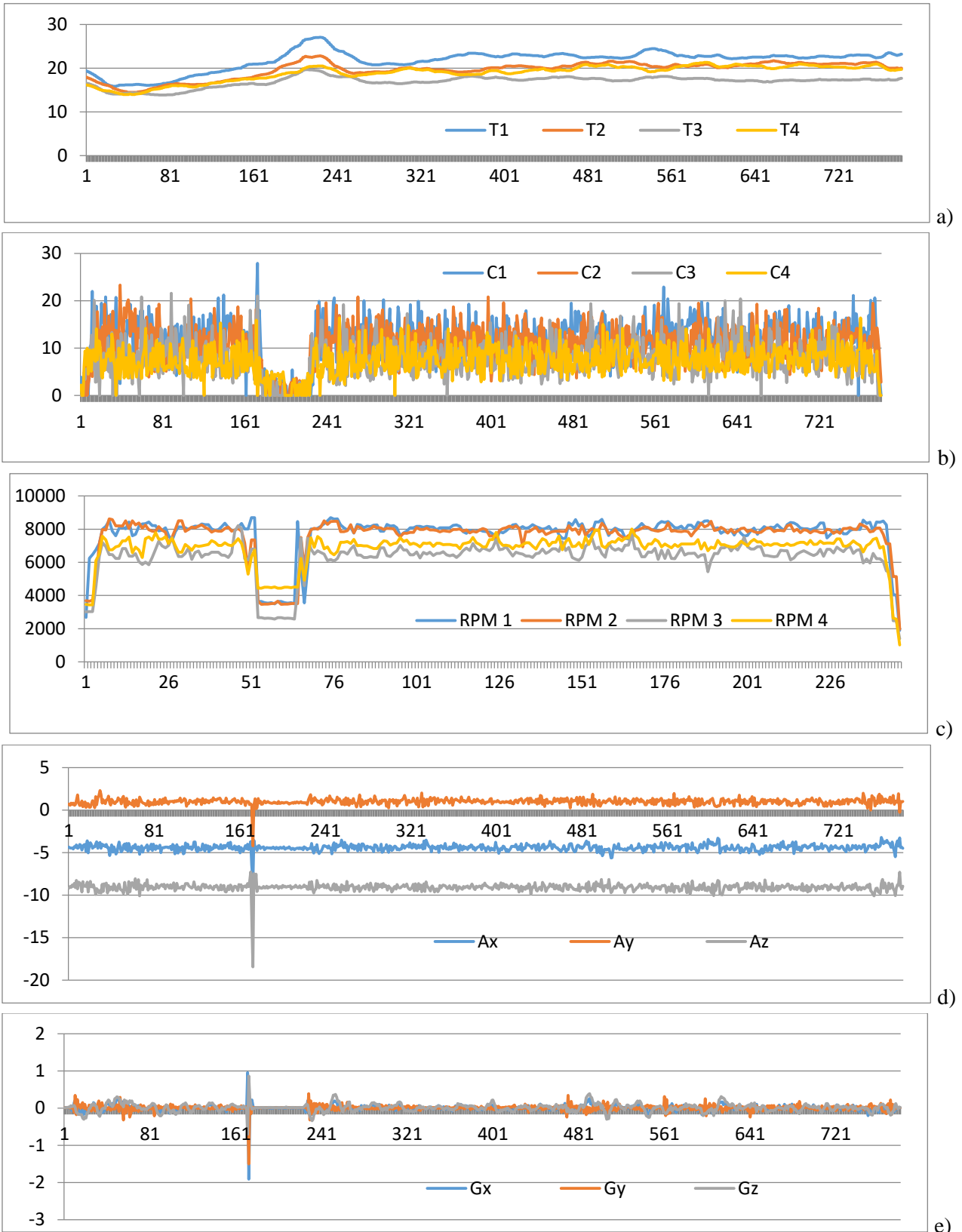
Uçuş başlayandan 80 san sonra küləyin ani sürətlənməsi güclənmiş, bu zaman təhlükəsizlik məqsədi ilə yerdən idarəetmə pultu vasitəsilə PUA-ya yerə enmə komandası verilmişdir. PUA-nın yerə toxunduğu 20 san müddətində qaldırıcı mühərriklər fırlanmağa davam etmişdir. Bu müddətdə mühərriklərin fırlanma sürəti "qaz" dəstəyinə görə 20...25 %-ə uyğun olmuşdur.

Əvvəl PUA-nın yer səthindən 2-3 m hündürlükdə havada asılı qalmasını, sonra mühərriklərin 20 san müddətində yerdə işləməsinə temperaturun, cərəyanın və dövrlər sayının şəkil 6a - 6c-də göstərilmiş zamandan asılılıq qrafiklərindən müəyyən etmək mümkündür.

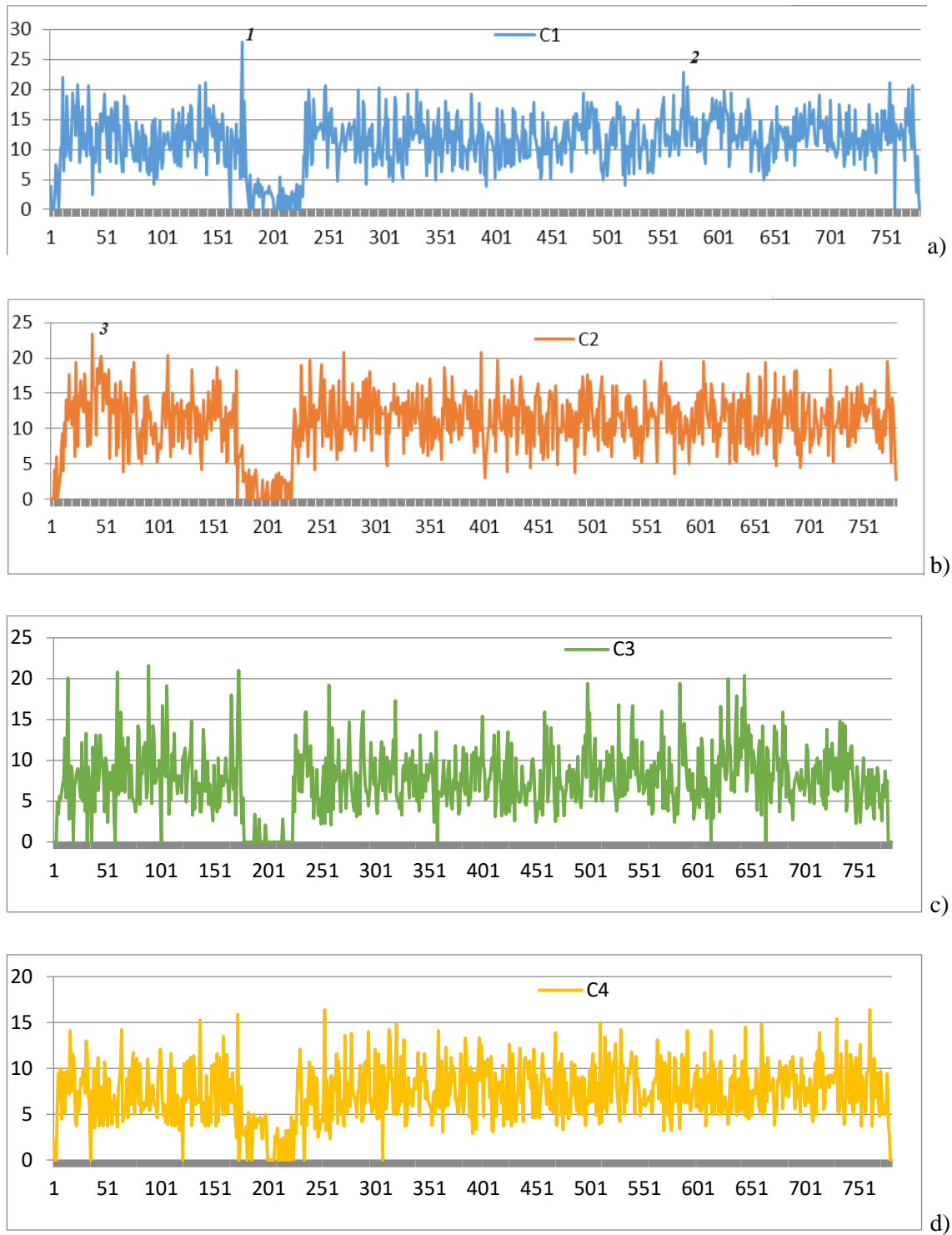
İMU-nun (akselerometr və giroskop) çıxış siqnallarının zamandan asılılıq qrafiklərində PUA-nın yerə enmə anı aydın görünür, lakin qrafiklərə əsasən onun havaya qalxma anını müəyyən etmək nisbətən çətindir (şəkil 6d və şəkil 6e). İMU-nun çıxış siqnallarının qrafikləri mühərriklərin yerdə işlədiyi müddətdə hamarlanmış və göründüyü kimi, 20 san-dən sonra havaya qalxma anından başlayaraq çıxış siqnallarında küylərin səviyyəsi nisbətən artmışdır. Beləliklə, İMU-nun çıxış siqnallarında küylərin səviyyəsinə əsasən PUA-nın yerdə və ya havada olmasını müəyyən etmək mümkündür.

Təkrar havaya qalxdıqdan sonra əvvəlki hündürlükdə uçuşun davam etdiyi müddətdə uçuş aparatının dayanıqlığı və onun İMU-nun çıxış siqnalları etibarlı şəkildə tam qeydə alınmışdır. Paralel olaraq akselerometrin və giroskopun çıxış siqnallarının da PUA-nın hərəkət dinamikasına uyğun dəyişməsi müəyyənləşdirilmişdir.

Birinci və ikinci uçuşda mühərriklərin sərf etdiyi cərəyanların zamandan asılılıq qrafikləri ümumi şəkildə təqdim edilmişdir (şəkil 5b və şəkil 6b). Qrafiklərin müqayisəsindən görünür ki, ikinci uçuş zamanı küləyin ani sürətlənməsinin artması səbəbindən havada asılma rejimində aerodinamik tarazlığı saxlamaq üçün qaldırıcı mühərriklərin tələb etdiyi güc və uyğun olaraq cərəyan sərfi artmışdır. Şəkil 7-də ikinci uçuşda qaldırıcı mühərriklərin sərf etdiyi cərəyanların zamandan asılılıq qrafikləri hər mühərrik üçün ayrılıqda göstərilmişdir.



Şəkil 6. Multikopter rejimində aparılan sınaq uçuşları zamanı BNÖS vasitəsilə qeydə alınan qiymətlər əsasında qurulmuş: a) temperaturun ($^{\circ}\text{C}$), b) cərəyanın (A), c) mühərriklərin dövrlər sayının (RPM, dövr/dəqiqə), d) akselerometrin və e) giroskopun çıxış siqnallarının zaman qrafikləri



Şəkil 7. Uçuş müddətində qaldırıcı mühərriklərin hər birinin ayrı-ayrılıqda cərəyan sərfiyyatının zaman qrafikləri

Qrafiklərdən görünür ki, uçuş müddətində maksimal cərəyan sərfiyyatı şəkil 7a-da 1 nöqtəsində 28 A, 2 nöqtəsində 22.5 A, eləcə də şəkil 7b-də 3 nöqtəsində 23 A olmaqla piklər təşkil edir. Qeyd olunan pik nöqtələr giroskopun çıxış siqnallarında da öz əksini tapmışdır (şəkil 6e).

Nəticə

1. Mikro PUA üçün işlədiyimiz BNÖS uçuş müddətində PUA-nın uçuş-texniki parametrlərini sinxron ölçür və ölçülmüş qiymətləri eyni zamanda yaddaş kartına yazır.
2. Mikro PUA üçün BNÖS vasitəsilə uçuş-texniki parametrləri qismində dörd qaldırıcı mühərrikin temperaturu, cərəyan sərfi və dövrlər sayı, eləcə də İMU-nu təşkil edən akselerometr və giroskopun çıxış siqnalları real uçuşda qeydə alınmışdır.
3. Alınmış qiymətlər əsasında “Excel 2016” proqramı vasitəsilə müvafiq zaman qrafikləri qurulmuşdur.
4. Qeydə alınmış parametrlərin təhlili güc dövrəsinin, xüsusilə mühərriklərin vəziyyətini qiymətləndirməyə imkan verir.
5. BNÖS-ü çoxrotorlu və digər uçuş aparatlarında istifadə etmək üçün modifikasiya edilə bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А. Малоразмерные беспилотные летательные аппараты и средства борьбы с ними. Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. Том 9. №2, 2017, с. 15-20.
2. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А. Обзор этапов развития, конструкций и проблем проектирования БПЛА типа мультикоптер. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и технические науки. Москва, 2017. №3-4. с. 16-21.
3. Набиев Р.Н., Гараев Г.И., Абдуллаев А.А., Аббасов В.А. Требования к беспилотным летательным аппаратам на мультиротационной основе. Авиакосмическое приборостроение, Москва, 2018 г. № 9, с. 3-11, DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2018. 166.
4. Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ., Abdullayev A.A. Pilotsuz uçuş aparatları üçün qida mənbələrinin seçilməsi. Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. Cild 20, №3, 2018, s.1-11.
5. Abdullayev A.A. Accumulator batteries and fuel elements/Tokyo summit 4th International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences. July 29-31.2021, Tokyo, Japan. p. 187-197.
6. Момот М.В., Момот П.М. Использование микроконтроллера ESP32 совместно с гироскопами MPU-6050 и BNO055 при создании самобалансирующих роботов. Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов X Международной научно-практической конференции, 23–25 мая 2019 г., Юрга. Томск: Изд-во ТПУ, 2019. с. 255-264.
7. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А., Гараев Г.И. Разработка концептуальной функциональной схемы беспилотного конвертоплана с гибридным источником энергии. Авиакосмическое приборостроение, Москва, №5. 2021, с. 03-18 DOI: 10.25791/aviakosmos. 5.2021.1217.
8. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А. Беспилотные летательные аппараты конвертопланового типа: Текущее состояние и перспективы. Естественные и технические науки. Москва, №3 (154), 2021, с. 146-162, doi: 10.25633/ETN.2021.03.13.
9. Абдуллаев А.А. Тенденция развития беспилотных летательных аппаратов конвертопланового типа. Тенденции развития науки и образования, Научный журнал, №63/07/2020, Часть 1, Самара, с 84-90. doi: 10.18411/lj-07-2020-21, idsp: I journal-07-2020-21.
10. Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.İ. Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatının yaradılması və onun əsas parametrlərinin strateji obyektlərin müşahidəsi kontekstində optimallaşdırılması məqsədi ilə ağırlıq mərkəzinin müəyyən olunması. AR MN Milli Müdafiə

Universiteti. “Hərb sənətinin actual problemləri”. Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Elmi-praktiki konfrans, 3-4 may 2023-cü il, Bakı, Azərbaycan, səh 275-278.

11. С.А. Михайлов, М.А.Х. Хамза, А.А. Маханько. Способ определения аэродинамических характеристик летательного аппарата по результатам летного эксперимента. Патент-изобретение, RU 2790358 С1. Описание изобретения к патенту. Федеральная Служба по интеллектуальной собственности, Российская Федерация. № 5, 17.02.2023.
12. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Development trends of unmanned aerial vehicles: Main tasks, prospects and expectations. II International Baku scientific research conference. 28-30 April 2021 / Baku, Azerbaijan, Odlar Yurdu University, conference, p. 556-579.
13. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А., Гараев Г.И. Конструктивное оформление беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа. Авиакосмическое приборостроение, Москва, № 6. 2022, с. 03-13, DOI: 10.25791/aviakosmos. 6.2022. 1281.
14. 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.
15. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.İ. Structural drafting of convertiplane-type unmanned aerial vehicle. Norwegian Journal of development of the International Science, №94, 2022, p. 45-51, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7198424>
16. О.В. Емельянова и др. Синтез параметров электроприводов БПЛА типа «конвертоплан - трикоптер». Cloud of Science. 2017. Т. 4. № 2, с. 249-263. [http:// cloudofscience.ru](http://cloudofscience.ru)
17. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А., Гараев Г.И. Сравнительный анализ особенностей аккумуляторных батарей на основе лития. Авиакосмическое приборостроение, Москва, № 9. 2019, с. 42-55. DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2019.867.
18. Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А., Гараев Г.И. Анализ особенностей водорода в качестве источника энергии. Авиакосмическое приборостроение, Москва, 2021 г. № 3. с. 41-58. DOI: 10.25791/aviakosmos.3.2021.1211.
19. С.А. Клешина и др. Устройство регистрации и передачи телеметрической информации беспилотного летательного аппарата. Патент-изобретение, RU 182090 С1. Описание изобретения к патенту Федеральная Служба по интеллектуальной собственности Российской Федерация. № 22, 03.08.2018.

REFERENCES

1. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Malorazmerniye bespilotniye letatel'niye apparati i sredstva bor'bi s nimi. Vestnik Azerbayjanskoy Inzhenernoy Akademii. Tom 9. №2, 2017, s. 15-20.
2. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Obzor etapov razvitiya, konstruksiy i problem proyektirovaniya BPLA tipa mul'tikopter. Sovremennaya nauka; aktual'niye problemi teorii i praktiki. Seriya Yestestvenniye i tekhnicheskiye nauki. Moskva, 2017. №3-4. s.16-21.
3. Nabiyev R.N., Garayev G.İ., Abdullayev A.A., Abbasov V.A. Trebovaniya k bespilotnim letatel'nim apparatam na mul'tirotasionnoy osnove. Aviakosmicheskoye priborostroyeniye, Moskva, 2018 g. №9, s. 3-11, DOI:10.25791/aviakosmos.09.2018.166.
4. Nabiyev R.N., Garayev G.İ., Abdullayev A.A. Pilotsuz uchush aparatları uchun gida menbele-rinin sechilmesi. Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmueleri. Cild 20, №3, 2018, s.1-11.

5. Abdullayev A.A. Accumulator batteries and fuel elements/Tokyo summit 4th International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences. July 29-31.2021, Tokyo, Japan. p. 187-197.
6. Momot M.B., Momot P.M. Ispol'zovaniye mikrokontrollera Esp32 sovместno s giropriborami MPU-6050 i BNO055 pri sozdanii samobalansiruyushikh robotov. Innovacionniye tekhnologii v mashinostroyeniі: sbornik trudov X Mejdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferensii, 23-25 maya 2019 g., Yurga. Tomsk: Izd-vo TPU, 2019.s. 255-264.
7. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. Razrabotka konseptual'noy funktsional'noy skhemi bespilotnogo konvertoplana s gibridnim istochnikom energii. Aviakosmicheskoye priborostroyeniye, Moskva, №5.2021, s.03-18 DOI:10.25791/aviakosmos.5.2021.1271.
8. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Bespilotniye letatel'niye apparati konvertoplanovogo tipa: Tekusheyee sostoyaniye i perspektivi. Yestestvenniye i tekhnicheskkiye nauki. Moskva, №3(154), 2021,s.146-162,doi: 10.25633/ETN.2021.03.13.
9. Abdullayev A.A. Tendensiya razvitiya bespilotnikh letatel'nikh apparatov konvertoplanovogo tipa. Tendensiya razvitiya nauki i obrazovaniya, Nauchniy jurnal, №63/07/2020, Chast'1,Samara, s 84-90.doi: 10.18411/lj-07-2020-21, idsp: ljjournal-07-2020-21
10. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.İ. Konvertoplan tipli pilotsuz uchush aparatının yaradılması ve onun esas parametrlərinin strateji obyektlerin müşahidəsi kontekstində optimallaşdırılması məqsədi ilə ağırlıq mərkəzinin müəyyən olunması. AR MN Milli Mədafie Universiteti. "Herb sənətinin aktual problemləri". Umummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Elmi-praktiki konfrans, 3-4 may 2023-ju il, Bakı, Azərbaycan, seh. 275-278.
11. S.A.Mikhaylov, M.A.Kh. Khamza, A.A. Makhan'ko. Sposob opredeleniya aerodinamicheskikh kharakteristik letatel'nogo apparata po rezul'tatam letnogo eksperimenta. Patent-izobreteniyе, RU 2790358 C1. Opisanіye izobreteniya k patentu. Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti, Rossiyskaya Federasiya. № 5, 17.02.2023.
12. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A. Development trends of unmanned aerial vehicles: Main tasks, prospects and expectations. II International baku scientific research conference. 28-30 april 2021 / Baku, Azerbaijan, Odlar Yurdu University, conference, p. 556-579.
13. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. Konstruktivnoye oformleniye bespilotnogo letatel'nogo apparata konvertoplanovogo tipa. Aviakosmicheskoye priborostroyeniye, Moskva, № 6. 2022, s. 03-13, DOI: 10.25791/aviakosmos. 6.2022. 1281.
14. M.A.Kh. Khamza. Proyektirovaniye sistemi sbora polyotnoy informasii dlya rascheta aerodinamicheskikh kharakteristik BPLA. Ontologiya proyektirovaniya. №1, tom 13, 2023, s. 93-98, DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-90-98.
15. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.İ. Structural drafting of convertiplane-type unmanned aerial vehicle. Norwegian Journal of development of the International Science, №94, 2022, p. 45-51, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7198424>
16. O.V.Yemel'yanova i dr. Sintez parametrov elektropriborov BPLA tipa «konverto-plan-trikopter». Cloud of Science. 2017. T. 4. № 2, c. 249-263. [http:// cloudofscience.ru](http://cloudofscience.ru)
17. Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. Sravnitel'niy analiz osobnostey akkumulyatornikh batarey na osnove litiya. Aviakosmicheskoye priborostroyeniye, Moskva, № 9. 2019, c. 42-55. DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2019.867.

18. Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. Analiz osobennostey vodoroda v kachestve istochnika energii. Aviakosmicheskoye priborostroyeniye, Moskva, 2021 g. № 3. s. 41-58. DOI: 10.25791/aviakosmos.3.2021.1211.
19. S.A.Kleshnina i dr. Ustroystvo registrasii i peredachi telemetricheskoy informasii bespilotnogo letatel'nogo apparata. Patent-izobreteniye, RU 182090 C1. Opisanie izobretaniya k patentu Federal'naya Slujba po intellektual'noy sobstvennosti Rossiyskaya Federasiya. № 22, 03.08.2018.

**STUDY OF FLIGHT-TECHNICAL PARAMETERS OF CONVERTOPLAN-TYPE
UNMANNED MICRO AIRCRAFT IN MULTICOPTER MODE**

Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I.
National Aviation Academy

In the article, the on-board measurement-recording system designed to record the main flight parameters of the convertoplan-type micro-unmanned aerial vehicle and the base of elements that make up the system are described. In the test flights performed in multicopter mode at different times and in meteorological conditions, both the temperature, current consumption and number of cycles of each of the motors, as well as the angle change and acceleration of the glider along the three coordinate axes were measured and recorded by means of the on-board measuring and recording system. Graphs of the time dependence of the recorded parameters were constructed, and based on them, the take-off, landing and hovering modes of the aircraft were studied.

The possibility of diagnostic testing of power elements on the ground during preparation for flight, control of flight events that may occur in the air during flight is shown.

Keywords: *Konvertoplane, micro-unmanned aerial vehicle, on-board measurement-registration system, accelerometer, gyroscope, thermometer, flight technical parameters.*

Rəyçi: *f.-r.e.n., dos. İsgəndərov İ.Ə.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Nəbiyev Rasim Nəsim oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Aviasiya Elektronikası şöbəsinin rəisi t.e.d., prof.	nabiyevrasim@gmail.com mob: (+994) 55 754 76 46
Abdullayev Anar Arif oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Milli Aviasiya Akademiyasının doktorantı, f.-r.f.d.	anarcafarov09@mail.ru mob: (+994) 77 756 48 75
Qarayev Qədir İsxan oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Aviasiya Elektronikası şöbəsinin böyük elmi işçisi, t.f.d.	qedir71@mail.ru mob: (+994) 70 321 81 15

UOT: 629.7.05

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.30.

KIÇIK PEYKLƏR ÜÇÜN YERƏ OPTİK-ELEKTRON SƏMTLƏŞDİRMƏ SİSTEMİNİN MODELİ VƏ FOTOQƏBULEDİCİSİNİN ENERGETİK HESABATI

İsgəndərov İ.Ə.

Milli Aviasiya Akademiyası

Təqdim olunan məqalədə, optik-elektron səmtləşdirmə və stabilləşdirmə sistemlərinin funksional imkanları təhlil edilmiş, peyklərdə bu sistemlərin tətbiqi sxemləri araşdırılmış, kiçik peyklərin Yerə səmtləşdirilməsini təmin edən optik-elektron sistemin modelinin işlənməsinə baxılmışdır. Mövcud səmtləşdirmə və stabilləşdirmə sistemlərinə xas olan funksional məhdudiyyətlər təhlil edilmiş, kosmik aparatlarda (KA) tətbiq olunan optik-elektron səmtləşdirmə, stabilləşdirmə və naviqasiya qurğularının fərqli xüsusiyyətləri baxılmışdır. Göstərilmişdir ki, astronomik səmtləşdirmə sistemlərinin mürəkkəbliyi və konstruktiv xüsusiyyətləri onların kiçik peyklərdə tətbiqini xeyli çətinləşdirir. Araşdırmalar və aparılan hesablatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, son illər işlənib hazırlanmış mikro bolometrik matrislər (MBM) və onlar əsasında yaradılan, soyudulma tələb etməyən fotoqəbuledicilərin tətbiqi yeni tip optik-elektron sistemlərin işlənməsinə imkan verir. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində, soyudulmayan MBM-li fotoqəbuledici əsasında kiçik peyklərdə tətbiq oluna biləcək, Yerə səmtləşdirmə təmin edən kompakt, avtonom və daha yüksək dəqiqliyə malik optik-elektron səmtləşdirmə sisteminin struktur modeli təklif edilmişdir.

***Açar sözlər:** kosmik aparat, peyk, səmtləşdirmə sistemi, astronomik, optik-elektron sistem, mikro bolometrik matris, fotoqəbuledici, struktur model.*

Giriş. Son dövrlərdə kosmik texnikanın xüsusən də, peyklərin inkişafı, əsasən bu sahədə tətbiq olunan idarəetmə sistemlərinin inkişaf prosesləri ilə birbaşa bağlıdır. Bu sistemlərə qoyulan əsas tələblərdən biri onların yüksək dəqiqliyə və avtonom fəaliyyət göstərmək imkanlarına malik olmasıdır. Bu səbəbdən borda yerləşdirilmiş informasiya vericiləri kimi müxtəlif astronomik oriyentirlərə - ulduzlara, Günəşə, planetlərə (o cümlədən Yerə) nəzərən bucaq vəziyyətini təyin edən optik-elektron sistemlər geniş tətbiq tapmaqdadır. Belə sistemlər müasir peyklərdə dörd əsas məsələnin həlli üçün istifadə oluna bilər. Belə əsas məsələlərə: astronomik səmtləşdirmə (yönəltmə), astronomik korreksiya, astronomik naviqasiya və peykin oxlarının vəziyyətinin təyin edilməsi və indikasiyası daxildir. Dəqiq olmayan səmtləşdirmə sistemlərinə malik olan peyklərdə oxların vəziyyətinin indikasiyası kimi problemlər qarşıya çıxır [1-3].

Astronomik səmtləşdirilmə, korreksiya, indikasiya məsələlərində peykin koordinatlar sistemi ilə astronomik dayaq orbitlərinə təyin olunan inersial koordinat sistemi arasında əlaqə yaradılır. Bunlardan fərqli olaraq astronomik naviqasiya proseslərində kosmik aparatların (KA) orbitdə mövcud olduğu yer və orbitin parametrləri təyin edilməlidir.

İstənilən KA-da baxılan məsələlər onun olduğu təbii şəraitdə, konstruktiv məhdudiyyətləri, energetik, dinamik və digər xarakteristikaları çərçivəsində həll olunur. KA-larda geniş istifadə olunan astronomik səmtləşdirmə sistemlərinin mürəkkəbliyi və konstruktiv xüsusiyyətləri onların kiçik peyklərdə tətbiqini xeyli çətinləşdirir.

İşin məqsədi. Kiçik peyklərdə (mikro və nanopeyklərdə) tətbiq olunma imkanlarına malik olan optik-elektron səmtləşdirmə sisteminin yaradılması imkanlarının tədqiqi və struktur modelinin işlənməsi işin əsas məqsədidir.

1. KA-ların optik-elektron səmtləşdirmə qurğuları və onların xüsusiyyətləri

Kosmik sahədə çoxlu sayda səmtləşdirilmə və naviqasiya qurğuları tətbiq tapmışdır. Onlar əsasən bir-birindən təyinatına, quruluş prinsiplərinə, istismar və konstruktiv xüsusiyyətlərinə görə fərqlənirlər. Bu qurğuların təsnifatı müxtəlif cəhətlərinə görə aparılır [1,3].

Ulduzlara görə optoelektron səmtləşdirmə qurğuları. Universal ulduz qurğularının işləməsi üçün az sayda (3÷5) ulduzun obyektivdə görünməsi kifayətdir. Cisim bucağı kiçik olduğu üçün belə qurğular bütün növ fon işıqlanmalarına qarşı yüksək davamlılığa malikdirlər.

Tərpənməz cisim bucağı olan qurğular konstruktiv olaraq daha sadədirlər. Bu amil dəqiqliyin və etibarlığın artmasına gətirir. Belə qurğuların cisim bucağı böyük olur və çoxlu sayda ulduzları əhatə edir. Bu isə fon şüalanmasına qarşı həssaslığı artırır.

Son illər ulduz qurğularında qəbuledici element kimi yük əlaqəli cihazlar (YƏC) matrisi, informasiyanı emal edən vasitə kimi mikroprosessor istifadə olunur. Nəticədə konstruksiya xeyli sadələşib, yerinə yetirilən funksiyaların sayı və mürəkkəblik dərəcəsi artmışdır [1,3].

YƏC-matrisi əsasında müasir ulduz qurğuları KA-ın istənilən vəziyyətində yönəltmə ilə bağlı məsələləri həll edə bilir. Bu qurğular yönəltməni ayrılıqda götürülmüş bir ulduzla yox, üç ox üzrə yerinə yetirirlər. Onlar cisim bucağı daxilində yerləşən ulduzlar qrupu ilə işləyir. Belə qurğu özünə bağlı koordinat sisteminin oxları ilə ümumdünya koordinat sisteminin oxları arasındakı bucaqları təyin edir. Qurğuları seçilmiş bir işçi ulduza doğru tuşlamağa ehtiyac yoxdur. Çünki, bu qurğular istənilən istiqamətdə yönəlmiş cisim bucağının əhatə etdiyi ulduzların bucaq koordinatları barədə informasiya verir. Qurğuların funksiyalarından biri ulduzların tanınmasıdır. Ona görə də qurğuların tərkibinə ulduz kataloqu da daxil edilir. Hazırda bu növ qurğular müxtəlif ölkələrdə istehsal olunur. Lakin, onların struktur sxemi demək olar ki, eynidir və kifayət qədər sadədir

2. İnfraqırmızı (İQ) diapazonlu optoelektron Yerə səmtləşdirmə qurğuları

İQ diapazonlu Yerə səmtləşdirmə qurğuları funksional təyinatına, imkanlarına və istismar xüsusiyyətlərinə görə üç qrupa ayrılır:

- Yerin mövcudluğunu göstərən qurğular;
- Yerə şaqul quran qurğular;
- meyil bucağını ölçən qurğular [1,3,4].

Yerin mövcudluğunu göstərən qurğular Yerin KA-a nisbətən tərpənməz olan bir-birinə nisbətən 180^0 bucaq altında döndərilmiş iki bucaq sahəsindən birində olduğunu təyin edir [2,3].

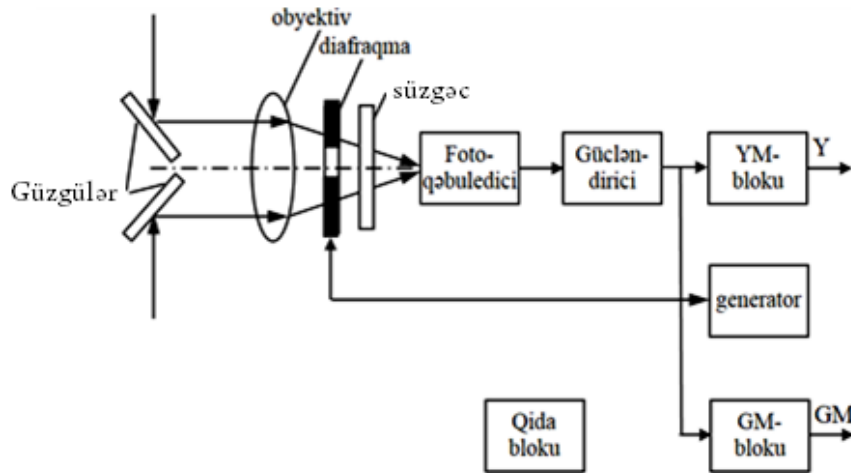
Yerə şaqul qurucuları qurğularının oxunun Yerin mərkəzinə doğru istiqamətdən meyil bucağını iki qarşılıqlı perpendikulyar müstəvidə təyin edir. Meyil bucağından asılı olaraq çıxış signalı xətti və yaxud pilləvari ola bilər. Meyil bucağını təyin etmək üçün cisim bucağı dairəvi trayektoriya üzrə skan edilir və faza detektoru vasitəsilə çıxış signalı formalaşdırılır [4,5].

Müasir optik-elektron sistemlər meyil bucağını ölçən qurğuların oxunun Yerin mərkəzinə istiqamətdən meyilliyini onlarla dərəcələrlə ölçülən geniş diapazonda yüksək dəqiqliklə ölçürlər [3].

Qurğunun bir-birinin əksi istiqamətdə yönəlmiş iki obyektivi var və iki cisim bucağı daxilində müşahidələr aparılır: bunlardan biri dayaq, digəri isə işçi bucaqlardır. Obyektivlərdən biri Yerə doğru, digəri isə kosmosa doğru yönəldikdə Yerin mövcudluğunu bildirən signal formalaşır. Qurğu (7÷20) mkm dalğa uzunluqları diapazonunda işləyir.

Şəkil 1-də belə qurğunun struktur sxemi verilmişdir. İşçi və yaxud dayaq cisim bucağında

yerləşən Yer in şüalanması güzgülərdən əks olunaraq əvvəl obyektivə, sonra isə modulyasiyaedici diafraqmadan və süzgəcdən keçərək fotoqəbulediciyə düşür. Generatorun dayaq siqnalına nəzərən modulyasiya olunmuş işıq şüasının fazası, şüalanmanın hansı obyektivdən qurğuya daxil olmasından asılıdır. Gücləndirici blokun tərkibində fazaya həssas detektor var. Əgər Yer, işçi cisim bucağındadırsa çıxış siqnalı müsbət, dayaq bucağında yerləşdikdə isə mənfi qütblü olur [2,3].



Şəkil 1. Yerə səmtləşdirmə qurğusunun struktur sxemi.
YM–Yerin mövcudluğu, GM–Günəşin mövcudluğu

Əgər Günəş cisim bucaqlarından birindədirsə, bu halda onun hansı cisim bucağında yerləşməsindən asılı olmayaraq Günəşin mövcudluğunu bildirən blokda müsbət qütblü siqnal formalaşır. Bu onunla bağlıdır ki, Günəşdən gələn siqnal Yerin verdiyi siqnalından güclüdür [2,3].

İşığın modulyasiyası diafraqmanın vibrasiyaları vasitəsilə aparılır. Bunun üçün elektromexaniki generator istifadə edilir. Generator diafraqmanın rəqslərini və fazaya həssas detektor üçün dayaq gərginliyini təmin edir [2,3].

Qeyd olunduğu kimi, görünən diapazonda işləyən Yer qurğularının ciddi bir nöqsanı var. Bu nöqsan günün müxtəlif saatlarında Yerin Günəş tərəfindən işıqlandırılan hissəsinin ölçülərinin və formasının dəyişməsi ilə bağlıdır. Bu isə onların tətbiqini məhdudlaşdırır.

Çoxelementli qəbuledicilər əsasında Yerə səmtləşdirmə qurğuları. Son onilliklərdə soyudulma tələb olunmayan mikro bolometrik matrislər (MBM) işlənilib hazırlanmışdır. MBM-in tətbiqi yeni tip İQ diapazonlu Yer qurğularının layihələndirilməsi üçün yeni imkanlar yaradır [3, 4].

Bu imkanlar MBM-qəbuledicilərin bir sıra üstün cəhətləri ilə bağlıdır. İlk növbədə qeyd etmək lazımdır ki, MBM-qəbuledicilərin hər bir kanalının həssaslığı ən yaxşı birelementli qəbuledicilərə nisbətən bir qədər yüksəkdir [2,4,5].

Bundan başqa, birelementli qəbuledicilərdə fəzanı müşahidə etmək və tam informasiya formalaşdırmaq üçün optik-mexaniki skanetmə reallaşdırılmalıdır. MBM-qəbuledicilər isə öz piksellərində böyük həcmdə informasiya formalaşdırır və onun elektron oxunmasını təşkil edir [3,6].

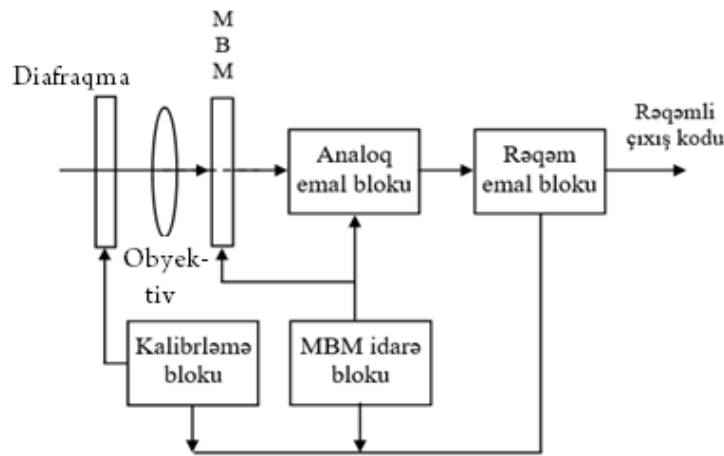
Başqa bir üstün cəhət ondan ibarətdir ki, bir elementli qəbuledicilərdən fərqli olaraq MBM-qəbuledicilərdə fəzanın öyrənilən hissəsi skan edilmir, yəni paralel olaraq müşahidə olunur [2-4].

Şəkil 2-də MBM əsasında Yeri “görən” qurğunun struktur sxemi verilmişdir. Obyektiv Yerin olduğu fərz olunan fəza hissəsini MBM-ə proyeksiya edir. Obyektiv elə seçilir ki, Yer kürəsi onun cisim bucağına yerləşsin. İdarə blokunun verdiyi siqnal informasiyanın oxunma tezliyi ilə üç müxtəlif

tezliklə sinxronlaşdırır. Bunlar informasiyanın piksellərdən alınma tempinə uyğun olan takt signalı tezliyi, sətirlər üzrə oxunma tezliyi və kadrılar üzrə oxunma tezliyidir. Matrisin çıxış signalı analoq blokda ilkin emal edildikdən sonra rəqəm koduna çevrilir. Rəqəm emal bloku olduqca yüksək məhsuldarlığa malik kompüterdir. O, piksellərdən informasiyanı bir neçə MHz tezliklə qəbul edir, müəyyən alqoritmlər üzrə həmin informasiyanı emal edir. Bu kod verilmiş cisim bucağında, Yer aşkar olunduğu halda, onun bucaq koordinatları haqqında informasiya daşıyır [1,4].

MBM-dən istifadəsi zamanı, optik-mexaniki skanetmə tələb olunmadığı üçün qurğunun kütləsi və qabarit ölçüləri azalır, presizion optik və mexaniki detallar azaldığı üçün konstruksiya sadələşir və onun hazırlanması üçün əmək tutumu azalır, informasiyanın bir neçə nöqtədən yox, bütün fəza hissəsindən alındığı üçün dəqiqlik artır [1,4,8].

Ənənəvi İQ detektorların signal-küy nisbəti və reaksiya sürəti çox yaxşı olsa da, aşağı temperaturlara (10-100K) qədər soyudulması tələb olduğundan, istifadəsi məhduddur [4,8].



Şəkil 2. MBM əsasında Yer in teplopelenqasiyasını təmin edən qurğunun struktur sxemi

Son dövrlərdə görüntüləmə üçün ən cəlbədicisi İQ detektorlardan biri IRFPA (İQ fokus müstəvisi massivi) mikro bolometridir. Termoelektrik detektor, piroelektrik detektor və superkeçirici qovşaq bolometri (TES) detektoru kimi digər termal infraqırmızı detektorlarla müqayisədə, yaxşı göstəriciləri, kiçik piksel ölçüsü və istehsal rahatlığı hesabına geniş tətbiq tapmaqdadır. Texnoloji inkişaf hesabına silisiumun geniş miqyaslı inteqrasiyası prosesinə əsaslanan texnologiya ilə istehsal olunan MBM detektorunun piksel ölçüsü 17 mkm-dən aşağı salınıb.

Yüksək dərəcədə inteqrasiya prosesi kiçik element ölçüləri və yüksək bərabərlik ilə yetkin bir yanaşma təmin edir ki, bu da istehsal xərclərini azaltmaqla yanaşı piksel və cihaz göstəricilərini yaxşılaşdırmağa kömək edir. Xüsusilə, CMOS-a əsaslanan mikro bolometr texnologiyası və CMOS uyğun yanaşmalarını istifadə edərək orta İQ (LWIR, 8-14 mkm) diapazonlu FPA üçün hazırlanmışdır. İstehsal prosesində, uducu və istilik sensorunun təbəqəli strukturları CMOS prosesi istifadə edilərək əmələ gəlir və daha sonra istilik izolyasiyası məqsədilə asma mikrokörpü strukturları yaratmaq üçün CMOS sonrası mikroelektromexaniki sistem (MEMS) prosesi istifadə olunur [4].

3. Mikro bolometrin (MB) modeli

İQ şüalanması bolometrin səthinə düşəndə udulur və ΔT temperaturunun artması ilə nəticələnir. İstilik tarazlığı halında, istilik artımı olur:

$$\Delta T = \frac{\varepsilon P_0}{(G^2 + \omega^2 C^2)^{1/2}} = \frac{\varepsilon P_0}{G(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}} \quad (1)$$

Burada C- istilik keçiriciliyi G vasitəsilə ətraf mühitə qoşulan uducu təbəqənin istilik tutumudur, ε - amplituda P_0 və bucaq tezliyi - ω ilə gələn infraqırmızı şüalanmanın yayılma qabiliyyəti (udma əmsalı), τ -termal İQ detektoru üçün adətən bir neçə ilə on millisaniyə arasında dəyişən istilik zaman sabitidir. Həm rezistiv, həm də diod mikro bolometrləri üçün temperatur artımı elektrik signalına çevrilir və sonra ölçülür. Aşağı istilik keçiriciliyi yüksək temperatur və həssaslıq qabiliyyəti ilə nəticələnir, ancaq aşağı zaman sabiti yaranır. Bu səbəbdən həssaslıq və zaman sabiti arasındakı qarşılıqlı məhdudlaşmanı azaltmaq üçün kiçik bir istilik tutumu həmişə lazımdır [4,9].

MB-nin çıxış signalı müxtəlif əlaqəsiz mənbələrdən qaynaqlanan küylərlə müşayiət olunur və nəticədə arzuolunmaz təsadüfi həyəcanlanmalar yaranır. Mikro bolometrləri IQ detektorunda nəzərə alınacaq bir neçə əsas küy mənbəyi var: Johnson küyləri, temperatur təsirli küylər və 1/f küyləri. Ümumi küy signalı, bu küylərin orta kvadratlarının cəmi kimi orta kvadratı ilə hesablanabilir:

$$\overline{V}_n^2 = \overline{V}_j^2 + \overline{V}_{TF}^2 + \overline{V}_{1/f}^2 + \overline{V}_{shot}^2 \quad (2)$$

Bu küy, istilik küyünə ekvivalent olan istilik fərqi (NETD) müəyyənləşdirir. NETD, çıxış signalı küyə bərabər olduqda temperatur dəyişikliyi, yəni ölçülə bilən minimum temperatur fərqi olaraq təyin edilir. Optik mikro bolometrik İQ detektorunun işi NETD istifadə edərək qiymətləndirilə bilər və aşağıdakı kimi ifadə olunur.

$$NETD = \frac{(4F^2 + 1)\sqrt{\overline{V}_n^2}}{A\varepsilon R_v (dP/dT_t)_{\lambda_1-\lambda_2}} \quad (3)$$

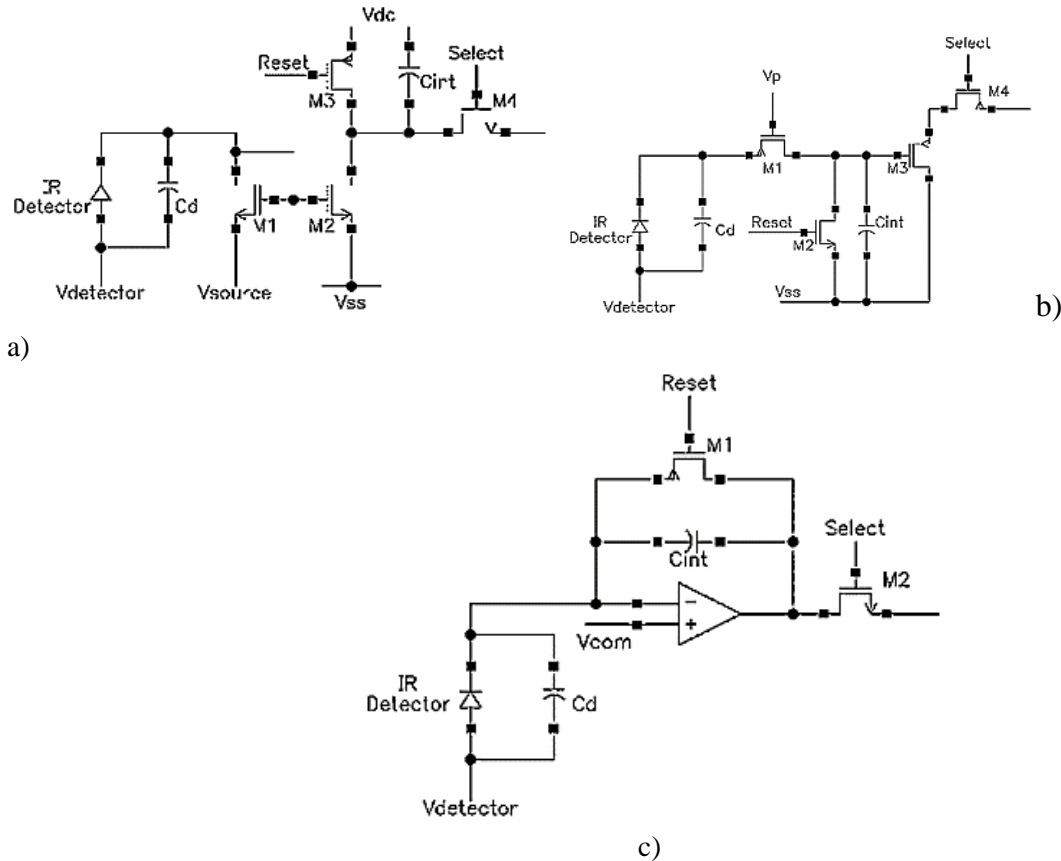
Burada $F = f/D$, optik sistemin F nömrəsi, f və D müvafiq olaraq fokus məsafəsi və optikanın açıqlığıdır. A - udma qatının ölçüsü, R_v - həssaslıqdır, İQ gücünün yaratdığı çıxış gərginliyindəki dəyişiklik olaraq təyin edilir, $(dP/dT_t)_{\lambda_1-\lambda_2}$, İR spektral zolağı daxilində ölçülən T_t temperaturda bir qara cisim tərəfindən şüalanan vahid sahəyə görə güc dəyişikliyidir. 8-14 mkm zolaqdakı 295 K-də qara cisim üçün $(dP/dT_t)_{\lambda_1-\lambda_2}$ -nin dəyəri $2.62 \times 10^{-4} \text{ Wt/sm}^2\text{K}$ -dir. Ucuz bir IRFPA MB-nin işləmə qaydasında olan NETD tipik olaraq 50 ilə 500 mK arasındadır [9,11].

Mikro bolometrin inteqrasiya olunmuş oxuma dövrəsi. Mikrobolometr pikselləri tərəfindən udulan infraqırmızı şüalanma, əlavə küylərin mövcudluğu səbəbindən birbaşa istifadə olunmayan zəif bir fotocərəyanə çevrilir. Bu səbəbdən, fotocərəyanlar gücləndirilməli və oxumaq üçün inteqrasiya olunmuş bir dövrə (ROIC-read-out integrated circuit) istifadə edərək rəqəmsal bir signalə çevrilməlidir. CMOS texnologiyasından istifadə edərək ROIC yüksək signal diapazon genişliyi, yüksək dövrə sıxlığı, aşağı enerji paylanması, yüksək bərabərlik və aşağı küylər olması üstünlüklərinə malikdir. ROIC tipik olaraq bir neçə blokdan ibarətdir: fotocərəyanı gücləndirmək və gərginlik signalına çevirmək üçün oxuma dövrəsi (ROC- read-out circuit); fərdi piksel seçmək üçün sıra dekoderi və sütun multipleksoru; Fəaliyyətini və saat signalını təmin etmək üçün enerji təchizatı və saat signalı generatoru; bəzi IRFPA (infrared focal plane array) - larda ROIC-ə inteqrasiya olunmuş daxili analoq-rəqəmsal çeviricidən istifadə olunduğu halda, digərləri isə xarici ADC tətbiq edirlər. Bütün bu bloklar arasında oxuma dövrəsi (ROC) və analoq-rəqəmsal çeviricilər (ADC), inteqrasiya olunmuş oxuma dövrəsinin (ROIC) əsas blokları hesab olunur [4,9].

Mikrobolometrin oxuma dövrəsi. ROC-da, piksel tərəfindən istehsal olunan fotocərəyandan daha güclü bir gərginlik signalı yaratmaq üçün inteqrasiya zamanı bir kondensator tərəfindən yığılır və gücləndirilir, daha sonra analoq-rəqəm çeviricisində (ADC) rəqəmsal çevirmə üçün bir

formalaşdırma və saxlama (S/H) dövrəsinə göndərilir. ROC dizaynı, konversiyadan əvvəl analog çıxış signalının güc yayılmasına və keyfiyyətinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir [4].

IRFPA MB-lərdə ən çox istifadə edilən ROC konfigurasiyaları birbaşa injeksiya (DI-direct injection) (şəkil 3a), keçid modulyasiya girişi (GMI-gate modulation input) (şəkil 3b) və tutum transimpedans gücləndiricisi (CTIA-capacitive transimpedance amplifier)(şəkil 3c). Dizayn konsepsiyaları göstəricilər və struktur mürəkkəbliyini əhatə edir; hər bir dizayner texniki tələb və proses cədvəlindən asılı olaraq fərqli bir dizayna üstünlük verə bilər [4,9].



Şəkil 3. Oxuma dövrəsi konfigurasiyasının strukturları: (a) birbaşa injeksiya (DI), (b) keçid modulyasiya girişi (GMI) və (c) tutum transimpedans gücləndiricisi (CTIA)

CTIA konfigurasiyası ən populyar IRFPA (long-wave infrared) MB konfigurasiyası hesab olunur. Şəkil 4c-də göstərilən CTIA konfigurasiyasında, MBM-in inteqrasiya olunduğu oxuma dövrəsində əməliyyat gücləndirici də istifadə olunmuşdur, bu isə sxemin həssaslığını xeyli artırmış olur. Burada C1 kondensatorlu inteqrator, əməliyyat gücləndiricisinin əks əlaqə dövrəsində qoşulmuşdur. Burada M1 sıfırlama açarı, M2 isə çıxışı idarə edən açardır. CTIA, aşağı giriş müqavimətinə, yüksək injeksiya səmərəliliyinə, sabit yanlılıq, beləliklə əla xətti, idarəolunan cərəyan qazancı, yüksək həssaslığa malikdir. Sxemlərdə, M1-M4 açarları, uyğun funksiyalarını yerinə yetirmək üçün nəzərdə tutulub [4].

Soyudulmayan mikro bolometrlərin hazırlanma texnologiyaları.

Amorf-silisiyum əsaslı mikro bolometr texnologiyası. LETİ LİR (The Laboratory of Infrared Electronics and Information Technology) - texnologiyası bir neçə ildir ki, amorf-silisiyum əsaslı soyudulmayan mikro bolometrik matrislərin inkişafında istifadə edilir. LETİ

LİR texnologiyası böyük doldurma əmsalı, yüksək istilik izolyasiyası, kiçik termal zaman sabiti təmin edir, bu da detektorun həssaslığının əldə olunması ilə nəticələnir [10].

Mikro körpünün tətbiqi. Mikro körpülər, tam oxuma dövrələrinin alt təbəqələrinə monolit şəkildə quraşdırılmışdır. İlk addım olaraq, ROİC-in üstünə nazik bir əksetdirici alüminium təbəqəsi çökdürülür. Daha sonra 2.5 mkm qalınlığında əlavə üst qat olaraq polimid təbəqəsi çəkilir və bərkidilir. 0.1 mkm qalınlığında çox qatlı amorf silisium polimid qatın üzərinə əlavə edilir və 8 nm qalınlıqlı reaktiv PVD (fiziki buxar çökmə) titan nitrid ilə örtülür [10].

İnfraqırmızı şüalanmanın udulması titan nitrid qatının müqavimətinin idarə edilməsi ilə təmin edilir. Mikrokörpü elektrodları ilə reflektor arasında $\frac{1}{4}$ dalğa uzunluğu effekti 8-14 mkm dalğa diapazonunda maksimum təsir göstərir. Amorf-silisium parazit müdaxilələrin effektləri xaricində, optik udulmaya demək olar ki, təsir göstərmir. Bu effektlər, silisiumun yüksək qırılma indeksinə görə spektral reaksiyanı düzəltməyə meyillidir. Bu səbəbdən, daha incə təbəqələrə üstünlük verilir (0.1mkm və daha az). Bu tənzimləmələr nəticəsində, 1.5 mkm qalınlığında ümumi quruluş qaydaları ilə birlikdə, doldurma faktoru təxmini 60%-ə yaxın olan spektral udulma zolağı əldə edilir.

Oxuma dövrəsi və simulyasiya. Bu oxuma dövrəsi 256x64 olan fokus müstəvisindən ibarətdir. Hər bir Rd-detektor Md-tranzistora birbaşa cərəyan injeksiyası ilə birləşir. Həm fasiləsiz, həm də impulsu təchizatı rejimi mümkündür. Davamlı rejimdə, integrasiya zamanı SR açarı “açıq” olur. Sətir multipleksoru ilə xəttə müraciət edilmədikdə, bolometrlər hələ açıq olan SB açarları tərəfindən dəyişdirilir. Bolometrdən gələn faydalı cərəyan daha sonra sütunun altındakı bir tutum transimpedans gücləndiricisinə (CTIA) ötürülür [9,10].

Bolometr, bir termal RC filtri kimi fəaliyyət göstərir və onun gərginlik polarizasiyasına əsaslanan dövrələrini təsvir edən (4) tənliyi ilə idarə olunur [9,10].

$$\frac{\theta}{R_h} + C_{th} \frac{d\theta}{dt} = P_{joule} + P_{ir} \quad (4)$$

Burada θ -temperatur fərqi, R_h və C_{th} bolometr mikrokörpüsü və oxuma dövrəsi arasındakı istilik müqaviməti və istilik tutumudur. P_{joule} -səpələnən elektrik gücü və P_{ir} -udulan infraqırmızı gücdür.

MBM-in energetik hesabı. Son illər MBM-lərin yaradılması və inkişaf etdirilməsi istiqamətində intensiv işlər aparılır. Bu istiqamətdə ABŞ, Almaniya, Fransa və Yaponiya aparıcı yer tutur. İşlədiyi spektral diapazonuna, pikselin sayına, ölçüsünə, işləmə temperaturuna, istilik həssaslığına görə MBM-lərin bir çox növləri var. MBM-lərin soyudulmayan nümunələrinin xarakteristikalarının ilkin təhlili göstərib ki, soyudulmayan fotoqəbuledici əsasında, Yer 8-14 mkm diapazonlu İQ şüalanmasına görə onun pelenqasiyasını təmin edən optik-elektron sistemin qurulması mümkündür. Bunu əsaslandırmaq üçün aşağıda verilmiş ardıcılıqla energetik hesabat aparılmış və bu tələblərə uyğun olan, sənaye istehsalı olan soyudulmayan MBM markası seçilmişdir [9-11].

Yerin şüalanma gücünü $P = \sigma T^4 S$ düsturu ilə tapa bilərik. $S_y = 4\pi R_y^2$ – Yer səthinin sahəsinin düsturudur. $R_y = 6378 \cdot 10^3$ m – Yer radiusu. Bolsman sabiti olan $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Vt/(m² K⁴) -ə bərabərdir. Buradan alırıq ki,

$$P_{Yer} = 4\pi\sigma T^4 (6,378 \cdot 10^6)^2 = 5,1 \cdot 10^{14} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \pi T^4 \approx 2,887 \cdot 10^7 T^4$$

Yerin orta temperaturunun 15°C (15+273 = 288K) qəbul olduğunu nəzərə alsaq,

$$P_{Yer} = 2,887 \cdot 10^7 T^4 = 2,887 \cdot 10^7 \cdot 288^4 = 2,887 \cdot 10^7 \cdot 6,88 \cdot 10^9 \approx 2,0 \cdot 10^{17} \text{ Vt alırıq.}$$

Vin qanununa görə Yer İQ şüalanmasının maksimumunun dalğa uzunluğu

$\lambda_{\max} = \frac{2897}{T}$ (mkm-lə), düsturu ilə hesablanır. Yer üçün $T=288K$ olduğundan, $\lambda_{\max} = 10$ mkm olur.

Bu gücün $1.67 \cdot 10^{17}$ hissəsi atmosferdən Yerə qayıdır, atmosferin istilik balansının saxlanmasına sərf olunur, digər hissəsi fəzaya ötürülür. Atmosferin şəffafıq pəncərəsinin enini (8-14mkm), Yerin İQ şüalanmasının əsas gücünün λ_{\max} – da cəmləndiyini və atmosferin temperatur balansını nəzərə aldıqda, kosmik fəza istiqamətində, Yerin İQ şüalanmasının orta gücü $4 - 5 \cdot 10^3$ Vt həddində və daha çox olur.

Radiatora tənliyi əsasında fotoqəbulediciyə düşən İQ şüalanmanın gücünü təyin edirik.

Bunun üçün ilk növbədə D məsafəsini nəzərə almaqla KA-nın yaxınlığında, yəni fotoqəbulediciyə düşən güc selinin sıxlığını təyin edirik. MBM-in tətbiq olunması nəzərdə tutulan kiçik peykin orbitinin hündürlüyünü hesabat üçün $D = 350-700$ km qəbul etsək, maksimal 700km hündürlük üçün güc selinin sıxlığının $P_{\text{güc seli sıxl.}} = \frac{P_{\text{Yer}}}{4\pi D^2}$ düsturu əsasında, $P_{\text{yer}} = 4,7 \cdot 10^3$ Vt, $D = 700$ km = $700 \cdot 10^3$ m olmaqla,

$$P_{\text{güc seli sıxl.}} = \frac{4,7 \cdot 10^3}{4 \cdot 3,14 \cdot (7 \cdot 10^5)^2} = \frac{4,7 \cdot 10^3}{53 \cdot 10^{11}} = 7,6 \cdot 10^{-10} \text{ Vt/m}^2 \text{ alırıq}$$

Xarakteristikaları təhlil olunan soyudulmayan MBM-lər içərisində, Fransa istehsalı olan LİR tipli fotoqəbuledicinin bir pikselinin ölçüləri 47mkm x 47mkm olduğundan, pikselin sahəsi

$$S_{\text{q.e.i.q.piks.}} = 47 \times 47 \approx 2,21 \cdot 10^3 \text{ mkm}^2 \approx 2,21 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ olur}$$

Bu sahəni nəzərə almaqla bir pikselə (elementə) düşən gücü aşağıdakı kimi tapırıq:

$$P_{\text{q.e.i.q.}} = P_{\text{güc seli sıxl.}} \cdot S_{\text{q.e.i.q.piks.}} = 7,6 \cdot 10^{-10} \cdot 2,21 \cdot 10^{-9} = 1,68 \cdot 10^{-18}$$

Seçilən MBM-də olan piksellərin ümumi sayı - 256×64 (320×240) = 16384 olduğundan, fotoqəbuledici matrisə (MBM-ə) düşən Yerin İQ şüalanmasının gücü

$$P_{\text{qəb.MBM}} = 1,68 \cdot 10^{-18} \cdot 16384 \approx 2,76 \cdot 10^{-14} \text{ Vt olacaq}$$

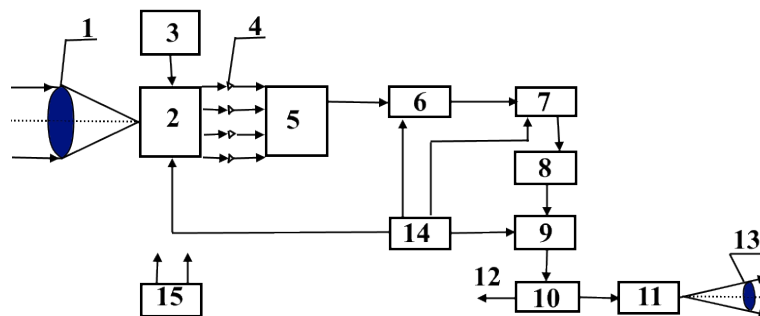
Seçilmiş MBM-in (Fransa, LİR) həssaslığına uyğun olan minimal istilik şüalanmasının $T_{\text{q.e.i.q.}} = 50$ mK = $5 \cdot 10^{-2}$ K və $S_{\text{MBM}} = 2,21 \cdot 10^{-9} \cdot 16384 = 3,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ olduğunu nəzərə alsaq, MBM-in qeydə ala biləcəyi minimal gücü aşağıdakı kimi tapa bilərik:

$$P_{\text{qəb.MBM min.}} = \sigma T^4 S = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (5 \cdot 10^{-2})^4 \cdot 3,62 \cdot 10^{-5} = 1,27 \cdot 10^{-17} \text{ Vt}$$

Göründüyü kimi seçilmiş bolometrik elementin həssaslığı fotoqəbulediciyə düşən İQ istilik şüalanmasının gücündən təxminən 10^3 dəfə çoxdur. Bu da o deməkdir ki, fotoqəbuledici Yerin istilik şüalanmasını çox asanlıqla və seçilmiş skanerləmə diapazonunda qeydə ala biləcək.

Aparılan hesabat və tədqiqatlar müasir çoxelementli soyudulmayan MBM-lər tətbiq etməklə, kiçik (mikro və nanopeyklər) üçün kompakt və avtonom Yerə optoelektron səmtləşdirmə sisteminin yaradılmasının mümkün olduğunu göstərir [2,3,11].

Hesabatdan sonra müəyyən olunmuşdur ki, müasir MBM-lər istifadə etməklə, teplopelenqasiya prinsipi əsasında qurulan və aşağı orbitlərdə fəaliyyət göstərən kiçik peyklərdə tətbiq oluna biləcək Yerə optoelektron səmtləşdirmə sistemini yaratmaq olar. Yerə optoelektron səmtləşdirmə sisteminin quruluş sxemini şəkil 5-də göstərilmiş kimi təsvir etmək olar [2,3,11].



Şəkil 5. Təploelənqəsiya prinsipi əsasında qurulmuş Yerə optoelektron səmtləşdirmə sisteminin quruluş sxemi

Təklif olunan sistemin tərkibinə: 1-ci İQ obyekt (Yer kürəsi), 2-ci İQ fotoqəbuledicinin matrisi, 3-cü soyuducu blok (varsa) və ya MBM-in termostabilizatoru, 4-cü ilkin gücləndiricilər, 5-ci multipleksor, 6-cı qeyri-bərabər siqnalın analoq tənzimləyicisi, 7-ci analoq-rəqəmsal çevirici, 8-ci qeyri-bərabər siqnalın rəqəmsal tənzimləyicisi, 9-cu matrisin işləməyən fotoqəbuledici elementinin korreksiya edilməsi bloku, 10-cu mikroprosessor vasitəsilə videosiqnalın təsvirinin formalaşması bloku, 11-ci fərdi kompüterə qoşulmaq üçün rəqəmsal çıxış, 12-ci TV-monitor, 13-cü okulyar sistem, 14-cü dövrə generatoru, 15-ci əsas elektrik qidalanma bloku daxildir [3,11].

Nəticə. Aşağı orbitli kosmik aparatlarda, xüsusən kiçik peyklərdə daha yüksək dəqiqlik və avtonomluq təmin edə bilən kompakt optik-elektron səmtləşdirmə sistemlərinin yaradılması imkanları tədqiq edilmiş və müəyyən olunmuşdur ki, ənənəvi astronomik səmtləşdirmə sistemləri ilə müqayisədə mikro bolometrik matrislər əsasında qurulması mümkün olan sistem daha yüksək dəqiqliyə, avtonomluğa, kiçik ölçülərə və əlverişli konstruksiyaya malik ola bilər. Təhlillər və hesablar zamanı müəyyən olunmuşdur ki, hal-hazırda bir çox ölkələrin aparıcı şirkətləri tərəfindən soyudulmayan mikro bolometrik fotoqəbuledici matrislər buraxılır və bu matrisləri təploelənqəsiya məqsədləri üçün çox asanlıqla tətbiq etmək olar. 700 km hündürlükdə, MBM-ə düşən Yer in İQ optik diapazonda yaratdığı istilik şüalanmasının gücünün hesabından sonra müəyyən olunmuşdur ki, seçilmiş bolometrik elementin həssaslığı fotoqəbulediciyə düşən İQ diapazonlu istilik şüalanmasının gücündən təxminən 10^3 dəfə çoxdur. Bu da o deməkdir ki, fotoqəbuledici Yer in istilik şüalanmasını çox asanlıqla və seçilmiş diapazonunda qeyd ala biləcək. Aparılan hesabat və tədqiqatlar müasir çoxelementli soyudulmayan MBM-lər tətbiq etməklə, kiçik (mikro- və nanopeyklər) üçün kompakt və avtonom Yerə optoelektron səmtləşdirmə sisteminin yaradılmasının mümkün olduğunu göstərir. Bu öz növbəsində, onu göstərir ki, müasir MBM-lər istifadə etməklə, təploelənqəsiya prinsipi əsasında qurulan optik-elektron səmtləşdirmə sistemləri kiçik peyklərdə tətbiq oluna bilər [2,11],

Aparılan tədqiqatın əsas nəticəsi kimi qeyd etmək olar ki, soyudulmayan MBM-lər kosmik aparatlarda, həmçinin nanopeyklərdə tətbiq olunsa, geniş hündürlük diapazonları (300-3000km) üçün kompakt, dəqiq və avtonom Yerə optoelektron səmtləşdirmə sistemini yaratmaq olar.

ƏDƏBİYYAT

1. Fedoseev V.I, Kolosov M.P. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов: учебное пособие. - М.: Logos, 2007.
2. Nanosatellites applied to optical Earth observation: a review/Rev. Ambient. Água vol.15 no.3 Taubaté 2020 Epub June 19, 2020.
3. A.M. Paşayev, A.R. Həsənov, İ.Ə. İsgəndərov, O.M. Sadıqov. Optoelektron cihazlar və qurğular. / Ali mək. tex. ixt. üç. dərslik. Bakı, MAA, 2022, 252s.

4. Low-Cost Microbolometer Type Infrared Detectors Le Yu, Yaozu Guo, Haoyu Zhu, Mingcheng Luo, Ping Han and Xiaoli Ji * School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 31 July 2020; Accepted: 20 August 2020; Published: 24 August 2020.
5. İsgəndərov İ.Ə., Bayramova G.İ. Mikrobolometrik fotoqəbuledici matrislərin nanopeyklərdə tətbiqi prespektivlərinin tədqiqi//“Tələbə və magistrantların 42-ci elmi konfransı” Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, 2020, s. 19-21.
6. Опытнo-технологический малый космический аппарат «АИСТ-2Д». – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2017, 31-35 с.
7. Bhan R.K., Dhar V. Recent infrared detector technologies, applications, trends and development of HgCdTe based cooled infrared focal plane arrays and their characterization. Opto Electron. Rev. 2019, 27, 174–193.
8. Rogalski A. Infrared Detectors; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2010.
9. (35) Simulation and Analysis of Uncooled Microbolometer for Serial Readout Architecture /Musaed Alhussein and Syed Irtaza Haider/; Accepted 11 July 2016.
10. Amorphous silicon based uncooled microbolometer IRFPA Corinne VEDEL, Jean-Luc MARTIN, Jean-Louis OUVRIER BUFFET, Jean-Luc TISSOT, Michel VILAIN, 2015.
11. İsgəndərov İ.Ə., Bayramova G.İ. Nanopeyk üçün optoelektron səmtləşdirmə və stabilləşdirmə sisteminin struktur modeli // “Fevral məruzələri-2020. Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı” V Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransının materialları-”Azərbaycan Hava Yolları” QSC-nin Poliqrafiya Mərkəzi. 2020, s. 70-73.

REFERENCES

1. Fedoseev V.I, Kolosov M.P. Optico-elektronniye pribori orientasii i navigasii kosmiceskikh apparatov: uchebn. posobie — M.: Logos, 2007.
2. Nanosatellites applied to optical Earth observation: a review/Rev. Ambient. Água vol.15 no.3 Taubaté 2020 Epub June 19, 2020.
3. A.M. Pashayev, A.R. Hasanov, İ.A. İsgandarov, O.M. Sadıgov. Optoelectron cihazlar ve gurgular. / Ali mekt. muvafiq tekh. ikht. uç. derslik. Bakı, MAA, 2022, 252s.
4. Low-Cost Microbolometer Type Infrared Detectors Le Yu, Yaozu Guo, Haoyu Zhu, Mingcheng Luo, Ping Han and Xiaoli Ji * School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 31 July 2020; Accepted: 20 August 2020; Published: 24 August 2020.
5. İsgandarov İ.A., Bayramova G.İ. Mikrobolometrik fotogebulediji matrislərin nanopeyklərdə tətbiqi prespektivlərinin tədqiqi // “Telebe ve magistrantların 42-ji elmi konfransı” Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, 2020, s. 19-21.
6. Opitno-tekhnologicheskiy maliy kosmicheskiy aparat «AIST-2D». – Samara: Izd-vo SamNT RAN, 2017, 31-35 s.
7. Bhan R.K., Dhar V. Rejent infrared detector technologies, applications, trends and development of HgCdTe based cooled infrared focal plane arrays and their characterization. Opto Electron. Rev. 2019, 27, 174–193.
8. Rogalski A. Infrared Detectors; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2010.
9. (35) Simulation and Analysis of Uncooled Microbolometer for Serial Readout Architecture /Musaed Alhussein and Syed Irtaza Haider/; Accepted 11 July 2016.
10. Amorphous silicon based uncooled microbolometer IRFPA Corinne VEDEL, Jean-Luc MARTIN, Jean-Louis OUVRIER BUFFET, Jean-Luc TISSOT, Michel VILAIN, 2015.
11. İsgandarov İ.A., Bayramova G.İ. Nanopeyk uchun optoelektron semtleshdirme ve stabilleshdirme sisteminin struktur modeli // “Fevral meruzeləri-2020: Aviakosmik

meselelerin hellinde genjlerin yaradiji potensiali” V Beynelkhalg elmi-practiki genjler konfransının materialları-”Azerbayjan Hava Yolları” GSJ-nin Poligrafiya Merkezi. 2020, s. 70-73.

MODEL OF AN OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEM FOR ORIENTATION SMALL SATELLITES TO THE EARTH AND ENERGY CALCULATION OF ITS PHOTO RECEIVER

Isgandarov I.A.

National Aviation Academy

The presented article analyzes the functionality of optical-electronic orientation and stabilization systems, examines the schemes for using these systems on satellites, and also develops a model of an optical-electronic system that ensures the orientation of small satellites to the Earth. The functional limitations inherent in existing orientation and stabilization systems are analyzed, and various characteristics of optical-electronic orientation, stabilization and navigation devices used in spacecraft (SC) are considered. At the same time, it was shown that the complexity and design features of astronomical positioning systems significantly complicate their use on small satellites. As a result of studies and reports, it has been established that the use of microbolometer matrices (MBMs) developed in recent years and photodetectors created on their basis that do not require cooling make it possible to develop a new type of optical-electronic systems. As a result, of the research, a structural model of a compact, autonomous and high-precision optical-electronic alignment system has been proposed, which can be applied to small satellites based on an uncooled MBM photodetector that provides orientation to the Earth.

Keywords: *spacecraft, satellite, orientation system, astronomical, optical-electronic system, micro bolometric matrix, photodetector, structural model.*

Rəyçi: *f.-r.f.d. Musayev A.Ə.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
İsgəndərov İslam Əsəd oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	“Aerokosmik cihazlar” kafedrasının müdiri, f.-r.e.n., prof.	iisgandarov@naa/edu/az (+994) 77 717 32 77

UOT 629.73

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.41.

AEROPORT ƏRAZISİNDƏ YERÜSTÜ NƏQLİYYAT VASİTƏLƏRİNİN HƏRƏKƏT VAXTININ TƏHLİLİ

¹Həsənov A.R., ¹Ağayev E.A., ¹Əhmədov R.Ə., ²Allahverdiyev R.Ə.

¹Milli Aviasiya Akademiyası, ²Fizika institutu

Məqalədə aeroport ərazisində yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkət vaxtının optimallaşdırılması üçün istifadə edilən üsullar təhlil edilmiş və onların çatışmazlıqları müəyyən edilmişdir. Yerüstü nəqliyyat vasitələrinin saylarından və hərəkət sürətlərindən asılı olaraq riyazi ifadələrlə hərəkət vaxtları hesablanmışdır. Tədqiqatımızın əsasında yerüstü nəqliyyat vasitələrinin sayı və sürəti kimi müxtəlif parametrlərə uyğunlaşdırılmış hərəkət vaxtlarının hesablanması üçün riyazi ifadələrin tətbiqi dayanır. Bu metodoloji yanaşma aerodromda yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkət dinamikasının hərtərəfli qiymətləndirilməsini təmin edir. Hesablamaların nəticəsi olaraq yerüstü nəqliyyat vasitələrinin nizamlanmış hərəkətləri üçün tələb olunan ümumi vaxt müəyyən edilir.

***Açar sözlər:** nəqliyyat, hava limanı, hərəkət, optimallaşma, vaxt, təyyarə, hərəkət sürəti, məsafə.*

Giriş. Hava limanında yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkət vaxtının optimallaşdırılması sərnişin, yük, yanacaq daşıyan və digər xidməti nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinin təkmilləşdirilməsi (sadələşdirilməsi) prosesini əhatə edir [1,2]. Optimallaşdırma bir neçə səbəbə görə vacibdir:

-vaxt effektivliyi. Yerüstü nəqliyyat vasitələrinin sürətli və lazımsız gecikmələr olmadan hərəkətini təmin etmək, hava limanı əməliyyatlarının ümumi səmərəliliyinə təsir edir. Bu, müxtəlif fəaliyyətlər üçün vaxtın kritik olduğu hava limanlarında xüsusilə vacibdir;

-sıxlığın azalması. Səmərəli hərəkət hava gəmisinin hərəkət, xidmət yollarında və yerüstü nəqliyyat vasitələrinin işlədiyi digər ərazilərdə sıxlığı minimuma endirməyə kömək edir. Bu, öz növbəsində, gecikmə ehtimalını azaldır və hava limanı daxilində nəqliyyatın ümumi hərəkətini yaxşılaşdırır [3];

-təhlükəsizlik. Yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkətlərinin optimallaşdırılması qəza və toqquşma riskini azaltmaqla təhlükəsizliyi artırır. Yaxşı əlaqələndirilmiş hərəkətlər və təyin edilmiş marşrutlara riayət etmək daha təhlükəsiz iş mühitinə kömək edir [4];

-resursların idarə edilməsi. Yerüstü nəqliyyat vasitələrinin səmərəli hərəkəti işçi qüvvəsi, yanacaq və avadanlıq daxil olmaqla resurslardan daha yaxşı istifadə etməyə imkan verir. Bu, xərclərə qənaət etməyə və hava limanının daha davamlı işləməsinə səbəb olur [5].

İşin məqsədi. Aeroport ərazisində yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinin optimallaşdırılması üçün tətbiq olunan üsulların araşdırılması və hərəkət vaxtının təhlil edilməsidir.

Problemin vəziyyəti. Hal-hazırda hava limanlarında nəqliyyat vasitələrinin hərəkət vaxtını optimallaşdırmaq üçün əsasən aşağıdakı üsullardan istifadə edilir:

1. Ağıllı idarəetmə sistemləri. Qabaqcıl nəqliyyat idarəetmə sistemləri yerüstü nəqliyyat vasitələrinin axınıni optimallaşdırmaq üçün real vaxt məlumatlarından, o cümlədən sensorlar və kameralardan alınan məlumatlardan istifadə edir. Bu sistemlər hərəkət siqnallarını dinamik şəkildə tənzimləyə və tıxacları azaltmaq üçün optimal marşrutları təmin edə bilər.

Bu üsulun çatışmayan cəhətləri aşağıdakılardır:

-ilkin xərclər. Ağıllı idarəetmə sisteminin tətbiqi əhəmiyyətli ilkin xərcləri tələb edə bilər. Bura sensorların, kameraların quraşdırılması, kommunikasiya infrastrukturu və məlumatların təhlili üçün proqram təminatının hazırlanması daxildir;

-baxım xərcləri. Sistemin düzgün işləməsini təmin etmək üçün davamlı texniki xidmət tələb olunur. Bura aparat komponentlərinin saxlanması, proqram təminatının yenilənməsi və zamanla yarana biləcək hər hansı problemlərin həlli daxildir;

-inteqrasiya problemləri. Mövcud infrastruktur və sistemlərlə inteqrasiyası mürəkkəb ola bilər. İnteqrasiya prosesində gecikmələrə və əlavə xərclərə səbəb olan uyğunluq problemləri yarana bilər;

-etibarlılıq və dayanma müddəti. Texnologiyadan asılılıq o deməkdir ki, sistemdə nasazlıq olarsa, bu, əhəmiyyətli nasazlıqlara və dayanma müddətinə səbəb ola bilər. Sistemin etibarlılığının təmin edilməsi və ehtiyat mexanizmlərin olması vacibdir;

-kiberhücumlara qarşı zəiflik. Ağıllı sistemlər kiber təhlükələrə həssasdır. Hakerlər sistemə potensial təhlükə yarada bilər, bu da təhlükəsizlik risklərinə səbəb ola bilər.

2. GPS və naviqasiya sistemləri. GPS texnologiyası, adətən yerüstü nəqliyyat vasitələrini optimal marşrutlar üzrə izləmək və istiqamətləndirmək üçün istifadə olunur. Naviqasiya sistemləri real vaxt rejimində yol şəraiti haqqında məlumat verir və sürücülərə ən səmərəli yolları seçməyə kömək edir.

Bu üsulun çatışmayan cəhətləri aşağıdakılardır:

-dəqiqlik. GPS-in dəqiqliyi atmosfer şəraiti, siqnal maneləri (məsələn, hündür binalar, tunellər) və görünən peyklərin sayı kimi amillərdən asılı olaraq dəyişə bilər. Bəzi hallarda dəqiqlik azala bilər;

-kənar müdaxilə. GPS siqnallarına elektron cihazların, radiotezlik müdaxiləsi təsir edə bilər. Bu müdaxilə GPS naviqasiyasının dəqiqliyini və etibarlılığını poza bilər;

-daxili məhdudiyyətlər. GPS siqnalları, adətən qapalı yerlərdə və ya səmanın məhdud göründüyü ərazilərdə etibarlı deyil. Bu məhdudiyyət hava limanları, ticarət mərkəzləri və parkinq strukturları kimi qapalı mühitlərdə naviqasiya və izləməyə təsir göstərə bilər;

-xətalər. GPS siqnalları binalar kimi səthlərdən sıçrayaraq qəbuledicinin yanlış mövqe hesablamasına səbəb olduqda xətalər baş verir. Bu, xüsusilə hündür strukturları olan şəhər mühitlərində qeyri-dəqiqliklərə səbəb ola bilər;

-məhdud hündürlük məlumatı. Ənənəvi GPS sistemləri üfüqi yerləşdirmə üçün nəzərdə tutulmuşdur və yüksəklik haqqında dəqiq məlumat verməyə bilər. Bu məhdudiyyət aviasiya kimi dəqiq hündürlük məlumatları tələb edən tətbiqlərə təsir göstərə bilər;

-təhlükəsizlik. GPS siqnalları radioboğma və radioaldatmaya həssasdır, bu da GPS qəbuledicilərinin qəsdən yanlış istiqamətləndirilməsinə səbəb ola bilər. Bu, hərbi əməliyyatlar kimi dəqiq yerləşdirmənin vacib olduğu tətbiqlərdə təhlükəsizlik riskləri yaradır.

Rabitə sistemləri. Təkmilləşdirilmiş kommunikasiya sistemləri yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkətini əlaqələndirməyə kömək edir. Bu, toqquşmaların qarşısını ala və hərəkət axınını optimallaşdırma bilər.

Bu üsulun çatışmayan cəhətləri aşağıdakılardır:

-təhlükəsizlik riskləri. Rabitə sistemləri icazəsiz giriş, hakerlik və ya müdaxiləyə qarşı həssas ola bilər. Həssas məlumatları qorumaq üçün güclü kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin təmin edilməsi vacibdir;

-məlumat itkisi. Texniki nasazlıqlar, şəbəkə nasazlıqları və ya avadanlıqların nasazlığı ötürülmə zamanı məlumatların itirilməsinə və ya korlanmasına səbəb ola bilər. Etibarlı ehtiyat sistemlərinin və səhvlərin yoxlanılması mexanizmlərinin tətbiqi bu riskləri azaltmaq üçün vacibdir;

-zolaq genişliyi məhdudiyətləri. Məhdud zolaq genişliyi məlumatların uzun müddət ərzində ötürülməsi ilə nəticələnə bilər ki, bu da ünsiyyətdə gecikmələrə səbəb olur. Real vaxt rejimində ünsiyyətin kritik olduğu vəziyyətlərdə zolaq genişliyi məhdudiyətləri sistemin effektivliyinə mane ola bilər;

-infrastrukturdan asılılıq. Rabitə sistemləri şəbəkələr, serverlər və kabellər kimi infrastrukturdan çox asılıdır. Təbii fəlakətlər, qəzalar və ya texniki nasazlıqlar nəticəsində yaranan fasilələr rabitənin kəsilməsi ilə nəticələnə bilər;

-qiymət. Mürəkkəb kommunikasiya sistemlərinin tətbiqi və saxlanması əhəmiyyətli ilkin və davamlı xərclər tələb edə bilər. Bura aparat, proqram təminatı lisenziyalarının alınması və sistemə texniki qulluq və təkmilləşdirmə ilə bağlı xərclər daxil ola bilər;

-uyğunluq problemləri. Müxtəlif rabitə sistemləri və cihazları arasında uyğunluğu təmin etmək çətin ola bilər;

-dil maneələri. Qlobal və ya multikultural şəraitdə dil və ünsiyyət tərzindəki fərqlər problemlər yarada bilər. Səhv şərhlər baş verə bilər, bu da anlaşılmazlıqlara və ya münaqişələrə səbəb ola bilər;

-məlumatın həddindən artıq yüklənməsi potensialı. Daimi kommunikasiya axınları olan mühitlərdə məlumatın həddindən artıq yüklənməsi riski var. Həddindən artıq məlumatın çeşidlənməsi vaxt apara bilər və buraxılmış kritik mesajlara səbəb ola bilər.

Hal-hazırda istifadə edilən üsulların çatışmazlıqları aeroport ərazisində yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinə nəzarət üçün yeni üsulların tətbiqini zəruri edir. Aeroport ərazisində yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinə nəzarət etmə üçün akustooptik ləngimə xətti yüksək potensiala malikdir [6].

Hava limanı ərazisində yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkət vaxtlarının hesablanması. Aerodromda yerüstü nəqliyyat vasitəsinin optimal hərəkəti üçün riyazi ifadənin müəyyən edilməsi məsafə, sürət, sıxlıq və təhlükəsizlik kimi müxtəlif amillərin nəzərə alınmasını nəzərdə tutur. Xüsusi riyazi model hərəkətin mürəkkəbliyi səviyyəsindən asılı olaraq dəyişə bilər. Aerodromda yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkətini optimallaşdırmaq üçün riyazi ifadəni tərtib edək. Bu tərtib sadələşdirilmiş təsvirdir, aerodromun spesifik xüsusiyyətləri və məhdudiyətləri əsasında daha da dəqiqləşdirilə bilər.

i -ci nəqliyyatın koordinatının (x_i, y_i) , sürətinin v_i , i və j -ci nəqliyyat vasitələri arasındakı məsafənin d_{ij} , hərəkət vaxtının t_{ij} olduğunu nəzərə alsaq, ümumi hərəkət vaxtı üçün:

$$Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{ij} \quad (j \neq i) \quad (1)$$

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v_i} \quad (2)$$

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

Burada N -nəqliyyat vasitələrinin sayıdır.

Tərtib etdiyimiz riyazi ifadələrin əsasında hesablama aparaq. Aeroport ərazisində hərəkət edən nəqliyyat vasitələrinin sayı çoxdur. Hesablamaların sadəliyi üçün fərz edək ki, 4 nəqliyyat vasitəsindən istifadə edilir.

Verilir:

1-ci nəqliyyat vasitəsinin koordinatı $(x_1, y_1) = (0, 0)$, sürəti 20 m/san;

2-ci nəqliyyat vasitəsinin koordinatı $(x_2, y_2) = (100, 0)$, sürəti 15 m/san;

3-cü nəqliyyat vasitəsinin koordinatı $(x_2, y_2) = (50, 50)$, sürəti 25 m/san;

4-cü nəqliyyat vasitəsinin koordinatı $(x_2, y_2) = (150, 150)$, sürəti 22 m/san.

Hesablama: $i = 1$ olduqda,

$$j = 2, t_{12} = \frac{\sqrt{(0-100)^2 + (0-0)^2}}{20} = 5;$$

$$j = 3, t_{13} = \frac{\sqrt{(0-50)^2 + (0-50)^2}}{20} \approx 3.54;$$

$$j = 4, t_{14} = \frac{\sqrt{(0-150)^2 + (0-150)^2}}{20} \approx 10.6;$$

$i = 2$ olduqda,

$$j = 1, t_{21} = \frac{\sqrt{(100-0)^2 + (0-0)^2}}{15} \approx 6.67;$$

$$j = 3, t_{23} = \frac{\sqrt{(100-50)^2 + (0-50)^2}}{15} \approx 4.71;$$

$$j = 4, t_{24} = \frac{\sqrt{(100-150)^2 + (0-150)^2}}{15} \approx 10.5;$$

$i = 3$ olduqda,

$$j = 1, t_{31} = \frac{\sqrt{(150-0)^2 + (150-0)^2}}{25} \approx 2.83;$$

$$j = 2, t_{32} = \frac{\sqrt{(50-100)^2 + (50-0)^2}}{25} = 4;$$

$$j = 4, t_{34} = \frac{\sqrt{(50-150)^2 + (50-150)^2}}{25} \approx 5.65;$$

$i = 4$ olduqda,

$$j = 1, t_{41} = \frac{\sqrt{(150-0)^2 + (150-0)^2}}{22} \approx 9.64;$$

$$j = 2, t_{42} = \frac{\sqrt{(150-100)^2 + (150-0)^2}}{22} \approx 7.2;$$

$$j = 3, t_{43} = \frac{\sqrt{(150-50)^2 + (150-50)^2}}{22} \approx 6.43;$$

$$Z = t_{12} + t_{13} + t_{14} + t_{21} + t_{23} + t_{24} + t_{31} + t_{32} + t_{34} + t_{41} + t_{42} + t_{43} \approx 76.77$$

Nəticə. Aeroport ərazisində yerüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkətini optimallaşdırmaq kontekstində ümumi hərəkət vaxtı (Z) ilə bağlı apardığımız hesablamalara əsasən aşağıdakıları qeyd

edə bilərik:

-Z-in qiymətlərinə nəqliyyat vasitələrinin xüsusi koordinatları, sürətləri və aralarındakı məsafələr təsir edir. Bu dəyişənlərin tənzimlənməsi ümumi hərəkət vaxtına təsir edir;

-marşrutların, sürətlərin tənzimlənməsi və real vaxt məlumatlarına əsaslanan dinamik tənzimləmələrin nəzərə alınması hərəkət vaxtını azaldır;

-avtomobillərin sayı (N) artdıqca optimallaşdırma problemi daha da mürəkkəbləşir;

-hərəkət vaxtını (Z) minimuma endirmək üçün toqquşmadan yayınma, sürət məhdudiyətlərini nəzərə alaraq yerüstü nəqliyyat vasitələri üçün optimal marşrutlar müəyyən edilməlidir.

ƏDƏBİYYAT

1. Iyad Alomar et al. Optimization of ground vehicles movement on the aerodrome // Transportation Research Procedia 24 (2017) 58–64
2. Iyad Alomar, Jurijs Tolujevs, Aleksandrs Medvedevs. Simulation of Ground Vehicles Movement on the Aerodrome//Procedia Engineering 178 (2017) 340 – 348
3. Shvetsova S., Shvetsov A. Safety when Flying Unmanned Aerial Vehicles at Transport Infrastructure Facilities. Transportation Research Procedia 54, 397–403, 2021, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.086>
4. Wilke, S., Majumdar, A., Ochieng, W. Y. Airport surface operations: A holistic framework for operations modeling and risk management. Safety Science 63, 18–33, 2014, DOI: 10.1016/j.ssci.2013.10.015.
5. ICAO. Aerodrome design manual. 2005, p.156.
6. Gasnov A. R. Gasnov R. A., Akhmedov R. A. Analysis of Amplitude-Frequency Response of Acousto-Optic Delay Line// Radioelectronics and Communications Systems 64, pages 36–44 (2021), DOI: 10.3103/S0735272721010040

ANALYSIS OF THE MOVEMENT TIME OF GROUND VEHICLES IN THE AIRPORT AREA

Hasanov A.R., Aghayev E.A., Akhmadov R.A., Allahverdiyeva R.A.

National Aviation Academy, Institute of Physics

In the article, the methods employed to optimize the movement time of ground vehicles within the airport premises are analyzed and their disadvantages are identified. Movement times were calculated using mathematical expressions that depend on the number and speed of ground vehicles. The foundation of our research lies in the application of mathematical expressions to calculate travel times adapted to various parameters, such as the number and speed of ground vehicles. This methodological approach provides a comprehensive assessment of the dynamics of ground vehicle movement at the airfield. As a result of these calculations, the total time required for the routine movements of ground vehicles is determined.

Keywords: *transport, airport, movement, optimization, time, plane, movement speed, distance.*

Rəyçi: *t.f.d., dos. Babayev H.B.*

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Həsənov Afiq Rəşid oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Elmi işlər üzrə prorektor, t.e.d., professor	ahesenov@naa.edu.az
Ağayev Elgün Ağamehti oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Elmi-tədqiqat işləri üzrə analitik şöbə, elmi işçi, t.f.d.	eaghayev@naa.edu.az mob: (+994)55 491 16 64
Əhmədov Rövşən Ərrahman oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Radioelektronika kafedrasının müəllimi, t.f.d.	rovshanahmadov@naa.edu.az mob: (+994) 55 350 40 26
Allahverdizadə Rafik Əsədulla oğlu	Fizika institutu	Baş elmi işçi	mob: (+994) 507 42 10 75

UÇUŞLARIN YERÜSTÜ RABİTƏ VƏ RADİOTEXNİKİ TƏMİNATININ TEXNİKİ VƏZİYYƏTİNƏ İNTELLEKTUAL OPERATİV MONİTORİNQİN ÜSUL VƏ VASİTƏLƏRİ

Ramazanov K.Ş.

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə uçuşların yerüstü rabitə və radiotexniki təminatı vasitələrinin tədqiqi aparılmış, onlara intellektual nəzarət etmək üçün üsul və qurğunun işlənilib hazırlanması, nəzarət prosedurunun operativliyinin artırılması və real vaxt rejiminə gətirilməsi problemləri, o cümlədən neyron şəbəkə yanaşmasından istifadə edilməsi sahəsində mövcud işlər nəzərdən keçirilmişdir.

Operativ diaqnostikanın vacib tərkib hissəsi qismində intellektual sürətli nəzarət konsepsiyasının təqdim edilməsi, onun radiotexniki sistemlərdə həyata keçirilməsi üsulunun işlənilməsi, eyni zamanda, operativ nəzarət termini adı altında başa düşülən real zaman müddətində məhdud sayda nəzarət olunan parametrlər əsasında obyektin texniki vəziyyətinin müəyyən edilməsi məsələlərinə baxılmışdır.

Açar sözlər: uçuş, rabitə vasitəsi, radiotexniki təminat, operativ nəzarət, avtomatlaşdırılmış, texniki diaqnostika, texniki vəziyyət, bort, intellektual, monitoring.

Giriş. Aviasiya texnikasının hərtərəfli inkişafı ilə bağlı qiymətli və mürəkkəb avadanlığının effektiv istismarını təmin edən operativ diaqnostik məsələlərin həlli xüsusi aktualıq kəsb edir, bu isə öz növbəsində monitoring və diaqnostika prosesinin avtomatlaşdırılması probleminin müasir element bazası əsasında effektiv və dəqiq həllini tələb edir [1].

Müasir hava gəmilərinin uçuş sürətinin yüksəldilməsi və uçuşların radiotexniki təminatının (RTT) bort və yerüstü avadanlıqlarının iş şəraitinin dəyişmə dinamikası, həmçinin rabitə sistemində (RS) və RTT-yə həm təbii, həm də süni xarakterli müxtəlif təsadüfi və qəsdən sabitliyi pozan amillərin təsirinin yüksək ehtimalı, onun təyinatı üzrə dərhal istifadəyə hazır vəziyyətə gətirilməsi, dayanma vaxtının azaldılması, rabitə və avtomatlaşdırmaya texniki dəstəyin həyata keçirilmə operativliyinin artırılmasına qarşı daha sərt tələblər qoyur [2].

Texniki diaqnostika tədbirlərinin (xüsusən də, texniki vəziyyətin monitoringinin) operativliyini artıran yanaşmalardan biri, ekspertlərin fikrincə, konseptual aparatı olan texniki vəziyyətə operativ nəzarətin həyata keçirilməsidir ki, bu da daha perspektivli olmaqla qarşıya qoyulan məsələlərin daha effektiv və operativ həllini təmin edir. Bu tədqiqatların davamı olaraq aviasiya uçuşlarının RS və RTT-nin yerüstü vasitələrinin intellektual nəzarət üsulu və qurğusunun yaradılması təklif edilmişdir.

Bu məqalədə dağıtmadan nəzarət üsullarının və əldə olan uçuş vasitələrinin vasitəsi ilə alınan nəzarət olunan obyektin keyfiyyət parametrlərinin qiymətlərinin ərazi paylanma sahəsinin qurulması variantının təqdimatı ilə RS və RTT-nin diaqnostikası nümunəsindən istifadə edərək operativ nəzarət prosesi açıqlanır [3].

Bu halda operativ nəzarət prosesində texniki nəzarətin radiotexniki avadanlığının və RTT-nin növü radioelektron avadanlığının konkret tipi üçün müəyyən edilmiş buraxıla bilən intervallar daxilində nəzarət olunan parametrlərin təyin edilməsi və müqayisəsi ilə təyin edilir [4]. Məqalədə

operativ nəzarətin alt sistemində nəzarət olunan parametrlər üçün istismar həddləri ilə yanaşı, sistemin fəaliyyətinin daxili və xarici şəraitlərinə uyğunlaşdırılmış profilaktik həddlərində istifadə edilməsi təklif edilir. Bu halda, profilaktik həddlərin müəyyən edilməsi proseduru həm klassik yanaşmadan istifadə etməklə iki parametrlilik üçün, həm də operativ nəzarət proseduruna daxil olan istismar parametrlərinin sayından asılı olaraq çox parametrlilik üçün həyata keçirilir.

Rabitənin yerüstü vasitələrinə və uçuşların radiotexniki təminatına intellektual operativ nəzarətin təklif olunan üsulu real zaman müddətində uçuş tənzimlənməsi və yerüstü rabitə və radiotexniki avadanlıqların, məsələn, təyyarələrin enmə prosesinə girişin instrumental yanaşmasını təmin etmək üçün radiomayak sistemləri, həmçinin aerodrom radiostansiyaları, aviasiya radio rabitəsi və işıqlandırma avadanlıqları, kurs radiomayakı, qlissad radiomayakı, məsafəölçən, yaxın və uzaq marker radiomayakları; radionaviqasiya sistemləri, azimutal və məsafəölçən radiomayakları və s. yoxlanılması üçün istifadə edilə bilər.

İşin məqsədi aeroportda intellektual operativ nəzarət üsulunu tətbiq etməklə rabitənin yerüstü qurğularına və uçuşların radiotexniki təminatı avadanlığına nəzarətin real zaman müddətində həyata keçirilməsinin operativliyini artırmaq, daxil olan ölçmə informasiyasının emalı üçün müvafiq riyazi aparatın intellektual seçimini həyata keçirməklə mövcud texniki vəziyyətin avtomatlaşdırılmış ölçü kompleksi tərəfindən qiymətləndirilməsidir.

Diaqnostika və nəzarət sistemlərində intellektuallaşdırma

İşdə rabitə sistemi və radiotexniki təminat elementlərinin nəzarət funksiyalarının intellektuallaşdırılması sistemin strukturuna daxil olan biliklər bazasından (BB) istifadə etməklə həyata keçirilir. Bilik bazasının özü də paylanmış və əsasən göstərilən qurğularda yerləşdirilir:

-operativ nəzarət proseduruna cəlb olunan uçuş-qaldırma avadanlığının bort avtomatlaşdırılmış ölçü kompleksində;

-aeroportun əmr dispetçer məntəqəsindəki yerüstü avtomatlaşdırılmış ölçü kompleksində;

-RV və RTT-nin yerləşmə mövqelərindəki avtomatlaşdırılmış ölçmə komplekslərində.

Bilik bazasında (vəziyyətlər bazası) RV və RTT elementlərinin mümkün texniki vəziyyətləri, kritik vacib nəzarət edilən parametrlərin qəzadan öncə hədd qiymətləri, habelə müxtəlif qəza vəziyyətlərinin həlli üsulları (alqoritmləri) haqqında məlumatlar toplanır. Bunu nəzərə alaraq RV və RTT-nin iş qabiliyyətinin yoxlanılması elementlər üzrə aparılır və nasaz element aşkar edilərsə, verilmiş situasiya tapşırığı üzrə bilik bazasının alətlərindən istifadə olunur, məsələn, RTT-nin rezerv yarım dəstlərinə keçid edilir və ya real vaxt rejimində RTV-nin işləməsinin sonradan yoxlanılması ilə müxtəlif növ tənzimləmələr aparılır.

RV və RTT-nin texniki vəziyyətinin intellektual monitorinqi sisteminin fəaliyyətinin əsas xüsusiyyəti onların müxtəlif cinslilik dərəcəsi, habelə idarəetmə prosedurunun parametrləri, şüalanma diapazonları, qəbuletmə üsulları və ölçü informasiyasının emalı alətləri, nəzarətin "məhsuldarlığı" və s. üzrə həyata keçirilməsidir. Bu amillər nəzarət edilən RV və RTT-nin yerləşdiyi şəraitin çox meyarlı qiymətləndirilməsini nəzərə alaraq, bilik bazasından istifadə etməklə nəzarət çərçivəsində qiymətləndirmə üsulunun müəyyən edilməsində, konkret həll yolunun seçilməsində həlledici rol oynayır.

RV və RTT-ni nəzarət obyektinə kimi nəzərə alaraq qeyd etmək lazımdır ki, onlarda həm qəfil, həm də tədrici nasazlıqların səbəbləri daxili (istehsalat qüsurları, elementlərin daxilindəki deqradasiya prosesləri və s.) və xarici (iqlim iş şəraiti, xarici elektromaqnit təsirləri, personalın səhvləri və s.) sabitliyi pozaan amillərdir.

Adətən, güman edilir ki, destabilləşdirici faktorlar nəzarət obyektinə təsir edir və onlarda parametrlərin dəyişməsi ilə xarakterizə olunan nasazlıqların yaranmasına səbəb olur ki, bu da diaqnostika zamanı parametrik identifikasiya üsulları ilə qiymətləndirilir [5]. Texniki diaqnostikada bu istiqamət diaqnostikası aparılan nəzarət obyektinin modelinin bərpasına əsaslanır və bundan əlavə, əksər destabilləşdirici faktorlar yalnız nəzarət obyektinin parametrlərinin dəyişməsinə gətirmir, həmçinin natura sınaqlarının və hesablama təcrübələrinin nəticələrindən istifadə edərək onun riyazi modelini qurarkən qeyri-parametrik identifikasiya üsullarının tətbiqini şərtləndirir [6]. Bununla əlaqədar olaraq, ölçü alətlərinin xarakteristikası və diapazonunun genişləndirilməsi RV və RTT-nin digər parametrlərinə nəzarət etməyə və öyrənməyə imkan verir, hansı ki, məsafədən monitoring sistemlərində ölçmə siqnallarının emalının ənənəvi riyazi metodlardan istifadə etməklə tədqiqi mümkün deyil, ya da bu metodların tətbiqi ölçü informasiyasının qeydə alınması vasitələrinin imkanları ilə məhdudlaşır.

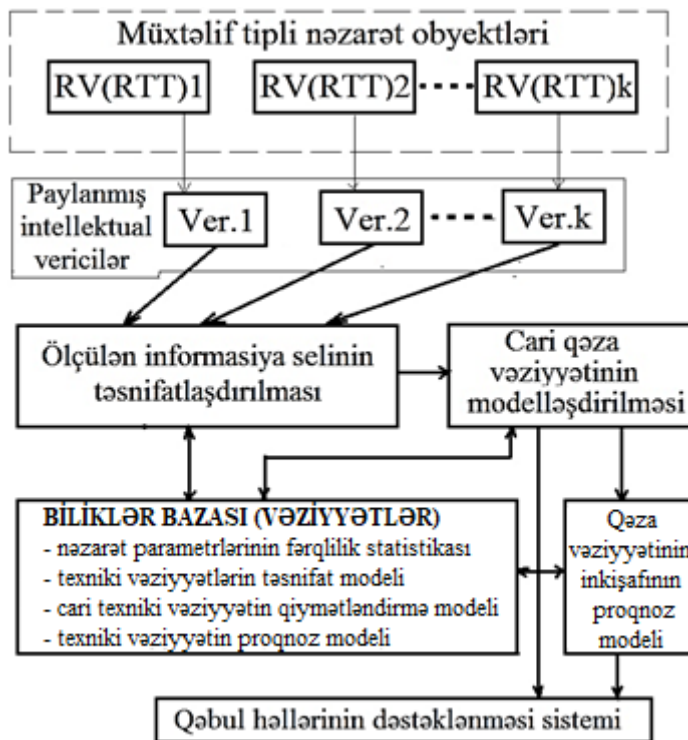
Beləliklə, intellektual operativ nəzarət üsulunu həyata keçirən modelləşdirilmiş sistemlərin məqsədi intellektual vericilərdən (radio və optik şüalanma diapazonunda ölçü informasiyasının qəbulediciləri) istifadə edərək avadanlıqda nasazlıqların aşkarlanması, tanınması və müəyyən edilməsi, qəza vəziyyətlərinin inkişafındakı təhlükəli tendensiyaların ayrılması və onların kataloqa operativ daxil edilməsi, nasazlıqların proqnozlaşdırılması, bortda və ya yerüstü avtomatlaşdırılmış ölçü kompleksində vəziyyətin hərtərəfli qiymətləndirilməsi əsasında effektiv təsiredici “təhlükəsizlik maneəsi”-ni aşmaq üçün tədbirlərin formalaşdırılması və qəbul edilməsidir. Bundan əlavə uçuşların RV və RTT-nin fəaliyyətinin avtomatik/avtomatlaşdırılmış rejimlərdə real zaman müddətində göstərilən funksionallığı təmin etmək aktual məsələdir [7]. Bu məsələnin həllinin keyfiyyət göstəricilərini təyin edən amillərdən biri də operativ nəzarətin proqram təminatının tamlığıdır və proqram təminatı nəzarət avadanlıqlarının iş rejimlərinin və alt rejimlərinin seçilməsini, məlumatların daxil edilməsini, işlənməsini, vizuallaşdırılmasını və sənədləşdirilməsini, intellektual vericilərin parametrlərinin kalibrəmə xüsusiyyətlərinin hazırlanmasını, standartlara uyğun olaraq çıxış parametrlərinin təyinatını təşkil etməklə operativ, xüsusi və tam nəzarətin təmin edilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Bilik bazasında yenilənmiş informasiyanın qiymətləndirilməsinin aktuallığı ölçülən informasiyanın (Öİ) özünün statusuna uyğun olaraq onun etibarlılığından, ardıcılığının tamlığından, dürüstlüyündən və s. asılı olaraq müəyyən edilməsidir. Öİ-nin statuslarının sayı intellektual nəzarət sisteminin aşağıdakı topluya uyğun olan cavab variantları ilə müəyyən edilir: təsdiqlənmiş status, normal status, səmtləşdirici status, ekstrapolyasiya edilmiş status və qeyri- dürüst status.

Beləliklə, RV və RTT-nin texniki vəziyyətinin siniflərinin təyini daim yenilənən aktual ölçülən informasiyasını nəzərə alınmaqla, ehtimal keçidləri əsasında həyata keçirilir.

RV və RTT-nin texniki vəziyyətinin intellektual nəzarət sisteminin blok sxemi, məlum olan sistemlərdən fərqli olaraq, nəzarət prosesində daxil olan ölçülən informasiyanın təsnifatlaşdırılması hesabına müxtəlif qeyri-cins nəzarət zonalarında müşahidə olunan nəzarət obyektlərinin texniki vəziyyətinin sinfini təyin etməyə imkan verir (şəkil 1).

RV və RTT-dən gələn ölçmə məlumatlarının paralel işlənməsi imkanı (neyron şəbəkələri ilə, Veyvlet çevrilmələrindən istifadə etməklə) nəzarət sisteminin iş sürətinin artmasına səbəb olur və axınların sayı müxtəlif xarakterli nəzarət zonalarının sayından asılıdır. Nəzarət sisteminin bir xüsusiyyəti, sistemin biliklər bazasında nəzarət obyektinin texniki vəziyyəti haqqında ölçmə məlumatlarının birbaşa yenilənməsi ilə müəyyən edilən qəza vəziyyətinin dəyişməsinə (tənzimlənməsinə) dərhal reaksiyadır.



Şəkil 1. Rabitə və radiotexniki avadanlıqların texniki vəziyyətinin intellektual monitorinqi prosesinin struktur sxemi

Avadanlıqların texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan intellektual yanaşma, ölçülən informasiyanın neyron şəbəkəsinin emalına yüksək sürətli alqoritmlərin tətbiqi hesabına obyektlərin texniki vəziyyətlərinə nəzarətin operativliyinin artırılmasına və avtomatlaşdırılmış monitorinq sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə və onların Veyvlet analizinə yönəlib.

Nəticə

Uçuşların yerüstü rabitə və radiotexniki təminatının intellektual operativ nəzarət metodunun təhlili göstərilir ki, obyektlərin texniki vəziyyətinin effektiv monitorinqinin dinamik strukturlar şəklində daim dəyişən xüsusiyyətləri nəzərə almaqla nəzarət olunan obyektlərin iş rejimindən, istismar vəziyyətindən, deqradasiya proseslərinin təbii və süni xarakterindən, habelə bu aspektlərin dəyişkənliyindən asılı olaraq həyata keçirilməsi nəzarət prosesinin effektivliyini artıran süni intellekt texnologiyalarından istifadə etməklə mümkündür. Yerüstü rabitə və radiotexniki təminat avadanlıqlarının texniki vəziyyətinə nəzarət üçün intellektual sistemin konseptual modelinin qurulması üzrə tədqiqatlar informasiya sisteminin qurulması üçün yeni prinsipləri, onun istismarına olan tələbləri, habelə bu sahədə texnologiyalardan istifadəni əhatə edir.

Uçuşların yerüstü rabitə və radiotexniki təminatının intellektual operativ nəzarət metodu əsasən yerüstü sistemlərdə həyata keçirilən hazırlıq mərhələsini, rabitə vasitələrinin və ya radiorabitə təminatının qəza siqnalının nasazlığı və ya nasazlıqdan əvvəlki vəziyyətin aşkarlanması halında yerüstü avtomatlaşdırılmış ölçmə kompleksinə ötürülməsini, yerüstü avtomatlaşdırılmış ölçmə kompleksi tərəfindən nasazlığın müəyyən edilməsi prosesinin həyata keçirilməsini və

avtomatlaşdırılmış idarəetmə sisteminin bilik bazasının aktivləşdirilməsi və həyata keçirilən operativ nəzarətin müxtəlif növ hesabatlarının formalaşdırılmasını əhatə edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Paşayev A.M., Mehdiyev A.Ş., Nəbiyev R.N., Ramazanov K.Ş. Aeroportların radionaviqasiya avadanlıqlarının texniki vəziyyətinin avtomatlaşdırılmış monitorinqi. MAA, Monoqrafiya, 236 səh. Bakı: 2015.
2. Будко П.А., Винограденко А.М., Меженов А.В., Чикирев А.А. Способ и устройство интеллектуального экспресс-контроля технического состояния наземных средств связи и радиотехнического обеспечения полетов // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 235-283. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10108.
3. Винограденко А.М., Меженов А.В., Будко Н.П. К вопросу обоснования понятийного аппарата неразрушающего экспресс-контроля технического состояния оборудования системы связи и радиотехнического обеспечения аэродрома // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 6. С. 30-44. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10293.
4. Харченко А.В., Якимов В.Л. Метод обработки телеметрической информации в фазовом пространстве бортовых динамических систем космических аппаратов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. № 666. с. 91-101.
5. Раев А.А., Вороник В. И., Кононенко А.В., Кузнецов М.М. Использование беспилотных летательных аппаратов при оценке характеристик ПВО. Вестник воздушно-космической обороны. 2017, вып. 2 (14), с. 45-48.
6. Войтович Н.И., Жданов Б.В. Способ летных проверок наземных средств радиотехнического обеспечения полетов и устройств для его применения. Патент России, ном. 2501031, 10.12.2013.
7. Винограденко А.М., Будко Н.П. Адаптивное управление техническим состоянием сложных технических объектов на основе интеллектуальные технологии. Т-Комм, 2020, вып. 14, ном. 1, стр. 25-36.

REFERENCES

1. Pashayev A.M., Mehdiyev A.Sh., Nebiyev R.N., Ramazanov K.Sh. Aeroportların radionavigasiya avadanlıqlarının texniki veziyyetinin avtomatlaşdırılmış monitoringi. MAA, Monografiya, 236 səh. Bakı: 2015.
2. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V., Chikirev A.A. Sposob i ustroystvo intellektualnogo ekspress-kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya nazemnikh sredstv svyazi i radiotekhnicheskogo obespecheniya poletov // Sistemi upravleniya, svyazi i bezopasnosti. 2020. №1. S. 235-283. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10108.
3. Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V., Budko N.P. K voprosu obosnovaniya ponyatiynogo apparata nerazrushayushhego ekspress-kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya sistemi svyazi i radiotekhnicheskogo obespecheniya aerodroma // Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli. 2019. T. 11. № 6. S. 30-44. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10293.

4. Kharchenko A.V., Yakimov V.L. Metod obrabotki telemekhanicheskoy informatsii v fazovom prostranstve bortovikh dinamicheskikh sistem kosmicheskikh apparatov // Trudi Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A. F. Mozhayskogo. 2019. № 666. s. 91-101.
5. Raev A.A., Voronik V.I., Kononenko A.V., Kuznetsov M.M. Ispolzovanie bespilotnikh letatel'nikh apparatov pri otsenke kharakteristik PVO. Vestnik vozdušno-kosmicheskoy oboroni. 2017, vip. 2 (14), s. 45-48.
6. Voytovich N.I., Zhdanov B.V. Sposob letnikh proverok nazemnikh sredstv radiotekhnicheskogo obespecheniya poletov və ustroystv dlya ego primeneniya. Patent Rossii, nom. 2501031, 10.12.2013.
7. Vinogradenko A.M., Bud'ko N.P. Adaptivnoe upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem slozhnikh tekhnicheskikh obyektov na osnove intellektualnie tekhnologii. T-Komm, 2020, vip. 14, nom. 1, str. 25-36.

METHODS AND MEANS OF INTELLIGENT OPERATIONAL MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF GROUND COMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING SUPPORT OF FLIGHTS

Ramazanov K.Sh.

National Aviation Academy

The article carried out studies of ground communications and radio technical support for flights, the problems of developing a method and device for intelligent control, increasing the efficiency of the control procedure and bringing it into real time, and also considered modern work on the possibility of using a neural network approach.

For this purpose, the concept of intelligent operational control is presented as an important component of operational diagnostics, and a methodology for its implementation in radio engineering systems has been developed, while solutions to the issues of determining the technical condition of an object were considered on the basis of a limited number of monitored parameters in real time, understood under the term operational control.

Keywords: *flight, communications, radio technical support, operational control, automated, technical diagnostics, technical condition, on-board, intelligent, monitoring.*

Rəyçi: *t.f.d. Qarayev Q.İ.*

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Ramazanov Kəmaləddin Şirin oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Aerokosmik cihazlar kafedrasının dosenti, t.e.n.	Kamaleddin62@yandex.ru mob: (+994) 50 336 08 01

AERONAVİQASIYA

UOT: 004.383.8

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.53.

DRONLARIN İDARƏ OLUNMASININ KONSEPTUAL ƏSASLARI

Əsgərov T.K.

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə müxtəlif tipli tapşırıqları yerinə yetirmək üçün müəyyən məhsuldarlığa malik dronların idarə olunması məsələsinə baxılır. Bu məqsədlə dronların sürülər şəklində idarə olunmasının konseptual əsasları verilir. Məhdud hesablama gücünə malik olan kiçik dron sürülərinin idarə olunması sürü intellektinə əsaslanır. Dron sürülərinin təşkili prinsipləri kiçik bir məkanda minlərlə uçan və bir-birinə mane olmayan "böcəklərə" istinad edilib. Belə ki, dron sürülərinin təşkili üçün tətbiq olunan səviyyələr (avtonom, birsəviyyəli və çoxsəviyyəli) və həmin səviyyələrdəki informasiya əlaqələri əks etdirilir. Həmçinin verilən tapşırığın tələbinə uyğun olaraq dron sürülərinin növləri (statik, dinamik və hibrid) şərh edilir.

Açar sözlər: *dron, informasiya mübadiləsi, idarəetmə mərkəzi, sürü intellekti, böcək, dron sürüsü, statik sürü, dinamik sürü, hibrid sürü.*

Giriş. Son zamanlar dron texnologiyaları və onun tətbiq sahələri uğurla inkişaf edir. Bu texnologiya həm hərbi, həm də mülki istifadə üçün geniş imkanlara malikdir. Dronların ucuz başa gəlməsi və mobilizasiya müddəti onlardan istifadəni genişləndirir. Məsələn, hər hansı bir binanın struktur bölmələrinin monitorinqini vertolyotlar və kranlar vasitəsilə həyata keçirmək, dronlarla nisbətən baha başa gəlir. Həmçinin, dronlar ərazilər üzrə daha səmərəli yerləşdirilir və problemi qısa zaman müddətində daha tez həllini həyata keçirir. Kiçik dronlar, böyük drona nisbətən daha görünməz və daha az səs-küyə malik olur. Kiçik dronların istehsalı, böyük dronlardan ucuz başa gəldiyi üçün mülki məsələlərin həllində məqsədəuyğun sayılır və kütləvi xarakter daşıyır. Çünki onların çəkisi az, qabaritləri kiçik və qəza şəraitində isə təhlükəsiz sayılır [1-3]. Müasir dövrdə çətin tapşırıqların həlli üçün bir neçə kiçik drondan ibarət *dron sürüləri* və ya *dron qrupları* formalaşdırılır.

Dron sürülərinin (DS) idarə olunması zamanı verilənləri saxlama mənbələrində və real vaxt rejimində qərar qəbul etmədə ciddi problemlər yaradır. Məhdud hesablama gücünə malik olan kiçik DS-lərin idarə olunması *sürü intellektinə* əsaslanır. Sürü intellekti anlayışı - qarşılıqlı əlaqədə olan obyektlərin davranışlarını ortaya çıxaran kollektivə aid edilir və süni intellekt alqoritmləri əsasında işləyir. Bu alqoritmlər bir çox obyektlər arasında informasiya mübadiləsini təmin edir. Alqoritm iterasiyalar zamanı özü-özünü təşkil etməklə yüksək səmərəliliyi də təmin edir. Sürü intellektinə görə vacib əlamətlər bunlardır: sürünün təbiəti, sürünün obyektləri arasındakı əlaqələr, sürüyə daxil olan və sürünü tərk edən müxtəlif obyektlər [4,5].

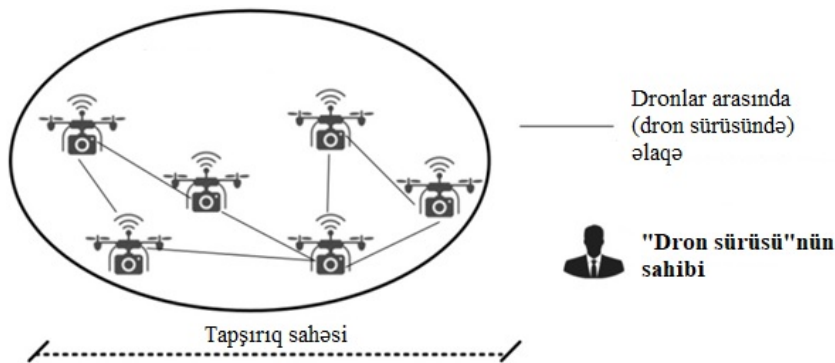
Sürü intellektinə əsaslanan alqoritmlərə qarışqa, arı, canavar, pişik sürüləri və s. kimi alqoritmləri misal göstərə bilərik. Məsələn, qarışqa alqoritmində görə ətraf şəraitə görə qida mənbəyi

ilə yuva arasında gedə biləcəyi yollar təyin edilir. Müəyyən olunan yollardan birində ilk keçən qarışqa yola feromon adlanan qoxulu maddə ifraz edir. Əgər yol qısa olarsa, bu qoxu daha sıx olur və digər qarışqalar da eyni şəkildə yola davam edirlər. İki yolun kəsişdiyi nöqtədə qarışqa hansı yolla gedəcəyini müəyyənləşdirir [6,7].

Pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) istifadəsində inkişaf edən yeni bir istiqamət, onların DS-lər formasında təşkilidir. DS-lərin təşkili prinsipləri, kiçik bir məkanda minlərlə uçan və bir-birinə mane olmayan “böcəklərdən” götürülüb. Sürü intellektinə əsaslanan bu cür təşkil prinsipi aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:

- DS-lərə çoxsaylı sinxron müdaxilələr;
- hər bir dronun fəzada yerləşdirilməsi və koordinatlarının dəqiqliyi;
- DS-də elementlərin bir-birini tamamlaması;
- DS-in və onun elementlərinin etibarlılığı;
- faydalı yükün bir neçə dron arasında bölüşdürülməsi;
- qəza zamanı yük itkilərinin azalması;
- nəticələrin əldə edilməsinin asanlaşması;
- yüksək səmərəliliyin əldə olunması və s.

Dron sürülərinin səviyyələri. Dronlar “sürü”yə qoşulduqdan sonra hər biri avtomatik olaraq idarə edilir. Sürünün davranışına isə süni intellektə əsaslanan proqramlar və ya operatorlar (dron sürüsünün sahibi) tərəfindən nəzarət edilir. Şəkil 1-də müəyyən avtonomluğa malik olan sadə DS göstərilmişdir. Tapşırıq sahəsi üzrə DS-lərin idarə etməyin bir çox üsulları vardır. Məsələn, bütün qərarlar sürünün idarəetmə orqanı sayılan *idarəetmə mərkəzi* tərəfindən verilə bilər [7, 8]. Bu üsul drondan verilən informasiyanın Yer Nəzarət Sistemində (YNS) real vaxt rejimində ötürməsinə və əldə olunan əməllərə tez cavab verməsinə təmin edir. Müəyyən vəziyyətlərdə, DS avtonom fəaliyyət göstərir (şəkil 1) və YNS-dən açıq icazə tələbi olmadan uçuş zamanı qərarlar qəbul etməlidir.

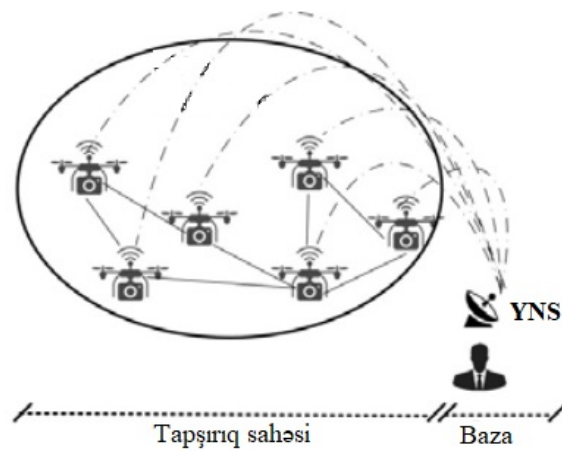


Şəkil 1. Avtonom dron sürüsü

Burada dronlar çoxluğu, bir drona nəzərən daha böyük ərazininin monitorinqini həyata keçirə bilər. Verilən tapşırığı uğurla həyata keçirmək üçün geniş imkanlara malik olan dronlar müəyyən ərazilərə göndərilə bilər. Digər dronlar isə müxtəlif tapşırıqların icrasını təmin edə bilər.

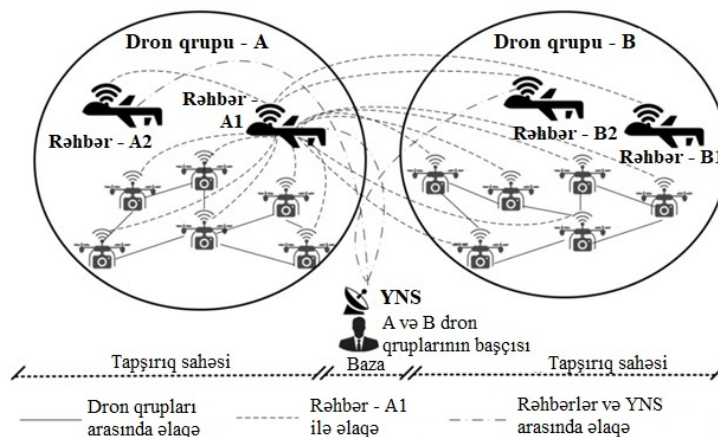
Şəkil 2-də bir neçə drondan, müxtəlif sensor və ehtiyat avadanlıqları ilə təchiz olunmuş DS göstərilmişdir. Bu cür DS-lər *birsəviyyəli* adlanır. Birsəviyyəli DS-in əsas vəzifəsi tapşırıq sahəsi üzrə PUA-larda uğursuzluqlar baş verdikdə ehtiyat avadanlıqlarının işə salınmasıdır. Bundan əlavə, çoxlu sayda dron, tək drona nəzərən daha böyük coğrafi ərazini həm əhatə, həm də idarə edə bilər. Çünki tapşırıqların daha səmərəli yolla təşkili üçün geniş imkanları olan lazımı dronlar müəyyən ərazilərə

göndərilir. Digər dronlar isə başqa tapşırıqları yerinə yetirir. Dron sürüsünün YNS-lə əlaqə saxlamaq üçün qurduqları şəbəkədən istifadə edə bilər. Bunun üçün hər hansı bir dronun YNS-lə əlaqəsi pozulduqda, həmin dron YNS-lə əlaqəsi olan başqa bir drona baza məlumatlarını ötürə bilər.



Şəkil 2. Birsəviyyəli dron sürüsü

DS-lər fərdi qruplar yaradaraq müxtəlif *dron qruplarını* (DQ) formalaşdırır. Bu qruplar fərdi PUA-nın təkbaşına yerinə yetirə bilməyəcəyi tapşırıqları koordinasiya etmək hüquqlarına malikdir. DQ-nin elementləri (PUA-lar) sensorlar vasitəsilə informasiyanın mübadiləsini, hədəflərin izlənməsini, müəyyənləşdirilməsini, monitorinqini, hətta yüklərin daşınması kimi tapşırıqların birlikdə yerinə yetirilməsini təmin edir. Belə olan halda hər bir qrupu təşkil edən böyük dronlar və onların kiçik versiyaları ilə ziddiyyət təşkil etməməli və bir-birini “başə düşməlidir”. Şəkil 3-də çoxsəviyyəli DS-i təşkil edən və YNS-lə idarə olunan DQ-lər göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi DS iki qrupa ayrılmışdır: “*Dron qrupu - A*” və “*Dron qrupu - B*”. Hər bir DQ müvafiq rəhbərlərə malikdir. Məsələn, “*Dron qrupu - A*”-ya “*Rəhbər - A1*” və “*Rəhbər - A2*”, “*Dron qrupu - B*”-yə isə “*Rəhbər - B1*” və “*Rəhbər - B2*” məxsusdur. Yəni, hər bir qrup, klasterlər çoxluğu formasında çıxış edir.



Şəkil 3. Çoxsəviyyəli dron sürüsü

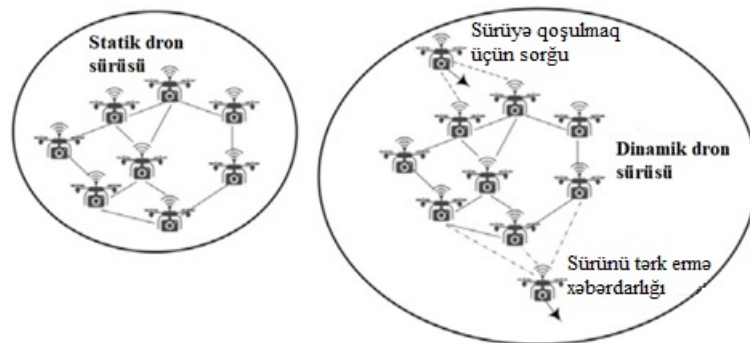
[9]-da YNS tərəfindən idarə olunan dronlar üçün hücumların sensor verilənlərinə qanunsuz giriş əldə etməsinin asan olmamasını təmin etməklə yanaşı, təhlükəsiz əlaqəni təmin etmək üçün

protokol təklif edilir. Bu cür təklif məxfilik məsələlərində problemsiz həll olunur (məs., YNS digər tərəflərə məlumatların hansı drondan daxil olduğunu sübut edə bilmir). Ancaq müvafiq hesablamalar və enerji istehlakı baxımından həyata keçirmək baha başa gəlir. [10]-da qeyd olunur ki, PUA-nın ələ keçirilməsi üçün dronlarla ağıllı obyektlər arasında təhlükəsiz əlaqə qurur. Bu məqsədlə “Certificateless Signcryption Tag Key Encapsulation” mexanizmindən istifadə olunur. [11]-də dronların səmərəli inventarlaşdırılmasını aparmaq və RFID (Radio Frequency Identification, radiotezlik identifikatoru) çiplərindən, [12]-də isə müəyyən edilmiş yüngül qorunan və məxfiliyi təmin edən serversiz protokollardan istifadə edərək dronu ələ keçirərkən məxfiliyə zəmanət verir.

Dron sürüsünün növləri. DS-lərin təşkili üçün statik, dinamik və hibrid sürülərdən istifadə oluna bilər. *Statik sürülərdə* bütün dronlar tapşırıq müddəti ərzində bir yerdə qalırlar. *Dinamik sürülərdə* fərdi dronlar donanmanın bir hissəsini təşkil edir. Həmçinin verilən tapşırığın tələbinə uyğun olaraq sürünü tərk edə bilər. *Hibrid sürülər* isə həm statik, həm də dinamik sürülərdən təşkil olunur.

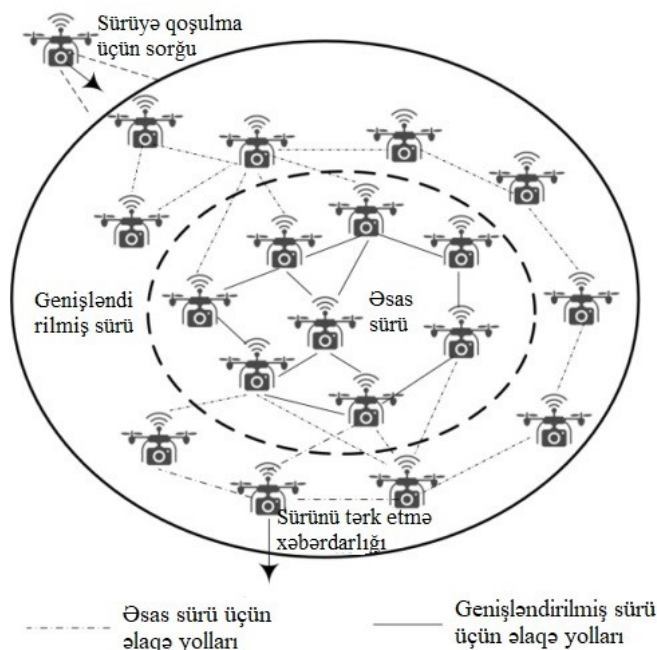
DS-də əsas yeri tutan *statik dron sürüləridir* (Statik DS). Bu təşkil üsulunda sürü iştirakçıları uçuşa hazırlıq mərhələsində əvvəlcədən seçilir. Uçuş başladığı anda müvafiq tapşırıq verildikdən sonra avtomatik siyahı tərtib olunur və üzvlər təsdiqlənir. Uçuş aparılan ərəfədə yeni üzvlərin sistemə (siyahıya) daxil olması prosesi bloklanır. Rabitənin təhlükəsizliyi, üzvlər arasındakı qarşılıqlı anlaşma və əməkdaşlıq DS-in sahibi tərəfindən təyin edilir və YNS-də parametrlər quraşdırılır. Belə olan halda, hər hansı bir dronun, müvafiq DS-in sahibinə məxsus olub-olmamasından asılı olmayaraq, uçuş zamanı DS ilə əlaqəli xarici bir obyekt kimi qəbul ediləcək [13-17].

Dinamik dron sürüləri (Dinamik DS). Statik DS-dən fərqli olaraq, dinamik DS-lər verilən tapşırıq ərəfəsində istənilən vaxtda sürüdən ayrılan mövcud üzvlərlə birlikdə yeni üzvlər daxil etmək üçün açıqdır. Belə olan halda qapalı və açıq dinamik DS-lərdən istifadə olunur. Qapalı dinamik DS yeni dronların yalnız eyni təşkilatdan qeydiyyatla alınmasına imkan verir. Açıq dinamik DS-lər isə üçüncü tərəf təşkilatından dronların qeydiyyatla alınmasına şərait yaradır. Statik və dinamik DS-lərin təşkili mexanizmi şəkil 4-də göstərilmişdir.



Şəkil 4. Statik və dinamik dron sürüləri

Hibrid dron sürüləri (Hibrid DS). Bu növ DS-lər həm statik, həm də dinamik DS-ləri vahid əməkdaşlığa dəvət edir və bir modulda fəaliyyət göstərir. Hibrid DS-in nüvəsini statik DS təşkil edir. Həmçinin, bu statik DS digər dronların sürüyə qoşulmasına imkan verir və özünü dinamik DS kimi davranan genişləndirilmiş sürü formalaşdırır. Hər hansı qiymətləndirmə və qərar qəbul etmə məsələlərində əsas sürü yüksək potensiala malik olur. Genişləndirilmiş sürü - statik DS-ə qoşulan və əsas sürüyə xidmət göstərən dronlar kimi qəbul edilə bilər. Bu sürünün üzvləri istənilən mərhələdə komanda heyətini tərk edə bilər. Hibrid DS-in təşkili mexanizmi şəkil 5-də göstərilmişdir.



Şəkil 5. Hibrid dron sürüsü

Nəticə. Pilotsuz uçuş aparatları seqmentində sürü kəşfiyyatının tətbiqi təbiətdən götürülmüş alqoritmlər vasitəsilə həyata keçirilir. Məqalədə dronların sürü şəklində idarə olunması, dronlar arası informasiya mübadiləsi, dronun sürüyə qoşulması (və ya sürünü tərk etməsi) qaydaları və sürüyə göndərilən sorğular əsasında müvafiq qərarların qəbulu məsələlərinə baxılmışdır. Sürünün formalaşdırılması - təbiətdən götürülmüş sürü halında formalizə olunan və bir-birinə mane olmayan böcəklərdən götürülmüşdür. Müxtəlif sensor və ehtiyat avadanlıqları ilə təchiz olunmuş dronların sürü şəklində idarə olunması üçün səviyyələr (avtonom, birsəviyyəli və çoxsəviyyəli) göstərilmiş və səviyyələr arası informasiya əlaqələri nəzərə alınmışdır. Bundan əlavə statik, dinamik və hibrid dron sürülərinin təşkilində sensorlar vasitəsilə informasiyanın mübadiləsini, hədəflərin müəyyənləşdirilməsini, monitorinqini həyata keçirən konsepsiyalar işlənmişdir. Dronların sürü formasında idarə olunması üçün həyata keçirilən konsepsiyalar həm mülki, həm də hərbi sənayelərdə tətbiq oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Əsgərov T.K., Rəhimova N.Ə., Abdullayev V.H. "Sənaye 4.0" platforması əsasında kiber-fiziki sistemlərin struktur layihələndirilməsi. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. Beynəlxalq elmi-texniki jurnal, 2022, cild 14. № 3, s. 87-96.
2. Əsgərov T.K. Kiber-fiziki sistemlərin təkamülü. Sumqayıt Dövlət Universiteti, Konfrans materialları, 2022, № 9, s. 269-271.
3. Kərimov S.Q., Əsgərov T.K. Korportiv informasiya-analitik sisteminin strukturu və sistemdə ETL prosesinin təşkili. AMEA-nın xəbərləri, №2, 2012, s. 49-54.
4. Alıquliyev R., Niftəliyeva G. Optimallaşdırma məsələlərinin həlli üçün metaevristik alqoritmlər. "Proqram mühəndisliyinin aktual elmi-praktiki problemləri" I respublika konfransı, Bakı 17 may 2017, səh. 19-26.

5. Geem Z.W., Kim J. H., Loganathan GV. A new heuristic optimization algorithm: harmony search., *Simulation*, vol.76, no.2, pp. 60–68, 2001.
6. Asgarov T.K. Using cloud technology in the network Internet of things. *Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions (ISSN: 2674-5224)*, vol.8, issue 4, 2021, p.127.
7. Ragimova N.A., Abdullayev V.H., Asgarov T.K. Internet of military things: from ancient war to modern war. *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences (IJBPAS)*, 2021, Vol. 10, issue 11, p. 1464-1477
https://ijbpas.com/pdf/2021/November/MS_IJBPAS_2021_NOV_SPCL1127.pdf
8. Canis B., *Unmanned aircraft systems (UAS): Commercial outlook for a new industry*. Congressional Research Service Washington, 2015.
9. Javaid A. Y., Sun W., Devabhaktuni V. K., Alam M. “Cyber security threat analysis and modeling of an unmanned aerial vehicle system,” in *Homeland Security (HST), 2012 IEEE Conference on Technologies for*. IEEE, 2012, pp. 585–590.
10. Gupta L., Jain R., and Vaszkun G., “Survey of important issues in uav communication networks,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 2, pp. 1123–1152, 2016.
11. Voss W. G. “Privacy law implications of the use of drones for security and justice purposes,” *International Journal of Liability and Scientific Enquiry*, vol. 6, no. 4, pp. 171–192, 2013.
<http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJLSE.2013.060848>
12. Chang V., Chundury P., Chetty M., “Spiders in the sky: User perceptions of drones, privacy, and security,” in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. 17. New York, NY, USA: ACM, 2017, pp. 6765–6776.
13. Lidynia C., Philipsen R., Ziefle M. *Droning on About Drones Acceptance of and Perceived Barriers to Drones in Civil Usage Contexts*. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 317–329.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-41959-6_26
14. Kharchenko V.S. *Internet of Things for Industry and Human Application*. In Volumes 1-3. Volume 3. Assessment and Implementation. National Aerospace University 2019. – 918 p.
15. Pigatto D., Rodrigues M. “The internet of flying things,” in *Internet of Things A to Z: Technologies and Applications*, Q. F. Hassan, Ed., 1st ed. Wiley-IEEE Press, 2018, pp. 529–561.
16. *Artificial Intelligence in Unmanned Aerial Vehicle Networks*, May 2019.
<https://www.findaphd.com/phds/project/artificialintelligence-in-unmanned-aerial-vehicle-networks/?p104547>.
17. *Drone Programs at Universities and Colleges*. May, 2019.
<https://www.dronesinspector.com/drone-programs-at-universitiesand-colleges/>

REFERENCES

1. Asgarov T.K., Ragimova N.A., Abdullayev V.H. “Sanaye 4.0” platformasi اساسinda kiber-fiziki sistemlerin struktur layihelendirilmesi. *Azerbaijan Muhandislik Akademiyasinin Kheberleri. Beynelkhalq elmi-tekhniki jurnal*, 2022, jild 14. № 3, s. 87-96.
2. Asgarov T.K. Kiber-fiziki sistemlerin tekamulu. *Sumgayit Devlet Universiteti, Konfrans materiallari*, 2022, № 9, s. 269-271.

3. Karimov S.G., Asgarov T.K. Korportiv informasiya-analitik sisteminin strukturu ve sistemde ETL prosesinin teshkili. AMEA-nın khebereri, №2, 2012, s. 49-54.
4. Aliguliyev R., Niftaliyeva G. Optimallasdırma məsələlərinin helli uchun metaevristik alqoritmler. “Proqram muhendisliyinin aktual elmi-praktiki problemleri” I respublika konfransi, Baki 17 may 2017, seh. 19-26.
5. Geem Z.W., Kim J. H., Loganathan GV. A new heuristic optimization algorithm: harmony search., Simulation, vol.76, no.2, pp. 60–68, 2001.
6. Asgarov T.K. Using cloud technology in the network Internet of things. Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions (ISSN: 2674-5224), vol.8, issue 4, 2021, p.127.
7. Ragimova N.A., Abdullayev V.H., Asgarov T.K. Internet of military things: from ancient war to modern war. International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences (IJBPAS), 2021, Vol. 10, issue 11, p. 1464-1477
https://ijbpas.com/pdf/2021/November/MS_IJBPAS_2021_NOV_SPCL1127.pdf
8. Canis B., Unmanned aircraft systems (UAS): Commercial outlook for a new industry. Congressional Research Service Washington, 2015.
9. Javaid A.Y., Sun W., Devabhaktuni V. K., Alam M. “Cyber security threat analysis and modeling of an unmanned aerial vehicle system,” in Homeland Security (HST), 2012 IEEE Conference on Technologies for. IEEE, 2012, pp. 585–590.
10. Gupta L., Jain R., and Vaszkun G., “Survey of important issues in uav communication networks,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1123–1152, 2016.
11. Voss W. G. “Privacy law implications of the use of drones for security and justice purposes,” International Journal of Liability and Scientific Enquiry, vol. 6, no. 4, pp. 171–192, 2013.
<http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJLSE.2013.060848>
12. Chang V., Chundury P., Chetty M., “Spiders in the sky: User perceptions of drones, privacy, and security,” in Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ser. 17. New York, NY, USA: ACM, 2017, pp. 6765–6776.
13. Lidynia C., Philipsen R., Ziefle M. Droning on About Drones Acceptance of and Perceived Barriers to Drones in Civil Usage Contexts. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 317–329.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-41959-6_26
14. Kharchenko V.S. Internet of Things for Industry and Human Application. In Volumes 1-3. Volume 3. Assessment and Implementation. National Aerospace University 2019. – 918 p.
15. Pigatto D., Rodrigues M. “The internet of flying things,” in Internet of Things A to Z: Technologies and Applications, Q. F. Hassan, Ed., 1st ed. Wiley-IEEE Press, 2018, pp. 529–561.
16. Artificial Intelligence in Unmanned Aerial Vehicle Networks, May 2019.
<https://www.findaphd.com/phds/project/artificialintelligence-in-unmanned-aerial-vehicle-networks/?p104547>.
17. Drone Programs at Universities and Colleges. May, 2019.
<https://www.dronesinspector.com/drone-programs-at-universitiesand-colleges/>

THE CONCEPTUAL BASICS OF DRONE CONTROL

Asgarov T.K.

National Aviation Academy

The article considers the issue of controlling drones with certain productivity to perform different types of tasks. For this purpose, the conceptual basis of controlling drones in the form of swarms is given. Management of small drone flocks with limited computing power is based on swarm intelligence. The principles of the organization of drone swarms referred to thousands of "insects" flying in a small space and not interfering with each other. Thus, the levels (autonomous, single-level and multi-level) applied to the organization of drone flocks and the information relationships at those levels are reflected. Also the types of drone swarms (static, dynamic and hybrid) are explained according to the requirement of the given task.

Keywords: *drone, information exchange, control center, swarm intelligence, insect, drone swarm, static swarm, dynamic swarm, hybrid swarm.*

Rəyçi: *f.-r.e.d., prof. Nəbiyev R.N.*

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Əsgərov Taleh Kamran oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Aerokosmik informasiya sistemləri kafedrası, t.f.d., dos.	tasgarov@naa.edu.az taleh.naa@gmail.com mob: (+994) 55 754 26 72

AVIASIYA TƏHLÜKƏSİZLİYİ

УДК: 344.7

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.61.

АНАЛИЗ РАДИКАЛИЗАЦИИ ТЕРРОРИСТОВ ВОЛКОВ-ОДИНОЧЕК

Мухтаров Р.М., Шекили Ш.П.
Национальная Академия Aviации

Терроризм одиноких волков или lone wolf продолжает оставаться бичом с начала XXI века. Этому свидетельствует тот факт, что за последнее десятилетие резко возросли объемы и серьезность фундаменталистских террористических нападений «одиноких волков». С 2000 года количество атак, совершаемых отдельными лицами и независимыми группами, продолжает расти. Несмотря на многочисленные исследования терроризма одиноких волков, стратегии по борьбе с данной угрозой по-прежнему не существует. Отсутствие широкомасштабной политики в отношении терроризма-одиночек объясняется двумя факторами: отсутствием общепринятого определения терроризма-одиночек и текущим правительственным импульсом для создания законов и политики по борьбе с террористическими атаками со стороны крупных агрессивных группировок.

Ключевые слова: lone wolf, радикализация, терроризм, террористические организации, террористическая идеология, безопасность гражданской авиации, аэропорт, стратегически важный объект

Введение. Одним из проявлений современного терроризма является терроризм волков одиночек или lone wolf, в борьбе с которым службы безопасности испытывают серьезные трудности, причем, эта форма терроризма вызывает озабоченность общественности. Трудности в работе агентств проистекают из того факта, что эта форма терроризма часто менее отслеживаема и более непредсказуема по сравнению с организационным терроризмом. Несмотря на то, что террористические организации поддерживают инфраструктуру и каналы связи, которые позволяют осуществлять мониторинг и перехват, нападения на определенный объект обнаружить практически невозможно до их совершения. Ввиду сложности борьбы с террористами-одиночками возникает необходимость изучения этого явления и возможных способов его предотвращения или, по крайней мере, нанесения минимизации ущерба государству или определенному лицу.

Различные исследователи используют термин «терроризм одинокого волка» по-разному, что делает исследование нестандартным и, возможно, запутанным. Согласно Баккеру, lone wolf – это угроза или применение насилия со стороны одного преступника (или небольшой ячейки), действующего не по личным материальным причинам, а с целью воздействия на более широкую аудиторию. Он действует без какой-либо прямой поддержки при планировании и подготовке, а также при осуществлении нападения, его решение действовать не определяется какой-либо группой или другими лицами (хотя, возможно, вдохновлено другими)» [1].

М. Хэмм считает, что волк-одиночка тот, кто действует в одиночку - без помощи или поощрения правительства, или террористической организации, кто действует без руководства или руководства иерархии, разрабатывающего план и методы самостоятельно, без какой-либо внешней помощи, поддержки» [2].

Дж. Капеллан утверждал, что авторы определили сущность волков-одиночек, основываясь на уровнях связи правонарушителей с формальными террористическими организациями. С одной стороны, существуют изолированные волки-одиночки. Это те лица, которые не имеют формальной принадлежности и не получают материальной или иной поддержки от экстремистских организаций. Они планируют и осуществляют свои атаки в одиночку. С другой стороны, одинокие волки, также действующие в одиночку, но принадлежащие к формальным террористическим организациям. Следовательно, они находятся под прямым влиянием лидера, который инструктирует и поддерживает их подготовку к теракту [3].

Также существуют категории волков-одиночек согласно типологиям Р. Пантуччи:

- «Одиночка» – действует в одиночку, без связи с какой-либо экстремистской группировкой.
- «Одинокый волк» – действует в одиночку, но имеет некоторый контакт с экстремистами.
- «Стая одинокого волка» – это выражение, характеризующее группу саморадикализованных людей.
- «Одинокый нападающий» – человек, который действует в одиночку, но имеет четкие связи командования и контроля с экстремистской группой [4].

Прежде чем понять, что представляет собой терроризм одинокого волка, необходимо сначала разобраться в том, что представляет собой терроризм. Хотя некоторые определения терроризма являются слишком широкими или расплывчатыми, определение, созданное Европейским Союзом, предлагает более упрощенное и практичное определение. В определении террористический акт определяется как умышленные действия, совершенные с целью «серьезного запугивания населения или неправомерного принуждения правительства, или международной организации к совершению или воздержанию от совершения какого-либо действия, или серьезной дестабилизации или разрушения фундаментальных политических, конституционных, экономических или социальных структуры страны или международной организации». Таким образом, цель терроризма состоит в достижении своих идеологических целей путем причинения наибольшего количества психологического страха своим жертвам

История терроризма одинокого волка предположительно был построен на основе стратегии сопротивления без лидера, восходящей к 19 веку, когда анархисты совершали политические убийства и взрывы под лозунгом «пропаганды делом». Поскольку большинство этих нападений совершалось отдельными лицами, после Второй мировой войны американцы-антикоммунисты использовали сопротивление без лидера против советских союзников в Восточной Европе и Латинской Америке. К концу 1980-х и 1990-м годам американские расистские организации, такие как Ку-клукс-клан, оказывали сопротивление правительству США. Во время подавления внутренних расистских движений они настаивали на том, что отдельные лица или небольшие ячейки, руководствующиеся общей идеологией, являются единственным способом победить правительство. Аль-Каида и ИГИЛ начали поощрять тактику сопротивления без лидеров путем поощрения индивидуального терроризма, который сейчас осуществляется отдельными террористами, известными как волки-одиночки [5].

В 2011 году крайне правый норвежский террорист Андерс Беринг Брейвик совершил свои злодеяния, направленные против левых сторонников и политических партий. Взорвав заминированный автомобиль возле правительственного здания в Осло, он открыл огонь по летнему лагерю, организованному молодежной ассоциацией Норвежской Лейбористской партии, Лигой рабочей молодежи (AUF). В 2013 году расист Павел Лапшин, совершил убийство пенсионера и заложил три взрывных устройства в мечетях Уэст-Мидлендса в Великобритании. И. Брейвика и Лапшина считали террористами-одиночками, и их деяния указывают на то, что независимо от причины или идеологии человек может стать радикалом. Хотя необходимы дальнейшие исследования всех аспектов терроризма «одиноких волков»,

нынешний рост ИГИЛ вызывает беспокойство по поводу появления следующего поколения террористов. Как было определено ранее, «волки-одиночки» — это одинокие исполнители, изолированные от любых организованных террористических сетей и прибегающие к насилию без посторонней помощи. Спаайдж [12-13] ранее ссылаясь на исследования, изучил и представил общую статистику по 88 террористам-одиночкам, ответственным за 198 нападений. Он дает существенное анализ об идеологиях, мотивах и процессах радикализации террористов-одиночек. Поскольку не существует единой характеристики или типичного профиля террориста-одиночки из-за индивидуальности и редкости появления, исследователям все же удалось найти некоторые общие черты: большая склонность к психическим и социальным страданиям; криминальное прошлое; склонность смешивать личные разочарования с экстремистскими идеологиями, и перекладывать вину и свои собственные проблемы на других; депрессия, обида, личный кризис (например, потеря работы, финансовые проблемы, стресс); опыт владения оружием. Наиболее отличительной чертой является то, что они редко совершают действия, будучи в импульсивном состоянии. Хотя идеологии террористов и террористов-одиночек могут быть одинаковыми, типичные террористы часто радикализируются по-разному. Выезжая за границу для обучения, эти лица начинают сотрудничать с известными террористическими, или экстремистскими организациями и приобретают оружие, или изготавливают взрывчатку перед нападением, что обычно привлекает к ним внимание правоохранительных органов и спецслужб. Планирование, проводимое террористами-одиночками, как правило, остается незамеченным, что приводит к значительным последствиям. Чтобы развивать свою идеологию и мотивацию без какого-либо прямого контакта, сегодня одинокие волки обычно проходят обучение онлайн, исследуя способы причинения вреда, во имя своей идеологии, связываясь с другими радикалами. В настоящее время исследования данного феномена дали некоторые представления об идеологиях, мотивациях, поведении и путях, которые ведут к терроризму одиноких волков, однако и это не могло дать четких параметров характеристики террориста-одиночки.

Крайне важным свойством, что отличает волка-одиночки от террориста, так это то, что первые никогда не осуществляют свои преступные действия спонтанно или на почве сильного эмоционального всплеска. Для них важным является продумывание каждого шага, а также нанесения удара, будучи в очень спокойном состоянии в достаточно благоприятных для совершения преступления условиях. Ярким подтверждением указанного факта являются преступления, совершенные американским террористом Д.Метецким, известным тем, что заложил, по меньшей мере, 33 бомбы по всему Нью-Йорку в 1940-х и 1950-х годах. 16-летняя охота за которым была раскрыта с помощью одного из первых применений криминального профайлинга. Также волки-одиночки не применяют метод пыток или других насильственных действий, как это принято в криминальных и террористических организациях. Для них важным является все время оставаться в тени, не афишируя себя. Именно это качество создает сложность в их поимке.

Что касается безопасности гражданской авиации, то здесь также существуют примеры совершения преступлений волками-одиночками. Одним из ярких примеров является взрыв на борту Philippine Airlines Flight 434, совершенный Рамзи Юсифом. Предыдущим его преступлением был взрыв Всемирного торгового центра - террористический акт, произошедший 26 февраля 1993 года, когда заминированный автомобиль был взорван под первой башней Всемирного торгового центра в Нью-Йорке.

Новый список угроз, направленных против безопасности в адрес гражданской авиации lone wolf впервые ИАТА (Международная Ассоциация Воздушного Транспорта) рассмотрела в 2016г. Это определение сразу же было введено в 5-е издание учебного материала по подготовке специалистов по авиационной безопасности, в том же году Safe International Passage публикует информацию по поводу серьезной ситуации в гражданской авиации в связи с ростом количества волков одиночек [20].

Ограниченные исследования были сосредоточены на террористах-одиночках, в основном концентрируясь на выявлении факторов риска (таких как личные, психические, социальные, экономические, политические, религиозные и другие идеологические характеристики), которые увеличивают вероятность участия в терроризме. Эти исследования, как правило, сосредоточены на профиле преступника. Тем не менее среди ученых существует согласие в том, что не имеется конкретного профиля террористов-одиночек.

Если конкретного профиля злоумышленника-одиночки нет, можно спросить, существует ли профиль самой атаки. Немногие исследования изучают характеристики атак «одиноких волков», их аппарат и методы подготовки, а также оценивают, чем эти атаки отличаются от того, что мы уже знаем совершаемых террористическими организациями.

Фрейлих, Чермак и Кеннеди [8] рекомендуют проводить углубленный анализ конкретных видов террористических атак. В соответствии с их рекомендациями в этом исследовании конкретно рассматриваются одиночные террористические нападения, которые осуществляются с использованием транспортных средств или тяжелой техники с целью наезда на жертв нападения. Это связано с тем, что этот смертоносный метод нападения относительно распространен среди нападающих-одиночек и получает поддержку со стороны террористических элементов. Два смертельных теракта в Европе – в Ницце в июле 2016 года (Мохамед Лахуай-Бульель) и в Берлине в декабре 2016 года (Анис Амри) иллюстрируют опасность этого феномена нападений, которые не требуют предварительного планирования или материально-технической поддержки, но имеют печальные последствия.

Анализ моделей радикализации. МакКоли и Москаленко [14] разработали две пирамиды: первая – радикализация мнений, а вторая – радикализация действий (см. рисунок 1). МакКоли и Москаленко пришли к выводу, что наиболее опасным признаком одинокого волка является сочетание радикального мнения со средствами и возможностями для радикальных действий. Критерии для каждого уровня также включены рядом с рисунками, чтобы упростить понимание того, как человека можно отнести к определенному уровню.

Единственное, в чем сходятся эксперты по радикализации, это то, что радикализация – это процесс. Как показано на рисунке 2, базовое понимание этого когнитивного процесса повлечет за собой постепенное принятие экстремистских идей и закончится, если оно будет завершено, практикой насильственного экстремизма или терроризма.



Рисунок 1. Пирамида МакКоли и Москаленко по радикализации действий

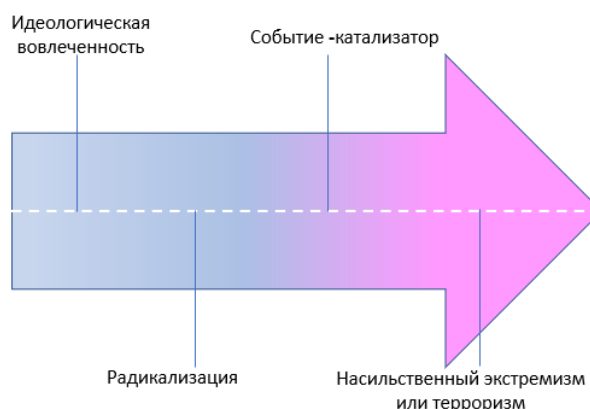


Рисунок 2. Радикализация как процесс

Рисунок 2 показывает, что радикализацию лучше всего рассматривать как процесс изменений, личную и политическую трансформацию из одного состояния в другое.

Радикализация – это постепенный процесс, требующий прохождения через отдельные состояния и не происходящий ни быстро, ни легко. Таким образом, человек не становится радикалом в одночасье, хотя влияние «события-катализатора» может ускорить этот процесс.

Событие-катализатор было описано В. Квинтаном [15] как «когнитивное открытие», которое делает человека более восприимчивым к возможности появления новых идей и мировоззрений. Это шокирующее событие или личный кризис подрывает уверенность человека в прежних убеждениях, побуждает его переоценить всю свою жизнь и стать открытым для радикального изменения ценностей и поведения. В случае террористических организаций ИРА или ЭТА новобранцы оправдывали присоединение к этнонационалистическим террористическим группам, ссылаясь на убийство (или пытки) друзей и родственников со стороны государства, поэтому можно предположить, что терроризм был актом мести. Совсем недавно появились свидетельства того, что преступники, присоединившиеся к джихадистским группировкам, таким как ИГИЛ и Аль-Каида, осознали, что их преступное поведение было вредным и что им необходимо порвать со своим прошлым и искупить свои «грехи». Эта «точка невозврата» послужила основанием для их обращения к религии и оправдала сотрудничество с салафитскими последователями ультраконсервативной суннитской ветви ислама [9-10].

Событие-катализатор может принимать различные формы: экономическую (потеря работы, блокировка социальной мобильности), социальную (отчуждение, дискриминация, расизм), политическую (международные конфликты) и личную (смерть близкого человека). Кроме того, существует длинный список факторов (реальных или предполагаемых), которые могут инициировать прогрессивное движение к насильственному экстремизму.

Приведенная выше схема кажется интуитивно правильной, но требуется более полная картина, которая идентифицирует различные фазы процесса радикализации. Более сложная модель, которая пытается отобразить переход от раннего участия к оперативной активности, – это четырехэтапная модель, предложенная Р. Борумом [16-17]). Борум предлагает концептуальную модель возникновения «террористического мышления» и утверждает, что существуют некоторые общие факторы для всех процессов радикализации, ведущей к насилию. Его модель пытается объяснить, как обиды и уязвимости трансформируются в ненависть к целевой группе и как ненависть трансформируется – по крайней мере, для некоторых – в оправдание или стимул к насилию. Или, другими словами, модель объясняет, как относительная депривация и моральное возмущение сочетаются для распределения ответственности за предполагаемую несправедливость и оправдания террористических действий.

Как показано на рисунке 3, четырехэтапный процесс начинается с выявления какого-либо неудовлетворительного события, условия или недовольства («Это неправильно») и представления его как несправедливого («Это несправедливо»). Например, войны в Боснии, Чечне, Афганистане и Ираке. Третий этап включает в себя обвинение в несправедливости целевой политики, человека или нации («Это ваша вина»), а четвертый и последний этап включает в себя выявление, поношение и даже демонизацию ответственной стороны («Вы злой»), что облегчает оправдание или стимулирование агрессии. Модель успешно описывает развитие процесса идеологической радикализации, но не способна предсказать, когда люди сделают последний шаг и прибегнут к неизбежному политическому насилию.

Модели, аналогичные модели Борума, были разработаны полицейскими силами (например, полицией Нью-Йорка), чтобы помочь своим членам наметить траекторию движения людей, которые становятся террористами. Выявление причины, которая побуждает некоторых людей к насильственным действиям, также дает подсказку о том, как эти этапы усиливают друг друга и о том, что может включать в себя процесс вербовки, а также дает оперативные подсказки о том, как разработать стратегию противодействия вербовке. Однако эти модели правоохранительной деятельности имеют скромные амбиции (например,

обучение) и не определяют многочисленные причины, повышающие вероятность вовлечения человека в террористическую группу.

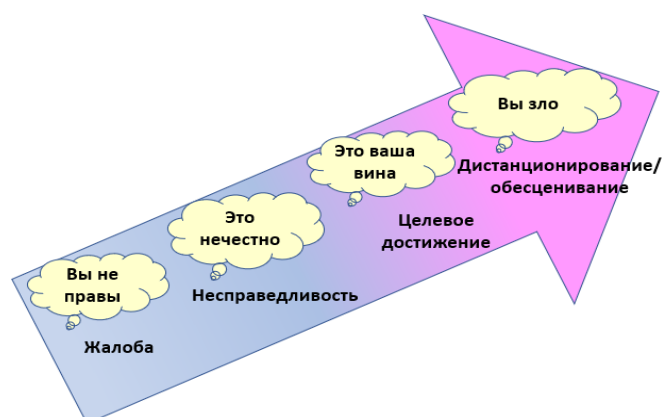


Рисунок 3. Четырехступенчатая модель террористического мышления

Более сложную модель предлагает профессор психологии Джорджтаунского университета Ф. Могаддам [18,19], который разработал «Лестницу к терроризму» (рисунок 4) как метафору процесса насильственной радикализации. Метафора Могаддама — это лестница в здании, где все живут на первом этаже, но где все меньше людей поднимается на верхние этажи, и очень немногие достигают вершины здания. «Лестница» сужается по мере подъема с первого этажа и все меньше и меньше людей достигают каждого из пяти последовательных этажей.

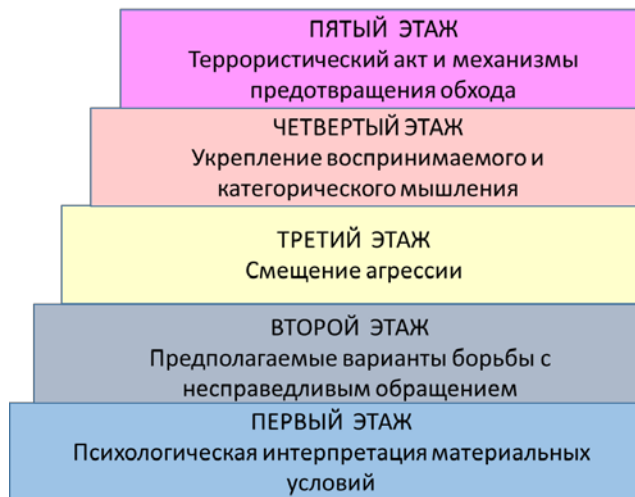


Рисунок 4. Ступени в терроризм

Чувства недовольства и ощущение невзгод составляют основу лестницы и топливо для первоначального вступления на путь терроризма. На первом этаже много людей, которые воспринимают ту или иную форму несправедливости или лишений. Желающие что-то с этим сделать поднимаются на первый этаж. Второй этаж, не такой заселенный, вмещает тех, кто, не найдя решения своих проблем, смещает свою агрессию на какого-то врага. На третьем этаже находится то меньшее количество людей, которые присоединяются к группе, способствующей своего рода моральному участию, прежде чем они поднимутся на четвертый этаж, где «происходит вербовка в террористические организации». И, наконец, пятый этаж, где их обучают «обходить тормозные механизмы» и отправляют убивать. «По мере того, как люди

поднимаются по лестнице, пишет Могаддам, они видят все меньше и меньше вариантов выбора, пока единственным возможным результатом не становится уничтожение других, или себя, или того и другого». Опять же, модель была разработана с конкретной целью, в данном случае объясняющей теракты-смертники, и вполне возможно, что пять стадий не могут быть обобщены на широкий спектр случаев.

Наконец, наиболее детальную визуализацию дает так называемая пирамидальная модель политической радикализации, в которой более высокие уровни пирамиды связаны с увеличением приверженности, но с меньшим количеством участников. Как показано на рис.5, вершина пирамиды представляет собой небольшое количество активных террористов, число которых остается относительно небольшим, если рассматривать их по отношению ко всем тем, кто может симпатизировать их убеждениям и чувствам (например, превосходству, несправедливости, недоверию, уязвимости и т. д.). Нижний уровень активистов состоит из тех, кто сам не совершает насильственных действий, но оказывает молчаливую поддержку сидящим наверху (например, вербовка, политическая, или финансовая поддержка и т. д.). Уровень ниже состоит из гораздо большей группы сторонников, которые оправдывают их цели, за которые, по словам террористов, они борются, но также, что особенно важно, насильственные средства. Основание пирамиды состоит из гораздо большей группы сторонников, которые согласны с целями, за которые, по словам террористов, они борются. Это более широкое сообщество будет представлять собой социальную группу, которую террористическая группа утверждает (рисунок 5).



Рисунок 5. Пирамидальная модель радикализации

С точки зрения пирамиды, радикализация – это градиент, отличающий активных террористов от более широкой базы сочувствующих. Число членов и интенсивность поддержки/преданности политическому делу увеличивается с каждым уровнем, и наиболее преданные своему поведению – о чем свидетельствует их готовность идти на риск – занимают верхние позиции. Модель оставляет открытым вопрос о том, как человек движется от основания к крайним точкам вершины — элемент, который лучше всего изучен в моделях Борума и Могаддама. Интересным аспектом этой модели является то, что она уходит от индивидуального уровня и вводит роль идеологий или «рамков», связывающих террористов с их обществами в целом. Чтобы понять боевиков, важно обратить внимание на «групповую

идентификацию» или на то, как террористов волнует «то, что происходит с группой, особенно в отношениях с другими группами» (14-19).

Авторами модели являются Кларк МакКоли и София Москаленко, два психолога, которые концептуализируют «политическую радикализацию как изменение убеждений, чувств и действий в сторону поддержки и жертвования ради межгруппового конфликта» [14-19]. Однако интересное наблюдение из их работы заключается в том, что многие механизмы радикализации отдельных лиц и групп в значительной степени являются реактивными. Движущие силы не присущи конкретным людям, а обнаруживаются в контексте, в котором они живут. По сути, это реляционный подход и радикализацию негосударственных групп можно интерпретировать как ответ на действия других актёров. По словам МакКоли: «Политическая радикализация отдельных лиц, групп и массовой общественности происходит по траектории действий и реакций, в которой действия государства часто играют значительную роль. Радикализация возникает в отношениях межгрупповой конкуренции и конфликта, в которых радикализируются обе стороны. Именно эту взаимосвязь необходимо понимать, если мы хотим, чтобы радикализация не переросла в терроризм».

Выводы

Возвращаясь к терминологии, на наш взгляд, *терроризм одинокого волка* – это когда отдельный человек совершает или угрожает применением насилия, чтобы повлиять на правительство с целью политических или религиозных изменений, также причинами могут выступать и личные убеждения в том числе.

Анализ исследований феномена lone wolf в гражданской авиации также не предоставляет широкой информации по поводу того, кто может быть одиноким исполнителем террористического акта. Мы считаем необходимым рассмотреть феномен lone wolf в контексте рисунка 6. Данный рисунок наглядно демонстрирует потенциальную угрозу, исходящую от всех, кто имеет возможность посетить стратегически важный объект, такой как аэропорт, а также дает возможность пересмотреть и усовершенствовать систему защиты гражданской авиации. На данном рисунке наглядно показаны возможные угрозы, исходящие не только от пассажиров, встречающих/провожающих лиц, сотрудников (инсайдеров), а также от тех, кто странном образом оказывается на территории стратегически-важного объекта при этом не входят ни в одну предыдущую группу. Все эти группы людей могут быть либо прямым, либо косвенным образом связанными с террористическими организациями, либо могут выступать в качестве одиноких волков.

Хотелось бы отметить тот факт, что одинокие злоумышленники компенсируют недостаток ресурсов, принимая преимущество ближайших ситуационных возможностей. Согласно анализу совершенных преступлений, считаем необходимым отметить, то, что злоумышленники выбирали легкодоступные общественные места, часто посещаемые гражданскими лицами и силами безопасности (например, автовокзалы, станции посадки автостопщиков). Места, выбранные террористами, были расположены в непосредственной близости от района, где они жили или вели свою повседневную жизнь и в большинстве случаев были знакомы. Этот второй вывод соответствует выводу Кларка и Ньюмана: террористы атакуют цели, которые находятся ближе к их базе операций в их знакомой среде. Третий пример ситуативной возможности, обнаруженный в нашем исследовании, указывает на тот факт, что в большинстве атак злоумышленники использовали легкодоступные средства защиты.

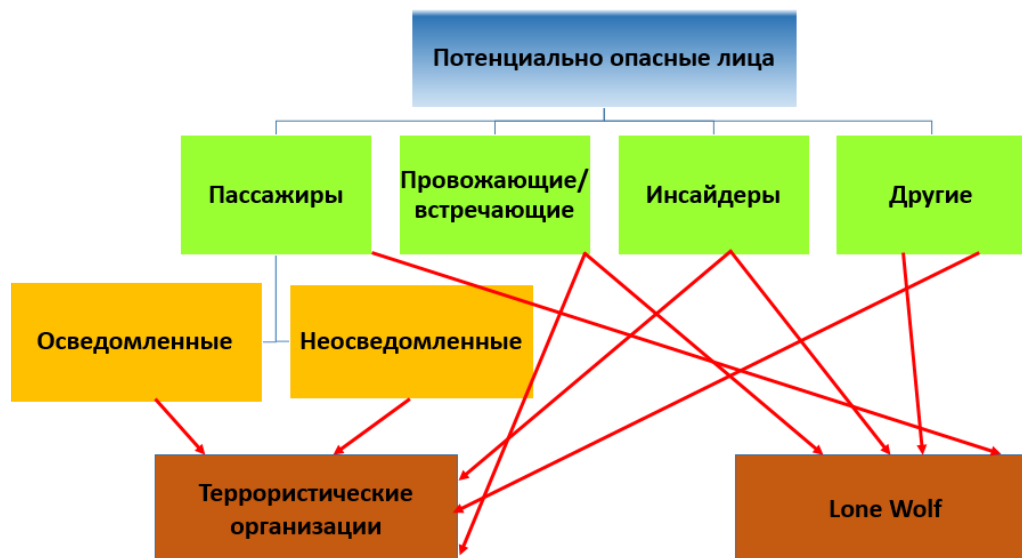


Рисунок 6. Потенциально опасные лица в гражданской авиации

Четыре визуализации, представленные выше, позволяют предположить, как может выглядеть процесс радикализации. Возрастающая сложность этих цифр, от более простых к более сложным, указывает на то, что особо следует учитывать при выявлении и противодействии радикализации, ведущей к насильственному экстремизму.

1. Террористы и радикальные группировки напоминают айсберг. Лишь небольшое меньшинство радикалов использует стратегическое насилие, чтобы привлечь внимание средств массовой информации. Большинство экстремистов не заметны и используют ненасильственные методы, которые более эффективны для достижения заявленных целей. Всегда существует база поддержки, которая иногда соглашается с действиями наиболее преданных боевиков и еще более крупного «молчаливого меньшинства», которое не любит нападать на мирное население. Борьба с терроризмом должна быть нацелена на видимую часть айсберга, тогда как борьба с радикализмом должна быть нацелена на подводную часть айсберга, которая намного больше, а не наоборот.

В подтверждении вышесказанного хотелось бы отметить слова бывшего президента США Барака Обамы в 2011 году в своем интервью CNN в адрес волков-одиночек «Наиболее вероятный сценарий, от которого нам нужно остерегаться прямо сейчас, в конечном итоге будет скорее операцией одинокого волка, чем крупной, хорошо скоординированной террористической атакой».

2. Радикализация и психические патологии не идут рука об руку. Террористические организации, как правило, вербуют дисциплинированных людей, которые могут следовать приказам и делать то, что им говорят. Непредсказуемые, нестабильные и травмированные отсеиваются. Как предполагает «лестничная модель», человек будет превращаться в террористическую группу медленно и постепенно. При этом потенциальные террористы проходят меньшие испытания, прежде чем им доверяют более важные миссии и выполняют множество ненасильственных задач, прежде чем их попросят, использовать оружие или взрывчатку. Наиболее распространенной характеристикой террористов является их нормальность.

3. Саморадикализация встречается редко. Даже замкнутым людям, которые радикализируются в Интернете, необходимо социальное взаимодействие с рекрутером на расстоянии. Факты указывают на важность соседей, групп друзей и родственников в объяснении идеологической обработки. Прогрессивная интенсификация радикальных убеждений по-прежнему ограничена территорией и во многом зависит от контекста. Более

того, радикализация среди единомышленников редко происходит в виртуальном пространстве и чаще происходит в городах и кварталах, которые служат благодатной почвой для ужесточения идеологических позиций.

4. Радикализация – это многоуровневый процесс, как предполагает модель пирамиды.

В центре этого процесса социализации находятся люди, но то, что происходит в социально-политической среде и окружающих организациях, также имеет значение. Комплексная стратегия противодействия радикализации должна учитывать индивидуальный, организационный и социальный уровень. Учитывая множество действующих причин, невозможно выделить единый причинный механизм или «террористическое мышление». События и условия, ведущие человека от радикальных идей к насильственным действиям, также многочисленны, а механизмы настолько сложны, что их необходимо разобрать, чтобы понять. Следовательно, существует явная необходимость во внедрении многоуровневого понимания радикализации, которое охватывало бы отдельных лиц, группы и массовую общественность и пыталось бы определить взаимодействие между ними.

ЛИТЕРАТУРА

1. Joel A. Capellan, “Killing Alone: Can the Work Performance Literature Help Us Solve the Enigma of Lone Wolf Terrorism?” in *Terrorism in America*, ed. Robin Maria Valeri and Kevin Borgeson (New York: Routledge, 2018), 177.
2. Edwin Bakker and Jeanine de Roy van Zuijdewijn. *Lone Actor Terrorism: Definitional Workshop*. Countering Lone Actor Terrorism Series No. 2. (London: Royal United Services Institute, 2016.): 1. https://rusi.org/sites/default/files/201512_clat_definitional_workshop.pdf
3. Mark Hamm. *Lone Wolf Terrorism in America: Using Knowledge of Radicalization Pathways to Forge Prevention Strategies*. YouTube video. (:26-1:00 mins.) National Institute of Justice, 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=px-lhuA1ZgA>
4. Raffaello Pantucci. *A Typology of Lone Wolves: Preliminary Analysis of Lone Islamist Terrorists*. (London: International Centre for the Study of Radicalisation and Political Violence (ICSR), 2011): 14-31.
5. https://icsr.info/wpcontent/uploads/2011/04/1302002992ICSRPaper_ATypologyofLoneWolves_Pantucci.pdf
6. Keith W. Ludwick Ph.D *Lone Wolf Terrorism in Legislation: A Legal Overview/Global Security and Intelligence Studies • Volume 4, Number 2 • Fall / Winter 2019*
7. Petter Nesser *Research Note: Single Actor Terrorism: Scope, Characteristics and Explanations/PERSPECTIVES ON TERRORISM, Volume!6, Issue!6 61, December!2012*
8. Kennedy LW (2010) *Applying crime theory to terrorism research*. In: Frost NA, Freilich JD and Todd RC (eds) *Contemporary Issues in Criminal Justice Policy*. Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning, 129–131
9. Spaaij R. Hamm M. (2015) *Key issues and research agendas in lone wolf terrorism*. *Studies in Conflict and Terrorism* 38(3): 167–178
10. Perry S. (2014) *Strategies of policing terrorism*. In: Bruinsma GJN and Weisburd DL (eds) *Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice*. New York: Springer.
11. Moskalenko S. McCauley C. (2011). *The psychology of lone-wolf terrorism*. *Counselling Psychology Quarterly* 24(2): 115–126.
12. Wiktorowicz, Quintan. *Radical Islam Rising: Muslim Extremism in the West*. London: Rowman & Littlefield, (2005).

13. Borum Randy. “Radicalization into Violent Extremism II: A Review of Conceptual Models and Empirical Research”, *Journal of Strategic Security*, 4:4, (2011), pp. 37-6.
14. Christmann Kris. *Preventing Religious Radicalisation and Violent Extremism. A Systematic Review of the Research Evidence*. Research Report. Youth Justice Board, (2012).
15. Clark McCauley and Sophia Moskalenko. “Mechanisms of Political Radicalization: Pathways Toward Terrorism”, *Terrorism and Political Violence*, 20:3, (2008), pp.415-433.
16. Moghaddam Fathali. “The Staircase to Terrorism”, *American Psychologist*, 60: 2, (2005), pp.161-169.
17. Neumann Peter R. *Radicalized. New Jihadists and the Threat to the West*. London & New York: I.B. Tauris, (2016).
18. Schmid Alex P. *Radicalisation, De-Radicalisation, Counter-Radicalisation: A Conceptual Discussion and Literature Review*. ICCT Research Paper, (2013).
19. Wiktorowicz Quintan. “Joining the Cause: Al-Muhajiroun and Radical Islam”, *The Roots of Radical Islam*, Department of International Studies, Rhodes College, (2004).

TƏNHA CANAVAR TIPLİ TERRORÇULARIN RADİKALLAŞMASININ TƏHLİLİ

Muxtarov R.M., Şekili Ş.P.

Milli Aviasiya Akademiyası

“Tənha canavar” terroru XXI əsrin əvvəllərindən böyük bir təhlükə kimi qalmaqda davam edir. Son on ildə fundamentalist “tənha canavar” formalı terror hücumlarının həcmi və şiddəti kəskin şəkildə artıb. 2000-ci ildən bəri ayrı-ayrı şəxslər və müstəqil qruplar tərəfindən həyata keçirilən hücumların sayı artmaqda davam edir. “Tənha canavar” terroru ilə bağlı çoxsaylı araşdırmalara baxmayaraq, bu təhlükə ilə mübarizə üçün hərtərəfli siyasət hələ də mövcud deyildir. “Tənha canavar” terroru ilə bağlı siyasətin olmamasının səbəbinin iki amili var: “Tənha canavar” terrorçuluğunun ümumi qəbul edilmiş tərifinin olmaması və mövcud hökumət böyük zorakı qrupların terror hücumlarına qarşı mübarizə üçün qanunlar və siyasətlər yaratmağa təkan verir.

Açar sözlər: Tənha canavar, radikallaşma, terrorçuluq, terror təşkilatları, terror ideologiyası, mülki aviasiyanın təhlükəsizliyi, aeroport, strateji əhəmiyyət kəsb edən obyekt.

ANALYSIS OF RADICALIZATION OF LONE WOLF TERRORISTS

Mukhtarov R.M., Shekili Sh.P.

National Aviation Academy

Lone wolf terrorism has continued to be a scourge since the beginning of the 21st century. The volume and severity of fundamentalist “lone wolf” terrorist attacks have sharply increased over the past decade. Since 2000, the number of attacks carried out by individuals and independent groups has continued to increase. Despite numerous studies of lone wolf terrorism, a comprehensive policy to combat this threat remains lacking. There are two factors of the reason for the lack of policy on

lone-actor terrorism: the lack of a generally accepted definition of lone-actor terrorism and the current government push to create laws and policies to combat terrorist attacks by large violent groups.

Keywords: lone wolf, radicalization, terrorism, terroristical organizations, terroristic ideology, security of civil aviation, aeroport, strategy important object

Рецензент: д.ф.ю.н., доц. *Нагиев Н.Т.*

Сведения об авторах

Имя, фамилия, отчество	Место работы	Должность, научная степень, научное звание	Связь
Мухтаров Рамиль Мамед оглы	Национальная Академия Авиации	Зав. кафедры «Авиационная безопасность», д.ф.т.н., доц.	mukhtarov431@gmail.com моб: (+994) 55 785 77 72
Шекили Шола Паша кызы	Национальная Академия Авиации	Кафедра «Авиационная безопасность», к.ф.-м.н., доц.	shkily1977@gmail.com моб: (+994) 77 420 04 24

İNFORMASIYA TEXNOLOGİYALARI

UOT: 303.732:004.12

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.73.

BAYES YANAŞMASI İLƏ TƏLƏBƏLƏRİN TƏDRİSDƏNKƏNAR FƏALİYYƏTLƏRİNİN AKADEMİK GÖSTƏRİCİLƏRİNƏ TƏSİRİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNİN QEYRİ- SƏLİS MODELİ

¹İsmayilov İ.M., ¹Ağayev N.B., ²Hüseynova G.B.

¹Milli Aviasiya Akademiyası, ²Azərbaycan Texniki Universiteti

Məqalədə Bayes yanaşması ilə tələbələrin tədrisdənkənar fəaliyyətlərinin akademik göstəricilərinə təsirinin qiymətləndirilməsi üçün qeyri-səlis model hazırlanmışdır. Model qurularkən tələbələrin tədrisdənkənar fəaliyyətlərinin müxtəlif növlərinə - əlavə ixtisas yönümlü kurslarda, olimpiadalarda, konfranslarda, müxtəlif elmi yarışmalarda iştirak etməsi və s. kimi fəaliyyət növlərinə baxılır. Digər tərəfdən tələbənin tədrisdənkənar bir fəaliyyətlə məşğul olması onun digər fəaliyyətlə məşğul olmasını əngəlləmir. Milli Aviasiya Akademiyasının tələbələri arasında aparılan sorğular əsasında model üzrə hesablar aparılmış və tələbənin əlavə kurslarda məşğul olması onun tədris fəaliyyətinə daha yaxşı təsir etdiyi göstərilmişdir.

Açar sözlər: Bayes yanaşması, ehtimal, şərti ehtimal, mənsubiyyət funksiyası, məxsusi ədəd, məxsusi vektor, ən yaxşı alternativ, biliklərin idarə edilməsi.

Giriş

Hazırda kompüter texnologiyalarının sürətli inkişafı nəticəsində elmi-texniki biliklərin tətbiqi xeyli sürətlənib, nəticədə digər sahələrdə olduğu kimi elm və təhsil qarşısında da yeni tələblər qoyulmuşdur. Bu tələblər nəticəsində hazırda mövcud texnologiyalardan istifadə etməklə:

-məsafə uzaqlığı, vaxt, maddi, administrativ və digər problemlər nəticəsində bilikləri əldə etməkdə yaranan çətinliklərin asan və sürətli həlli;

-böyük həcmli müxtəlif tipli informasiya resurslarının İNTERNET vasitəsi ilə istənilən istifadəçiyə çatdırılması;

-istənilən tipli sorğunu cavablandırmaq üçün statusundan asılı olmayaraq dövlət, elmi-tədqiqat, korporativ, şəxsi və s. mənbələrdə mövcud olan məlumatlara müraciət imkanı yaranmışdır.

İlkin baza biliyinə malik olan hər bir tələbə, tədris prosesində təkcə ənənəvi mühazirə, seminar və laboratoriya fənlərində verilən biliklərdən deyil, həm də müxtəlif mənbələrdən-İNTERNET-dən, müxtəlif tədris kurslarında verilən biliklərdən, viktorinalar, fənn olimpiadaları, simpozium və konfranslarda iştirak etməklə aldıkları məlumatlardan istifadə etməklə bütün tədris müddətində universitetin "tələbəsi" kimi təkmilləşir və inkişaf edir [1]. Bu halda əsas problemlərdən biri tələbənin əldə etdiyi biliklərin onun universitetlərdə aldığı biliklərə nə dərəcədə təsir etdiyinin müəyyən edilməsidir. Təhsil prosesinin tələbənin tədrisdənkənar fəaliyyəti ilə sinxronlaşdırılması tədris qrafikinə yenilənməsi və daha mütəhərrik olmasını tələb edir. Belə olan halda universitet məzununun əmək bazarının tələblərinə uyğun olaraq hansı bilikləri vermək və bu biliklərin ardıcılığının əvvəlcədən necə müəyyən edilməsi problemi yaranır. Problemin həlli istiqamətində həm elmi, həm

də praktiki tədqiqatlar müəllimlərin və tələbələrin tədris prosesində fəaliyyətlərinin analizi nəticəsində onların tədris və tədrisdənkənar fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi üçün metod və alqoritmlərin yaradılması və tədqiqi istiqamətində aparılmalıdır.

Elmi ədəbiyyatların təhlili göstərir ki, biliklərin qiymətləndirilməsi üsulları və alqoritmləri içərisində ən çox istifadə edilən metod Rash metodudur [2-4]. Rash metodu özünün sadə olması ilə digərləri ilə müqayisədə praktiki tətbiq üçün daha yararlıdır. Bu metodda mövzular üzrə hazırlıq səviyyəsi parametri (t) məlumatın çətinlik parametri (b) əvvəlcədən istifadə edilir. Rash metodu ilə j-ci tapşırığın çətinlik parametri məlum olduqda, həmin tapşırığın i-ci mövzularda olması şərti ilə tapşırığa hazırlıq səviyyəsinin ehtimalı

$$P_j(t) = \{x_{ij} = 1 | b_j\} = 1 - b_j / [t + b_j]$$

kimi ifadə olunur. Ölçmələrin nəticələri loqarifmik miqyasda ifadə edildiyi halda:

$$\theta = \ln(t), \beta = \ln(b)$$

Rash metodu ilə j-ci tapşırığın çətinlik parametri məlum olduqda, həmin tapşırığın i-ci mövzularda olması şərti ilə tapşırığa hazırlıq səviyyəsinin ehtimalı

$$P_j(\theta) = \{x_{ij} = 1 | \beta_j\} = \exp(\theta - \beta_j) / [1 + \exp(\theta - \beta_j)]$$

kimi hesablanacaq.

Digər tədqiqatlarda [3] tələbənin müəyyən baza biliklərinə malik olmasını nəzərə almaqla β_j çətinliyinə malik məsələnin həll edilməsi ehtimalı Birnbaum aşağıdakı kimi qiymətləndirilir:

$$P(\theta, \beta_j) = c_j + (1 - c_j) \frac{e^{\alpha_j(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{\alpha_j(\theta - \beta_j)}}$$

Burada c_j - j-ci tapşırığın düzgün cavabını tapmaq ehtimalı, α_j isə j-ci tapşırığın yerinə yetirilmə nəticələrinin dispersiyasından funksional asılı olan həssaslığıdır (vahid dispersiya üçün $\alpha=1,677$).

Həmin işdə [3] həmçinin tədris materiallarından kənar məlumatlardan istifadə etməklə məsələnin həll edilməsi ehtimalı Guttman modeli ilə aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$C_m = \frac{\sum(1 - K_r)\beta_r - \sum K_w\beta_w}{\sum \beta_r - \sum \beta_w}$$

Burada K_r , K_w , düzgün həllərin hüdudlarından kənara düşən və düşməyən məsələnin nəticəsidir, β_r , β_w , düzgün həllərin hüdudlarından kənara düşən və düşməyən məsələnin mürəkkəblik səviyyəsidir.

Test tapşırıqlarının yerinə yetirilməsi prosesinin tədqiqi nəticəsində təklif edilən modellərdən biri "adaptiv test idarəetmə" modelində aşağıdakı yanaşma nəzərdə tutulur [4]:

-tələbə test tapşırığını yerinə yetirən zaman heç bir çətinliklə üzləşməsə, o, daha mürəkkəb bir məsələni həll etmək arzusunda olur, əks halda o eyni mürəkkəblikdə olan məsələni həll etmək üçün bir daha cəhd edəcəkdir;

-əgər tələbə əvvəlkindən daha mürəkkəb olan test tapşırığını həll edə bilməmişsə, onda ona daha az mürəkkəblik dərəcəsi olan məsələ təqdim olunur.

Beləliklə, "bilik səviyyəsinin" hər dəfə yoxlanılması və onun faktiki bilik səviyyəsinə uyğunlaşdırılması yolu ilə məsələnin "mürəkkəblik" funksiyasının müəyyən bir "mürəkkəbliyə malik məsələni həll etmək qabiliyyəti" nə cəvrlməsindən alınır [4].

Qeyd edilən modellərdən əlavə, hazırda biliklərin kompüter qiymətləndirilməsində genetik alqoritmlər, bilik səviyyəsinin tanınma modelləri, biliyin qiymətləndirilməsinin mütləq vaxt ölçüsü modeli, neyron şəbəkələrdən istifadə etməklə biliyin qiymətləndirilməsi texnologiyaları, testlərin tərtib edilməsinin predmet-kriterial metodologiyası, biliyin statistik qiymətləndirilməsi metodları, məlumatların informativliyinin müəyyən edilməsi ilə biliklərin qiymətləndirilməsi metodu və digər

metodlar biliklərin qiymətləndirilməsinin həm nəzəri tədqiqatlarda, həm də biliklərin kompüter qiymətləndirilməsi sistemlərinin qurulmasında istifadə edilir [4]. Hazırda nəzəri tədqiqatlardan başqa, həm də müasir texnologiyaların əsasında yaradılmış müxtəlif alətlər və xüsusi paketləri özündə birləşdirən öyrənmə sistemləri - virtual və distant təhsil sistemləri, müasir simulyasiya və trenajor kompleksləri yaradılmış və geniş istifadə edilməkdədir. Bütün bu sistemlərin və uyğun metodların analizi aşağıdakı çatışmazlıqların olduğunu göstərmişdir:

-biliklərin qiymətləndirilməsi üsullarında informasiya mənbəyi kimi bütün hallarda tədris proqramlarının dəyişməyən statik mətn sənədlərinin coxluğu qəbul edilir;

-tələbələrin bilikləri onların bacarıqları və fərdi xüsusiyyətlərini nəzərə almadan eyni xarakterli testlərlə yoxlanılır;

-biliklərin qiymətləndirilməsi üsulları yalnız bir istiqamətdə: ya testlərin seçilməsi prosesində, yaxud da biliklərin qiymətləndirilməsinin vahid metodologiyasının yaradılması istiqamətində inkişaf etdirilir.

Təbii ki, qeyd edilən çatışmazlıqların bəziləri ənənəvi təhsil sisteminin xüsusiyyətlərindən irəli gəlir. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, müasir tələbənin geniş informasiya əldə etmək imkanlarının olduğunu nəzərə alaraq onların biliklərinin düzgün qiymətləndirilməsi üçün ənənəvi tədris tədrisdənkənar fəaliyyətdə əldə edilən biliklər vahid kontekstdə baxılması zərurəti qarşıya çıxır. Bu isə öz növbəsində tələbənin tədrisdənkənar fəaliyyətinin onun ənənəvi tədris fəaliyyətinə təsirinin qiymətləndirilməsi üçün metod və alqoritmlərin yaradılmasını tələb edir.

Məsələnin qoyuluşu

Tələbənin tədrisdənkənar fəaliyyəti nəticəsində əldə etdiyi bilik və bacarıqlarının ənənəvi tədrisdə qazandığı biliklərə təsirinin qiymətləndirilməsi.

Həll üsulu

Tələbənin tədrisdənkənar fəaliyyəti - çoxfaktorlu mürəkkəb proses olmaqla hər bir komponenti bir-birindən qarşılıqlı asılı və qeyri-müəyyənliklə müşayiət olunan proses kimi qiymətləndirilə bilər. Belə proseslərin modelləşdirilməsində ən çox istifadə edilən metodlardan biri də Bayes yanaşmasından istifadə etməklə qiymətləndirmə modelinin qurulmasıdır.

Naive Bayes (NB) yanaşması təsnifat məsələlərinin həllində ən çox istifadə edilən metodlardan biridir. Təsnifat məsələlərində NB-nin sadəliyi və effektivliyi onu müxtəlif sahələrdə geniş şəkildə tətbiq etməyə imkan vermişdir [6,7]. Bununla belə, NB klassifikatoru bütün xüsusiyyətlərin asılı olmaması fərziyyəsi üzərində qurulur [8]. Nəticə etibarilə, bu xüsusiyyətlər arasında, hətta konkret bir sinif daxilində asılılıq qaçılmaz olur. Bu asılılıq şərti müstəqillik fərziyyəsini pozur və verilənləri effektiv modelləşdirmək və təsnif etmək üçün alternativ yanaşmaları tələb edir. Məlumatlarda qeyri-şərtsiz asılılıq məsələsi Naive Bayes klassifikatorunun genişləndirilməsini təklif edən müxtəlif tədqiqatçılar tərəfindən həll edilmişdir [6]. Bu yanaşmaları iki əsas kateqoriyaya bölmək olar. Birincisi, bəzi tədqiqatlar alt çoxluqların seçimini və çəkirlərini təyin etməklə xüsusiyyətlərin dəyişdirilməsinə yönəlmişdir [9-10]. Yanaşmalar NB-nin təsnifat fəaliyyətini optimallaşdıran ən uyğun xüsusiyyətləri müəyyən etmək üçün axtarış strategiyasını əhatə edir. Xüsusiyyətlərin seçilməsi üsulları təsnifata töhfələrinə əsasən kritik dəyişənləri müəyyən etmək və daha az təsirli olanları aradan qaldırmaq məqsədi daşıyır. Alternativ olaraq, xüsusiyyət çəkisi alqoritmləri modeldəki bütün dəyişənləri saxlayır və onlara çəki əmsalları təyin edir. Bununla belə, bu alqoritmlər əsasən müşahidə edilən məlumatların xüsusiyyətlərinə əsaslanır və onların nəticələri də müvafiq olaraq dəyişə bilər.

Tələbənin tədrisdənkənar fəaliyyəti kifayət qədər mürəkkəb proses olduğundan və onun tərkib hissələrinin qarşılıqlı-əlaqəli və qeyri-müəyyənliklə müşayiət olunduğuna görə model Bayes yanaşması ilə qurula bilər. Qeyd edilən xarakteristikalara malik proseslərin modelləşdirilməsində Bayes yanaşmasından istifadə etməklə kifayət qədər tədqiqat işləri mövcuddur [6,7,8]. Biz Bayes yanaşması tətbiq etmək üçün ilk əvvəl tələbənin tədris və tədrisdənkənar fəaliyyətinin $H_0, H_1, H_2, H_3 \dots H_n$ hadisələrindən asılı olduğunu fərz edək. Burada H_0 - tələbənin məcburi yerinə yetirməli olduğu fəaliyyəti, H_1 - tələbənin müxtəlif kurslarda iştirak etməsi, H_2 - olimpiadalarda və ya konfranslarda, müxtəlif elmi yarışmalarda iştirak etməsi, H_3 - tələbələrə əlavə mənbələrdən, internetdən istifadə etməklə öyrənməsi və s. ola bilər.

Beləliklə, hesab edirik ki, tədrisdə tələbənin müvəffəqiyyət qazanması hadisəsi (T) bütövlükdə qeyd edilən $H_0, H_1, H_2, H_3 \dots H_n$ hadisələrinin hər hansı birinin baş verməsi ilə müəyyən edilir.

Fərz edək ki, tələbə attestasiya olunub və onun müvafiq qiymət alması hadisəsi baş verib. Başqa sözlə desək $P(T)$ ehtimalı aprior olaraq məlumdur. Bu halda T hadisəsinin baş verməsi hər hansı H_i hadisəsinin baş verməsi ilə müəyyən edilir. Başqa sözlə desək, fərz edirik ki, tələbənin müvəffəq nəticə əldə etməsi onun tədris fəaliyyəti ilə tədrisdənkənar fəaliyyətinin birlikdə baş verməsi ilə müəyyən edilir. Yəni,

$$P(T) = P(T/H_0)P(H_0) + P(T/H_1)P(H_1) + P(T/H_2)P(H_2) + \dots + P(T/H_n)P(H_n) \quad (1)$$

yaza bilərik.

(1) düsturundan istifadə edərək hər bir H_i -nin ümumilikdə tədrisdənkənar fəaliyyətlərə təsirini qiymətləndirmək olar:

$$P(H_i/H_j) = \frac{P(H_j/H_i)P(H_i)}{P(H_j)} \quad (2)$$

Beləliklə, (2) ehtimallarından təşkil edilmiş matris $(n+1) \times (n+1)$ ölçülü matris alırıq.

$$A = \begin{bmatrix} P\left(\frac{H_0}{H_0}\right) & \dots & P\left(\frac{H_0}{H_n}\right) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P\left(\frac{H_n}{H_0}\right) & \dots & P\left(\frac{H_n}{H_n}\right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

A matrisinin elementləri aprior olaraq müəyyən edilən ehtimallardır və tədrisdənkənar fəaliyyətlə məşğul olan tələbələrə statistik məlumatları əsasında hesablanabilir. Digər tərəfdən matrisin hər bir sətiri həmin sətərə uyğun fəaliyyətin digər fəaliyyətlərə münasibətini ifadə edir. Bu halda statistik məlumatlar əsasında mənsubiyyət funksiyasının qurulması metodundan istifadə edərək A matrisinin məxsusi ədədləri həmin fəaliyyətlərin mənsubiyyət funksiyasının qiymətləri kimi götürülə bilər. Bunun üçün biz cüt-cüt müqayisə əsasında mənsubiyyət funksiyasının qurulması metodundan istifadə edəcəyik [5].

Beləliklə bu metoda görə ilkin olaraq $w = (w_0, w_1, \dots, w_n)$ – məxsusi vektoru təyin edilməlidir. Bunun üçün aşağıdakı tənliyi həll etmək lazımdır:

$$A - \omega E = 0 \quad (4)$$

Burada, E – matrisi $(n+1) \times (n+1)$ ölçülü vahid matrisdir:

$$E = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$\omega = (\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n)$ – məxsusi ədəddir.

Aşağıdakı işarələməni aparaq:

$$z = \max_{0 \leq i \leq n} \omega_i = \max(\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n) \quad (6)$$

Normalaşdırma şəraitini nəzərə almaqla z məxsusi ədədinə uyğun α - məxsusi vektorunu təyin edə bilərik. Bu halda həll aşağıdakı tənliklər sistemi ilə təyin edilir:

$$\begin{cases} \sum_{j=0}^n a_{ij} \alpha_j = z \alpha_i, i = 0, 1, \dots, n \\ \sum_{j=0}^n \alpha_j = 1 \end{cases} \quad (7)$$

(7) sisteminin əsas matrisinin determinantı sıfırdan fərqli olduğuna görə sistemin yeganə həlli mövcuddur. (7) tənliklər sistemində uyğunsuzluq vəziyyətindən uyğunluq vəziyyətinə

$$\varphi_i = 1 - \alpha_i \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (8)$$

düsturu ilə keçə bilərik.

$$\mu_0 = \sum_{j=0}^n \varphi_j \quad (9)$$

qəbul etsək və μ_i - mənsubiyyət funksiyasının qiymətlərini hesablaya bilərik [5]:

$$\mu_i = \varphi_i / \mu_0 \quad (10)$$

Beləliklə, hər H -fəaliyyət üçün mənsubiyyət funksiyasını aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$\mu(H) = \left\{ \frac{\mu(H_0)}{H_0}, \frac{\mu(H_1)}{H_1}, \dots, \frac{\mu(H_n)}{H_n} \right\} \quad (11)$$

Belə yanaşma tətbiq olunduqda, qeyd edilən fəaliyyətlərin akademik göstəricilərə təsirinin qiymətləndirilməsi üçün həllərin maksimumları meyarını qəbul edə bilərik. Bu metoda görə,

$$\mu(H_k) = \max_{k=0, n} \mu_i(x_k) \quad (12)$$

alternativi ən yaxşı alternativ variant kimi mənsubiyyət funksiyasının malik olduğu ən böyük qiymətə uyğun olaraq seçilir.

Yuxarıda qeyd edilən üsul “həllər matrisinin” bütün mümkün variantlarından elə bir alternativ variantı seçməyə imkan verir ki, hadisələrin inkişafının ən yaxşı halında (səmərəliliyin maksimallaşdırılmış qiymətində) maksimal qiymətlərin ən böyüyünə malik olsun.

Hesablama təcrübəsi. Fərz edək ki, tələbələr üç növ tədrisdənkənar fəaliyyətlə məşğul olurlar. Bu fəaliyyətlə məşğul olan və müvəffəqiyyət qazanan tələbələrin aprior ehtimalları

$$P(H_i) = \frac{m_i}{N} \quad i=1,3 \quad (13)$$

kimi hesablanacaq. Burada m_i i -ci fəaliyyətlə məşğul olan tələbələrin sayı, N müvəffəq göstəricilərə malik tələbələrin ümumi sayıdır. Qeyd edək ki, biz bütün hallarda tədrisdə attestasiyalardan müvəffəqiyyət qazanan tələbələri nəzərdə tuturuq. Tədrisdənkənar i -ci fəaliyyətlə məşğul olan tələbələrin j -ci fəaliyyətlə məşğul olanların sayını m_j ilə işarə edək. Bu halda

$$P(H_j/H_i) = \frac{m_j}{m_i} \quad (14)$$

aprior ehtimalında istifadə edə bilərik. MAA-nın müxtəlif fakültələrində oxuyan tələbələr arasında tədrisdənkənar fəaliyyətlə məşğul olan tələbələrin göstəriciləri haqqında aparılan sorğu əsasında toplanmış statistik məlumatlar cədvəl 1-də qeyd olunub. Burada nəzərdə tutulur ki, müvəffəq göstəricilərə malik tələbələrin ümumi sayı 320 nəfərdir.

Cədvəl 1-ə əsasən (13) və (14) düsturları ilə hesablamalar apara bilərik. Nəticələr cədvəl 2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 2 məlumatlarından istifadə etməklə (4) və (5) düsturları ilə məxsusi ədədləri hesablayırıq:

$$\omega_0 = 0.043 \quad \omega_1 = 0.9008 \quad \omega_2 = 0.99441 \quad \omega_3 = 2.06177$$

Cədvəl 1

Tədrisdənkənar fəaliyyətlə məşğul olan tələbələrin göstəriciləri

	Fəaliyyətin növü	H_0	H_1	H_2	H_3
H_0	Tədris materialları ilə hazırlaşanlar	320	60	10	310
H_1	Müxtəlif kurslarda məşğul olanlar	60	60	2	20
H_2	Olimpiadalarda, konfrans və yarışlarda məşğul olanlar	10	3	10	10
H_3	Kitabxanalarda, internetdə məlumat əldə edənlər	310	15	8	310

Cədvəl 2

Tələbələrin tədrisdənkənar fəaliyyətlərinin aprior ehtimalları

	$P(H_0/H_i)$	$P(H_1/H_i)$	$P(H_2/H_i)$	$P(H_3/H_i)$
$P(H_i/H_0)$	1	0.1875	0.03125	0.96875
$P(H_i/H_1)$	0.1875	1	0.03333	0.3333
$P(H_i/H_2)$	0.03125	0.3333	1	1
$P(H_i/H_3)$	0.96875	0.048387	0.025806	1

(6) düsturu ilə məxsusi ədədlər içərisində ən böyük olan ω_3 məxsusi ədədi üçün (7) sisteminin həlli $\alpha_0 = 0.2801 \quad \alpha_1 = 0.1437 \quad \alpha_2 = 0.307 \quad \alpha_3 = 0.2692$

məxsusi vektorun koordinatlarını müəyyən edir. (8) ifadəsi ilə uyğunsuzluq vəziyyətindən uyğunluq vəziyyətinə keçməklə (9) - (10) düsturları ilə mənsubiyyət funksiyasının qiymətlərini hesablaya bilərik.

Beləliklə, (8) - (10) düsturlarından istifadə etməklə mənsubiyyət funksiyasını qura bilərik

$$\mu(H) = \left\{ \frac{0.2399}{H_0}, \frac{0.2854}{H_1}, \frac{0.2301}{H_2}, \frac{0.2436}{H_3} \right\}$$

(12) - (13) düsturlarına görə ən yaxşı alternativ (12) düsturuna görə - H_1 -tələbənin müxtəlif kurslarda iştirak etməsi alınır. Ən yaxşı alternativin tələbələrin kurslarda əlavə məşğul olmaları kimi

alınmasını əsasən onların maraq dairələri və gələcək ixtisaslarına daha yaxşı yiyələnmək istəyi ilə izah edilməlidir.

Nəticə və tövsiyələr

1. Bayes yanaşması ilə tələbələrin tədrisdənkənar fəaliyyətlərinin akademik göstəricilərinə təsirinin qiymətləndirilməsinin qeyri-səlis modeli təklif edilmişdir. Qeyd edilmişdir ki, Bayes yanaşması ilə göstəricilərin bir-birinə təsirini qiymətləndirmək mümkün olsa da, bu təsirlərdən hansının digərlərindən üstün olduğunu göstərə bilmir. Belə ki, tədrisdənkənar fəaliyyətin hər bir növü tələbənin akademik göstəricilərinə müsbət təsir edir. Bu təsirin qiymətləndirilməsi tələbələrin dünyagörüşünün formalaşması ilə bərabər, həm də onların tədris fəaliyyətlərinin istiqamətləndirilməsində mühüm əhəmiyyətə malikdir.

2. Bayes yanaşması ilə müəyyən edilən şərti ehtimallardan istifadə etməklə “cüt-cüt müqayisə əsasında mənsubiyyət funksiyasının qurulması” metodundan istifadə edərək tədrisdənkənar fəaliyyətin hansı növünün tələbələrin tədris fəaliyyətlərinə daha yaxşı təsir etməsini müəyyən edən qeyri-səlis model təklif edilmişdir.

3. Təklif edilən model əsasında MAA tələbələri arasında aparılan sorğu ilə onların tədrisdənkənar fəaliyyətləri haqqında statistik məlumat toplanılmış və uyğun aprior ehtimallar müəyyən edilmişdir. Aparılan hesablamalar eksperimenti nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sorğuya cəlb edilmiş tələbələr arasında əlavə kurslarda məşqul olmaq tədris fəaliyyətində digər növ tədrisdənkənar fəaliyyətlə məşqul olmaqdan daha çox müvəffəqiyyət üstünlüyünə malikdir.

4. Təklif edilən model tədrisdənkənar fəaliyyətin sayına və növlərinə məhdudiyət qoymur və istənilən sayda fəaliyyət növü üçün tətbiq edilə bilər. Müxtəlif kurslar, qruplar və ixtisaslar üzrə aparılan hesablamalar əsasında bütövlükdə tədris istiqaməti üzrə tələbələrin ən çox müvəffəqiyyət qazandığı fəaliyyəti müəyyən etmək olar, bu isə tədrisin keyfiyyətini yüksəltmək üçün görülməsi tələb olunan işlərin planlaşdırılmasında istifadə edilə bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Зайцева Л.В., Прокофьева Н.О. Проблемы компьютерного контроля знаний //Proceedings. IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2002). 9-12 September 2002/ Kazan, Tatarstan, Russia, 2002. - P.102-106.
2. Гусятников В.Н., Безруков А.И., Каюкова И.В. Методы оценки уровня формируемых компетенций на основе модернизированной модели Раша//Современные проблемы науки и образования. –2014. –№6.<https://www.science-education.ru/ru/article/-view?id=16584>
3. Белоус Н.В., Куцевич И.В. Модель адаптивного контроля знаний. //Радиоэлектроника, Информатика, Управління N:1 (22) год 2010 стр. 39-44.
4. Буль Е.Е. Сравнительный анализ моделей обучаемого.[//www.ict.edu.ru/ft/tm2003-D.pdf](http://www.ict.edu.ru/ft/tm2003-D.pdf).
5. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Рига, Знанийе, 1990, 184 стр.
6. Langarizadeh M., Moghbeli F. Applying naive bayesian networks to disease prediction: a systematic review. Acta Informatica Medica. 2016, 24(5), 364.
7. Salma A., Silfianti W. Sentiment analysis of user reviews on covid-19 information applications using naive bayes classifier, Support Vector Machine, and K-Nearest Neighbor. Int Res J Adv Eng Sci. 2021, 6(4):158–62.

8. Wickramasinghe I., Kalutarage H. Naive Bayes: applications, variations and vulnerabilities: a review of literature with code snippets for implementation. *Soft Computing*. 2021, 25(3), 2277–93.
9. Dey Sarkar S., Goswami S., Agarwal A., Aktar J. A novel feature selection technique for text classification using Naive Bayes. *Int Sch Res Notices*. 2014, 2014:717092.
10. Nino-Adan I., Manjarres D., Landa-Torres I., Portillo E. Feature weighting methods: A review. *Expert Syst Appl*. 2021, 184:115424.

REFERENCES

1. Zaytseva L.V., Prokofyeva N.O. Problemi komputernogo kontrolya znaniy //Proceedings.IEEE International Conference on Advanced Learning Technjlogies (ICALT 2002). 9-12 September 2002./ Kazan, Tatarstan, Russia, 2002. p.102-106.
2. Gusyatinikov V.N., Bezrukov A.I., Kayukova I.V. Metodi otsenki urovnya formiruyemikh kompetentsiy na osnove modernizirovannoy modeli Rasha//Sovremennye problemi nauki i obrazovaniya. 2014, №6. <https://www.science-ducation.ru/ru/article/-view?identifikator=16584>
3. Belous N.V., Kutsevich I.V. Model adaptivnogo upravleniya znaniyami. //Radioelektronika, Informatika, Upravleniya N:1 (22) god 2010 str. 39-44.
4. Bul E.E. Sravnitelniy analiz modeley obuchaemogo. //www.ict.edu.ru/ft/tm2003-D.pdf.
5. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatiye resheniy na osnove nechetskikh modeley. Riga, Znaniye, 1990, 184 str.
6. Langarizadeh M., Moghbeli F. Applying naive bayesian networks to disease prediction: a systematic review. *Acta Informatica Medica*. 2016, 24(5):364.
7. Salma A., Silfianti W. Sentiment analysis of user reviews on covid-19 information applications using naive bayes classifier, Support Vector Machine, and K-Nearest Neighbor. *Int Res J Adv Eng Sci*. 2021, 6(4):158–62
8. Wickramasinghe I., Kalutarage H. Naive Bayes: applications, variations and vulnerabilities: a review of literature with code snippets for implementation. *Soft Computing*. 2021, 25(3):2277–93.
9. Dey Sarkar S., Goswami S., Agarwal A., Aktar J. A novel feature selection technique for text classification using Naive Bayes. *Int Sch Res Notices*. 2014, 2014:717092.
10. Nino-Adan I., Manjarres D., Landa-Torres I., Portillo E. Feature weighting methods: A review. *Expert Syst Appl*. 2021,184:115424

FUZZY MODEL FOR ASSESSING THE IMPACT OF STUDENTS' EXTRACURRICULAR ACTIVITIES ON ACADEMIC INDICATORS USING A BAYESIAN APPROACH

Ismailov I.M., Aghayev N.B., Huseynova G.B.

National Aviation Academy, Azerbaijan Technical University

In the article, fuzzy model was developed for evaluating the impact of students' teaching and extracurricular activities on their academic performance using the Bayesian approach. During the construction of the model, various types of extracurricular activities of the students - participation in specialized courses, Olympiads, conferences, various scientific competitions, etc. types of activities

are considered. On the other hand, the fact that a student is busy with an activity outside of teaching does not prevent him from being busy with other activities. Based on surveys conducted among MAA students, reports on the model were made and it was shown that the student's involvement in additional courses has a better effect on his academic performance.

Keywords: Bayesian approach, probability, conditional probability, membership function, positive number, eigenvector, best alternative, knowledge management.

Rəyçi: *f.-r.e.n., dos. İbrahimova S.R.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
İsmayılov İsmayıl Mahmud oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Aerokosmik informasiya sistemləri kafedrası, t.e.d, prof.	ismayil.maa@gmail.com mob: (+994) 50 387 02 79
Ağayev Nadir Bafadin oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Kompüter sistemləri və proqramlaşdırma kafedrası, t.e.d, prof.	nadiraghayeva@naa.edu.az mob: (+994) 50 372 57 01
Hüseynova Gülşən Baba qızı	Azərbaycan Texniki Universiteti	Kompüter texnologiyaları kafedrası, ass.	gulshan.huseynova@aztu.edu.az mob: (+994) 55 673 79 74

UOT: 656.7 004.5

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.82.

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASINDA HAVA YOLLARININ DİAQNOSTİKASI ÜÇÜN ÜMUMİLƏŞDİRİLMİŞ MODEL

Babayev H.B., Muxtarov P.Ş.
Milli Aviasiya Akademiyası

Bu məqalədə hava nəqliyyatı hərəkətini idarə edən (HHİE) dispetçerin mümkün risklərə nəzarəti, onları idarə edə bilməsi üçün əvvəlcədən bu risklər haqqında məlumatlı olması üçün hava yollarının diaqnostik modeli barədə tədqiqat aparılıb. Belə yanaşma HHİE və uçuşların təhlükəsizliyini təmin etmək üçün səmərəlidir. HHİE dispetçerlərinin qarşılaşdığı risklər bütün aviasiya üzrə istehsalat prosesləri də daxil olmaqla çox müxtəlif spektrdə təhlükələr yarada bilər. Lakin risk yaradan amillərə nəzarət və onların idarə edilməsi qərar qəbul edilməsi prosesini yaxşılaşdırır, mənfə nətəcələrin qarşısını vaxtında almağa imkan verir.

Açar sözlər: M747 hava yolu, kəşifən hava yolları, münəqişəli vəziyyət, hava nəqliyyatının axını, hava nəqliyyatının sıxlığı, HHİE, dispetçer, risk faktorları, uçuşların təhlükəsizliyi.

Problemin aktuallığı: Hava hərəkəti dispetçerinin peşəkar fəaliyyəti açıq və gizli formada, habelə obyektiv və subyektiv xarakterli müxtəlif amillərin, o cümlədən fərqli xarakterli risklərin təsiri altında işlənilib hazırlanmış və həyata keçirilən fasiləsiz qərarların silsiləsi kimi təqdim olunur. Seçimin optimal yekun nəticəsi potensial münəqişə vəziyyətlərinin qarşısını almaqdır.

Tədqiqatın aktuallığı. Hava nəqliyyatının hərəkət axınları və intensivliyinin artan istiqamətdə davam etməsi, hava məkanında uçuşların dizayn edilməsi zamanı istifadəçilərin müxtəlif tələblərinə əməl etmək zərurəti və aviasiya sistemlərinin fasiləsiz uçuş şəraitində istismar edilməsi hər bir hava yolunda potensial münəqişəli nöqtələrin təhlil edilməsini zəruri edir. Hava nəqliyyatının hərəkətini idarə edən (HHİE) dispetçerin risklərə nəzarəti və uçuşların təhlükəsizliyini təmin etməsi üçün hər bir hava yolunda potensial münəqişəli nöqtələri əvvəlcədən bilməklə risklərə qarşı müvafiq qərar qəbul etməsi bu problemin aktuallığını göstərir.

Hava yolu (marşrutu) - hava gəmilərinin uçuşları üçün dizayn edilmiş, məhdud hündürlüyə və enə malik olan, həmçinin radorabitə, naviqasiya, müşahidə və hava nəqliyyatının hərəkətini idarəetmə vasitələri ilə təmin edilmiş hava məkanının əsas elementidir [1-4].

Bildiyimiz kimi, hava məkanı əsasən aşağıdakı kimi təyin olunur:

- yuxarı hava məkanı - yüksək hündürlükdə uçuşların yerinə yetirilməsi üçün hava yolları;
 - aşağı hava məkanı - aşağı hündürlükdə uçuşların yerinə yetirilməsi üçün hava yolları.
- Öz növbəsində hava yolları da aşağıdakı növlərə bölünür:
- beynəlxalq uçuşlar üçün;
 - daxili uçuşlar üçün (daxili hava marşrutları təyyarələrin və helikopterlərin uçuşları üçün nəzərdə tutulur).

Hava yolları aşağıdakı məkanlarda yerləşə bilər:

- nəzarət olunan hava məkanında;
- nəzarət olunmayan hava məkanında;
- məsləhət xidməti - Məsləhət marşrutları;
- RNAV üzrə naviqasiya marşrutları.

Hava yolu hündürlüyü məhdudlaşdırılan ərazilərdən keçə bilər.

Hava yollarında hərəkəti aşağıdakı texniki vasitələrlə təmin edilə bilər:

- müşahidə vasitələri ilə;
- müşahidə vasitələri olmadan;
- naviqasiya vasitələri ilə;
- naviqasiya vasitələri ilə olmadan.

Hər bir hava yolunun adı olmalıdır, məsələn: Airway L850.

Hava marşrutunda hava nəqliyyatının uçuşları VMS, IMS və SVMS-ə uyğun həyata keçirilir.

Şaquli müstəvi üzərində hava yolu hava nəqliyyatının bir-birindən şaquli ayırması əsasında qurulur. Şaquli ayırma təyyarənin hündürlüyə görə ayrılmasıdır.

Hava marşrutları məntəqələr arasında ən qısa məsafəyə uyğun olaraq, qadağan olunmuş ərazilərdən, poliqonlardan, xüsusi uçuş zonalarından və s. keçə bilər. Hava nəqliyyatının hərəkətinin sıx olduğu ərazilərdə paralel hava yolları yaradıla bilər. Qadağan olunmuş, təhlükəli, xüsusi və digər zonalar hava məkanının digər elementlərindən ən azı 10 km uzaqlaşdırılmalıdır.

Hava marşrutu beynəlxalq standartların və tövsiyə edilən təcrübələrin tələblərinə uyğun olmalıdır:

- hava marşrutunun və/və ya yerli hava marşrutunun təyinatı (indeksi) və onun üzərində qurulmuş əsas məntəqələr lazımdır;
- müəyyən hava yolu üçün müəyyən edilmiş minimum yüksəkliklər olmalıdır;
- ərazi üzrə naviqasiya (RNAV) marşrutları da daxil olmaqla hava yolu üçün nəzərdə tutulmuş RNP növü təyin edilməlidir;
- hava yolu boyunca radionavigasiya vasitələrinin və radar avadanlıqlarının yerləşdirilməsi üçün meyarlar müəyyənləşdirilməlidir;
- rabitə, naviqasiya və müşahidə vasitələrinin siyahısı və yerləşmə sxemləri olmalıdır;
- çox yüksək tezliklərin (VHF – Veri High Frequency) təyin edilmiş diapazonu, həmçinin tezliklərin təsdiqlənmiş siyahısı və uçuşun hündürlüyü üçün qiymət cədvəlləri olmalıdır;
- iki tərəfli rabitə kanalları "hava-yer" təmin edilməlidir;
- keçid yollarının şaquli sərhədləri təyin edilməlidir;
- hava yolunun əsas (naviqasiya) nöqtələrinin coğrafi koordinatlarına dair məlumat olmalıdır.

Hava nəqliyyatı dispetçərləri aşağıdakıları bacarmalıdır:

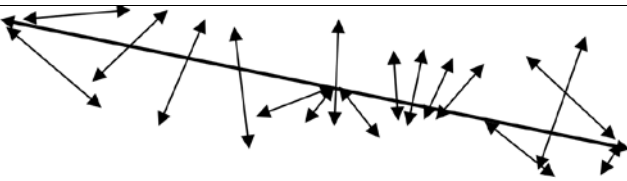
- hava nəqliyyatı hərəkətinin kəmiyyət xüsusiyyətlərini və onların hava marşrutlarında istifadəsini qiymətləndirməyi;
- hava nəqliyyatı hərəkətinin təşkil etməyi, idarəetməni, təhlükəsizliyin təmin edilməsi üçün əsas hesablamaları yerinə yetirməyi (HHİE zonalarının ölçüləri, hava gəmilərinin hərəkət sxemləri, hava marşrutlarında münəqişəli nöqtələri, hava nəqliyyatı hərəkətinin intensivliyini təhlil etməyi və vaxtında qərar qəbul etməyi və s.);
- hava nəqliyyatı hərəkətinin təşkili və idarəetmə prosesində təhlükəsizlik hesablamalarını və müxtəlif HHİE zonalarında müvafiq hesablamaları yerinə yetirməyi.

Cədvəl 1-dən görüldüyü kimi, "L850" hava yolunda 11 münəqişəli nöqtə var. Bunlardan 9

nöqtə digər uçuş yolları ilə kəsir və 7 nöqtə isə keçid yolları ilə birləşir.

Cədvəl 1

Azərbaycan Respublikasının hava məkanından L850 hava yolunun parametrləri

1.	Hava yolun (HY)	L850
2.	HY uzunluğu	222,7 nm
3.	HY eni	5,4 nm
4.	HY istiqaməti: EW – WE	101° - 281° BEKIR, 103° - 283° ERLEV, 106° - 286° SAGIL, BAKUV 108° - 288° DUKAN
5.	Nəzarət nöqtələri	ADEKI - BEKIR - ERLEV - SAGIL - BAKUV - ABROL - DUKAN
6.	N50 - hava yolunun strukturu	
7.	HY üzərində münaqişə nöqtələrinin sayı	Ümumi - 11, kəsişən - 9, birləşən - 7.
8.	Hava yolunun təsnifatı	C
9.	Ayrımlar (eşelonlar)	FL 660↓ - Upper FL050↑ - Lower
10.	Hava yolunun buraxılış qabiliyyəti: $L_{interval} = 10$ nm	22 HG
11.	İdarəetmə zonası	Bakı ACC

HHİE sisteminin effektivliyinə bir çox amillər təsir göstərir: hava məkanının strukturu, hava yollarında münaqişə nöqtələrinin sayı və onun radionəzarət dərəcəsi, təyyarələrin növləri, hava nəqliyyatı hərəkətinin xüsusiyyətləri, onların hərəkət konfigurasiyası, meteo şərait və s. Lakin bu sistemin effektivliyinin müəyyən edilməsində insan əməyi, daha doğrusu HHİE dispetçerlərinin və digər mütəxəssislərin fəaliyyəti böyük rol oynayır. Eyni zamanda qərarın qəbul edilməsi və həyata keçirilməsi zamanı HHİE dispetçerinin fəaliyyətinin xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla bu fəaliyyətin effektivliyinin əldə etmək kifayət qədər çətindir.

Cədvəl 2-də [1] qeyd edildiyi kimi Azərbaycan Respublikasının hava məkanında 290 münaqişə nöqtəsi mövcuddur. Bu məlumat HHİE dispetçerinə hava məkanında hava gəmilərinin hərəkətini vaxtında təhlil etməyə və bu problemi həll etmək və ya riskə nəzarət etmək üçün risklər tətbiq etmədən hava gəmiləri arasında təhlükəsiz intervallar yaratmaq üçün vaxtında qərar qəbul etməyə imkan verir. Bu proses “risk amilinə nəzarət və onun idarə edilməsi” adlanır.

HHİE dispetçerləri hər gün müxtəlif risklərlə üzləşir, onların bir çoxu operatorun həyat qabiliyyətini təhdid edə bilər, bəzi hallarda isə bütün aviasiya üzrə istehsalat prosesini təhlükə altına qoya bilər. Məlum olduğu kimi, risk biznes fəaliyyətinin əlavə məhsuludur. Bütün risk amillərini aradan qaldırmaq mümkün deyil və bütün mümkün risklərin azaldılması tədbirləri isə iqtisadi cəhətdən sərfəli deyil. Aviasiya sənayesinə xas olan risklər və xərclər qərarların qəbuluna rəasional

yanaşma tələb edir. Qərarlar hər gün real vaxt rejimində verilmiş risk faktoru ilə bağlı hər hansı mənfi nəticələrin ehtimalı və şiddəti ilə bu riskin aradan qaldırılmasından sonra gözlənilən fayda arasında tarazlığa əsaslanaraq qəbul edilir. Bu proses "risk amilinə nəzarət və onun idarə edilməsi" kimi tanınır.

Cədvəl 2

Azərbaycan Respublikasının hava məkanından seçilmiş 40 hava yolu [1]

№	HY	HY-nin başlanğıcı və axırında olan nəzarət nöqtəsi	HY-nun uzunluğu, nm	Bir eşelonda HY-nın buraxılış qabiliyyəti: $L_{interval}=10\text{ nm}$	Münaqişə nöqtələri		
					HY üzrə	Kəsişən yollar üzrə	Birləşən yollar üzrə
1	L125	NEGAN - DULAV	57,5	5 HG	1	-	1
2	L850	ADEKI - DUKAN	222,7	22 HG	11	9	2
3	M11	MATAL - RODAR	276,6	27 HG	10	7	3
4	M23	BISNA - MARAL	112,4	11 HG	7	6	1
5	M737	DISKA - NETON	167,9	16 HG	8	7	1
6	M747	BARAD - BODKA	305,2	30 HG	10	10	-
7	N23	MOTEG - ULDUS	251,5	25 HG	10	9	1
8	N25	MOTEG - LALDA	226,2	22 HG	11	10	1
9	N35	NAMAS - RODAR	27,6	2 HG	2	-	1
10	N39	LASKA - ULDUS	272,3	27 HG	11	6	5
11	N41	AMOKU - DUKAN	41,4	4 HG	2	-	1
12	N43	BUMAR - METKA	140,5	14 HG	7	6	1
13	N50	LASKA - MARAL	106,7	10 HG	6	4	2
14	N55	BAKUV - BALUN	112,5	11 HG	7	6	1
15	N59	INSAN - PARSU	74,6	7 HG	5	4	1
16	N60	GASBI - LALDA	251,4	25 HG	14	12	2
17	N67	BUMAR - NOVBA	67,4	6 HG	3	2	1
18	N70	BALUN - ROPKA	77,2	7 HG	6	4	2
19	N72	BISNA - BATEV	249,5	24 HG	17	14	3
20	N73	BALUN - AMIRU	72,9	7 HG	5	4	1
21	N81	LASKA - ROPKA	81,2	8 HG	4	2	2
22	N161	PEMAN - GASBI	245,6	24 HG	15	14	1
23	N199	VETEN - GYD	195	19 HG	7	5	2
24	N319	ADEKI - ULDUS	281,1	28 HG	9	7	2
25	N449	VETEN - DUKAN	255,9	25 HG	9	7	2
26	N644	ADEKI - RODAR	221,7	22 HG	10	8	2
27	N996	IRLAN - DULAV	18,6	1 HG	9	7	2
28	P130	ELSIV - BODKA	288,1	28 HG	14	13	1
29	P567	MATAL - ULDUS	306,8	30 HG	9	7	2
30	P574	RITUL - ULDUS	251	25 HG	11	10	1
31	T440	BAMAK - NASIL	49,1	4 HG	3	1	2
32	T444	GILAB - XERBO	12,2	1 HG	4	4	-
33	T447	PENOB - INSAN	60	6 HG	5	5	-
34	T480	BAMAK - PIROG	61,3	6 HG	3	1	2
35	T914	NASIL - MOSUM	53,4	5 HG	5	5	-
36	T916	MATAL - LEYLA	114,7	11 HG	6	5	1
37	T921	ADEKI - POLAD	22,4	2 HG	2	1	1
38	T923	SUBUT - ERLEV	110,7	11 HG	5	5	-
39	Y124	ARTEK - EKRAM	51,4	5 HG	3	2	1
40	Y125	EKRAM - SITON	51,8	5 HG	4	3	1
Cəmi:			5846,3 nm	473 HG	290	232	56
Bütün hava yolları üzrə münaqişəli nöqtələrin ümumi sayı:				290			

Risk hər hansı bir təhlükə amilinin təsirindən yarana bilən mənfi nəticələrin təxmin edilən ehtimalıdır. Nəticədə isə potensial təhlükənin zərərvermə ehtimalının reallaşması ehtimalıdır.

Riskin qiymətləndirilməsi hər hansı mənfi təsirlərin həm ehtimalının, həm də şiddətinin nəzərə alınmasını nəzərdə tutur. Başqa sözlə, potensial zərər müəyyən edilir. Risk qiymətləndirilməsini apararkən təhlükələri və riski fərqləndirmək vacibdir.

Nəticə

HHİE dispetçeri Azərbaycan Respublikasının hava məkanında bütün potensial münaqişəli nöqtələr haqqında məlumatlı olduqda, o, hava gəmilərinin hərəkətini idarə edərək risk amillərinə nəzarət, onu idarə etmək və eyni zamanda hava nəqliyyatı hərəkətinin təhlükəsizliyini təmin etmək imkanlarına malik olur. Məqalədə verilən diaqnostik model HHİE zamanı risk yaranan amillərə nəzarəti, onların idarə edilməsini və qərar qəbul edilməsi prosesini yaxşılaşdırır, mənfi nəticələrin qarşısını vaxtında almağa imkan verir.

ƏDƏBİYYAT

1. Azərbaycan Respublikasının Aeronaviqasiya Məlumatlar Xidmətinin nəşrlər toplusu-19 dekabr 2022. AIP - Aeronautical Information Publication. [UB-ENR-6-en-GB.pdf](#)
2. ICAO Doc. 9859, Safety Management Manual (SMM) Third Edition. Order Number: 9859. ISBN 978-92-9249-214-4 Canada: Montréal, 2013, p.254.
3. ICAO Doc. 4444. Procedures for Air Navigation Services (PANS) - Air Traffic Management. Order Number: 4444. ISBN 978-92-9258-081-0. 16th Edition, Canada: Montréal, 2016, p. 464.
4. В.З. Султанов, Г.И. Кулиев, П.Ш. Мухтаров. Организация управление воздушным движением. Баки, 2005, 270 с.

REFERENCES

1. [Azerbaijan Respublikasının Aeronavigasiya Məlumatlar Xidmətinin neshler toplusu-19 dekabr 2022. AIP - Aeronautical Information Publication. UB-ENR-6-en-GB.pdf](#)
2. ICAO Doc. 9859, Safety Management Manual (SMM) Third Edition. Order Number: 9859. ISBN 978-92-9249-214-4 Canada: Montréal, 2013, p.254.
3. ICAO Doc. 4444. Procedures for Air Navigation Services (PANS) - Air Traffic Management. Order Number: 4444. ISBN 978-92-9258-081-0. 16th Edition, Canada: Montréal, 2016, p.464.
4. V.Z. Sultanov, G.I. Kuliev, P.Sh. Mukhtarov. Organizatsiya upravlenie vozdushnim dvizheniem. Baki, 2005, 270s.

**GENERAL MODEL FOR DIAGNOSIS OF AIR LINES IN THE REPUBLIC OF
AZERBAIJAN**

Babayev H.B., Muxtarov P.Ş.
National Aviation Academy

In this article, a study was conducted on the diagnostic model of airlines so that the air traffic controller (ATCO) can control the possible risks and be aware of these risks in advance so that he can manage them. Such an approach is efficient to ensure ATC and flight safety. The risks faced by ATCOs can present a wide spectrum of hazards, including all aviation manufacturing processes. However, control and management of risk factors improves the decision-making process and allows to prevent negative consequences in time.

Keywords: *Airway M747, intersecting airways, conflict situation, air traffic flow, air traffic congestion, HHIE, dispatcher, risk factors, flight safety.*

Rəyçi: *t.e.d. Kərimli T.İ.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Babayev Hüseyn Babaoğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Aeronaviqasiya kafedrasının müdiri, t.f.d., dosent	dr.huseyn.babaoğlu@gmail.com mob: (+994) 50 677 14 29
Muxtarov Peyman Şirin oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Aeronaviqasiya kafedrasının müəllimi, dosent	peyman.mukhtarov@gmail.com mob: (+994) 50 397 78 43

FƏZA MEXANİZMLƏRİNİN XARAKTERİK NÖQTƏLƏRİNİN SÜRƏTLƏRİNİN TƏYİNİ ÜÇÜN 3D KOMPÜTER MODELİ ƏSASINDA YENİ QRAF-ANALİTİK ÜSUL

Mustafayev M.R., Pənahova N.C., Həsənov A.F., Rəhimova S.M.

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə fəza mexanizminin xarakterik nöqtələrinin mütləq və ayrı-ayrı nöqtələrinin bir-birinə nəzərən nisbi sürətinin təyini üçün 3D kompüter modelinə əsaslanmış sadə, yüksək dəqiqliyə malik yeni qraf-analitik üsul təklif olunur. Həmçinin üçölçülü kompüter modeli əsasında ilk dəfə olaraq sürətlər planının qurulma qaydası işlənmiş və ondan istifadə edərək beşbəndli fəza dirsək-mancanaq mexanizminin sürətlər planının üçölçülü kompüter modeli qurulmuşdur. Təklif olunan üsulla alınan nəticələrin doğruluğu, beşbəndli fəza dirsək-mancanaq mexanizminin nümunəsində təklif olunan üsulla alınmış sürət vektorları əsasında qurulmuş sürətlər 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, kompüter modeli, qraf analitik üsul, AutoCAD, AutoLİSP.

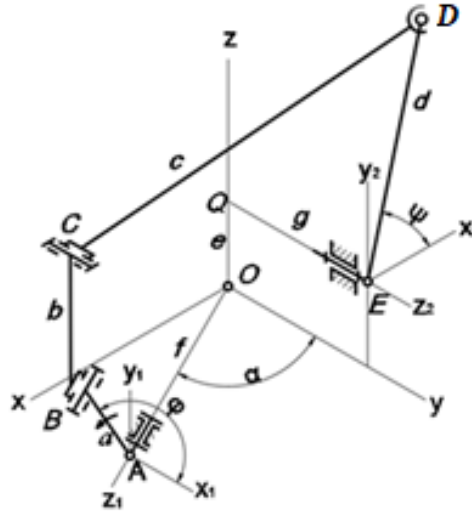
Lingli fəza mexanizmləri lingli yastı mexanizmləri ilə müqayisədə üstünlüklərə malik olmaqla yanaşı, böyük sürətlərdə maşının işini etibarlı şəkildə təmin edir və bundan əlavə kəşişən və çarpaz oxlar arasında hərəkəti azsaylı bəndlər və sürtünən səthlər vasitəsi ilə ötürmək imkanına malikdir.

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 [1,2]. Başqa sözlə, lingli fəza mexanizmlərinin sintez və analizi üçün yeni üsulların işlənilməsinə ehtiyac vardır.

İşin məqsədi: *lingli fəza mexanizmlərinin kinematik tədqiqi üçün müasir kompüter texnologiyalarına əsaslanmış yeni, sadə və kifayət qədər dəqiq üsulun işlənilməsidir.*

Məlumdur ki, öyrənilmə prosesində obyekt və prosesin modelinin qurulması və onun vasitəsi ilə öyrənilmə prosesinin aparılması geniş istifadə olunur. Elmi məsələlərin öyrənilməsində 3D kompüter modellərindən istifadəyə xüsusi yer verilir. Məsələnin qrafiki üsulla 3D kompüter modelində həlli zamanı həllin nəticəsi kompüter modeli olur (başqa sözlə, informasiya daşıyıcısı elektron mühit olur) və axtarılan parametrlərin qiyməti birbaşa kompüter modelindən götürülür. Fəza cisimlərinin kompüter modelinin qurulması dedikdə, obyektin hər bir nöqtəsinin istənilən anda vəziyyətinin müəyyən olunma imkanı başa düşülür. 3D modellərin formalaşdırılması zamanı, ekranda üçölçülü obyekt qismən təhrif olunmuş şəkildə təsvir olunsada kompüterin yaddaşında obyekt real üçölçülü formada olur. Həmçinin, avtomatik layihələndirmə sistemlərində məlumatlar rəqəmsal formada yüksək dəqiqliklə yadda saxlanılır. Məsələn, AutoCAD-da ədədləri yadda saxlamaq üçün 14 mərtəbə ayrılır. Bu səbəbdən də AutoCAD-da 100% dəqiqliklə cizgi tərtib etmək, başqa sözlə, cizgini dəqiq real obyektin ölçüsündə hazırlamaq mümkündür. Həmçinin qeyd olunan paketdə olan obyekt bağlantısı obyektin ayrı-ayrı nöqtələrinin vəziyyətini 100% dəqiqliklə təyin etməyə imkan verir.

Beləliklə, üçölçülü kompüter modelləşdirilməsi yeni imkanlar yaradır: xüsusən də 3D modeldən hesablama məsələlərinin həllində (gərginliklərin analizi, yerdəyişmə, hidrodinamika). Bu yenilikləri fəza mexanizmlərinin kinematik analizində tətbiqi imkanlarını şəkil 1-də verilmiş beşbəndli dirsək mancanaq mexanizminin nümunəsində nəzərdən keçirək.



Şəkil 1. Mexanizmin kinematik sxemi

Fəza mexanizmləri öz təbiətinə görə üçölçülüdür. Əvvəllər bu mexanizmlərin qrafiki üsulla kinematik analizini üçölçülü mühitdə aparmaq mümkün olmadığından onlar sadələşdirilərək 2D modellərində aparılırdı. Bu isə, öz növbəsində tərsimi həndəsəni dərinlən bilməklə yanaşı, mürəkkəb yorucu qrafiki qurmalar tələb edir. Lakin, hesablama texnikasının inkişafı, xüsusən tətbiqi qrafiki proqramların işlənilməsi, fəza qrafiki məsələlərinin həllində əsaslı dəyişiklər yaratmışdır, məsələlərin həlli asanlaşmış, həllin dəqiqliyi analitik üsulla alınan dəqiqlik səviyyəsinə yüksəlmiş və s. Bu səbəbdən də qeyd olunan sadələşmələrdən imtina edərək, fəza mexanizmlərini birbaşa 3D kompüter modelində tədqiq etmək vaxtı çatmışdır. Bunun üçün isə ilk növbədə mexanizmin 3D kompüter modelini qurmaq lazımdır və qeyd olunan mexanizm üçün bu məsələyə əhatəli şəkildə [3] baxılmışdır. Məlumdur ki, hər hansı zaman müddətində, nöqtənin orta sürəti aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

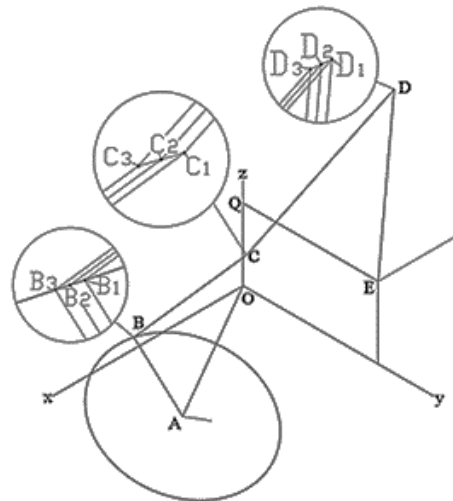
$$v_{or} = \frac{s}{\tau} \quad (1)$$

burada, τ – qeyd olunan zaman, s - həmin zaman müddətində gedilən yoldur.

Nöqtənin ani zaman anında həqiqi sürəti isə, orta sürətin sonsuz kiçik zaman anındakı ($\Delta\tau \rightarrow 0$) limitinə bərabərdir.

$$v = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} v_{or} = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta\tau} \quad (2)$$

Mexanizmin xarakterik nöqtələrinin sürətinin qiymətini və istiqamətini təyin etmək üçün, aparın bəndin biri-birindən $\Delta\varphi$ qədər fərqlənən ($\Delta\varphi = 0.01 \div 0.05^\circ$) üç vəziyyətinə ($\varphi_1 = \varphi_0 - \Delta\varphi$, $\varphi_2 = \varphi_0$, $\varphi_3 = \varphi_0 + \Delta\varphi$) uyğun vəziyyətlər planı qurulur (şəkil 2). $\Delta\varphi$ -nin kiçik qiymətlərində xarakterik nöqtələrin yerdəyişməsini φ_1 vəziyyətinə uyğun nöqtədən, φ_3 vəziyyətinə uyğun nöqtəyə qədər düz xətt parçasının uzunluğunu götürmək olar. Nöqtənin mütləq sürəti istiqaməti isə φ_1 vəziyyətinə uyğun nöqtədən, φ_3 vəziyyətinə uyğun nöqtəyə yönəlmiş olur.



Şəkil 2. Beşbəndli dirsək-mancanaq fəza mexanizminin vəziyyətlər planı

Xarakterik nöqtələrin birinin digərinə nəzərən nisbi sürətinin qiymət və istiqamətini təyin etmək üçün, bu nöqtələri birləşdirən düz xətt parçalarının φ_3 ($\varphi_3 = \varphi_0 + \Delta\varphi$) vəziyyətinə uyğun olanı ilə φ_1 ($\varphi_1 = \varphi_0 - \Delta\varphi$) vəziyyətinə uyğun olanını müqayisə etmək lazımdır. Bu məqsədlə φ_3 vəziyyətinə uyğun olan düz xətt, başlanğıc nöqtəsi φ_1 vəziyyətindəki düz xəttin başlanğıc nöqtəsinə düşüncəyə qədər, özünə paralel qalmaqla sürüşdürülür. Düz xətt parçalarının köçürülmüş vəziyyətinin digər ucları arasındakı məsafə nöqtənin nisbi hərəkətdə getdiyi yol, sürətin istiqaməti isə birinci vəziyyətin sonundan köçürülmüş üçüncü vəziyyətin sonuna yönəlir.

Şəkil 3-də C nöqtəsinin B nöqtəsinə nəzərən nisbi sürətinin təyini sxemi verilmişdir. B_3C_3 düz xətt parçası özünə paralel qalmaqla sürüşdürülərək B_3 nöqtəsi B_1 nöqtəsi üzərinə salınır. C_1 nöqtəsindən C_{3k} nöqtəsinin (köçürmədən sonrakı vəziyyəti) arasındakı s məsafəsi C nöqtəsinin B nöqtəsinə nəzərən nisbi hərəkətindəki getdiyi yol, sürətin istiqaməti isə C_1 nöqtəsindən C_{3k} nöqtəsinə yönəlir. Şəkildə C nöqtəsinin B nöqtəsinə nəzərən nisbi hərəkətindəki s yerdəyişməsi və V_{CB} nisbi sürətinin istiqaməti göstərilmişdir.

Alınmış nəticələrin doğruluğunu, mexanizmin ayrı-ayrı nöqtələrinin təyin olunmuş sürətləri əsasında 3D sürətlər planını quraraq yoxlamaq olar.

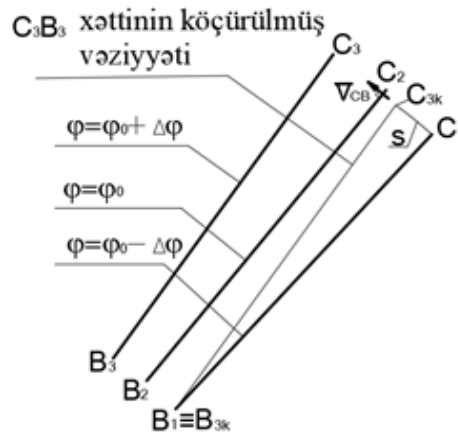
Baxılan mexanizmin C nöqtəsinin sürəti aşağıdakı vektor tənlikləri ilə təyin oluna bilər:

$$\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB} \quad (3)$$

$$\vec{v}_C = \vec{v}_D + \vec{v}_{CD} \quad (4)$$

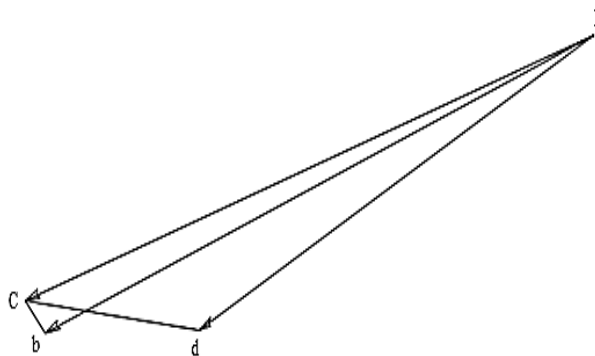
$$\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB} = \vec{v}_D + \vec{v}_{CD} \quad (5)$$

Tənlik (5)-dən göründüyü kimi, $\vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$ və $\vec{v}_D + \vec{v}_{CD}$ vektorlar fəzada bir nöqtədə görüşməlidir və görüşmə nöqtəsi C nöqtəsinin mütləq sürətinə uyğun olur.



Şəkil 3. C nöqtəsinin B nöqtəsinə nəzərən nisbi sürətinin təyini sxemi

Mexanizmin 3D sürətlər planının qurulması üçün ixtiyari P nöqtəsindən (sürətlər planının polyus nöqtəsindən) \vec{v}_B , \vec{v}_C , \vec{v}_D vektorları çəkilir və vektorların sonu uyğun olaraq b , c və d işarə olunur. Bundan sonra b nöqtəsi c nöqtəsi ilə və c nöqtəsi d nöqtəsi ilə birləşdirilir. Şəkil 4-də mexanizmin 3D sürətlər planının kompüter modelinin kağız üzərində təsviri verilmişdir (qeyd olunduğu kimi 3D kompüter modeli yalnız kompüterin yaddaşında olduğu kimi yadda saxlanılır və bu səbəbdən də informasiya daşıyıcısı yalnız elektron mühitdir, onun kağız üzərində təsviri isə başa düşülməsi üçün əyani vəsəitdir, informasiya daşıyıcısı deyildir).



Şəkil 4. Mexanizmin sürətlər planı 3D kompüter modelinin təsviri

Xarakterik nöqtələrin sürətinin qiymətini, aparan bəndin B nöqtəsinin sürətinə nisbətə təyin etmək daha əlverişlidir. Bu halda aparan bəndin $2\Delta\varphi$ qədər dönməsi zamanı xarakterik nöqtənin getdiyi yolun bu zaman müddətində B nöqtəsinin getdiyi yola nisbətini bilməklə asanlıqla sürəti hesablamaq olur. Məsələn, $\varphi_0 = 120^\circ$ qiymətində, uzunluğu 45 mm olan AB dirsəyinin $\Delta\varphi = 0,025^\circ$ dönməsi zamanı B nöqtəsinin getdiyi məsafə $s_B = 0,0392699$ mm təşkil edir. Bu müddətdə C və D nöqtələrinin getdiyi yol isə $s_C = 0,0398018$, $s_D = 0,0336182$ olur. Uyğun olaraq $s_C/s_B = 1,01354$, $s_D/s_B = 0,856081$. Əgər \mathbf{pb} vektorunun uzunluğunu 100 mm qəbul etsək uyğun olaraq \mathbf{pc} və \mathbf{pd} vektorlarının uzunluqları 101.354 mm və 85.608 mm olur.

Həmçinin D nöqtəsinin sürətinin qiymətinin doğruluğunu aşağıdakı kimi də yoxlamaq olar. Məlumdur ki,

$$\frac{d\psi}{d\varphi} = \frac{\omega_{ED}}{\omega_{AB}} \approx \Delta\psi/\Delta\varphi$$

$$\frac{\vartheta_D}{\vartheta_B} \approx \frac{\Delta\psi}{\Delta\varphi} \frac{l_{Ed}}{l_{AB}} = \frac{0.0192618}{0.05} \frac{100}{45} = 0,85608$$

Göründüyü kimi, hər iki halda s_D/s_B və ϑ_D/ϑ_B nisbətləri üçün eyni qiymətin alınması təklif olunan yeni üsulla alınan qiymətlərin düzgün olduğunu göstərir.

Həmçinin təklif olunan üsulun düzgünlüyünü göstərən amillərdən biri də C nöqtəsinin B nöqtəsinə nəzərən nisbi hərəkətinin sürətlər planından alınmış istiqamətinin uyğun olaraq ABC müstəvisi üzərində yerləşməklə BC bəndinə, C nöqtəsinin D nöqtəsinə nəzərən nisbi hərəkətinin isə BCD müstəvisi üzərində olmaqla CD bəndinə perpendikulyar olmasıdır.

Göstərilən üsulla avtomatik rejimdə, beşbəndli fəza dirsək mancaq mexanizminin xarakterik nöqtələrinin sürətinin təyini üçün, AutoLISP alqoritmik dilindən istifadə etməklə, AutoCAD-a əlavə işlənmişdi, əlavənin proqramının mətni aşağıda verilmişdir.

; Beşbəndli fəza dirsək mancaq mexanizminin xarakterik nöqtələrinin sürətinin təyini üçün AutoCAD-a işlənmiş əlavənin proqramı.

```
(defun c:zz (/)
  (setq fi0 120)
  (setq dfi 0.025)(setq i 0) (setq fii(list)) (setq ksi(list) pBwi(list) pCwi(list) pDwi(list))
  (repeat 3 (setq i(+ i 1)) (if(eq i 1)(setq fi(+ fi0 dfi)))(if(eq i 2)(setq fi(+ fi0 0)))(if(eq i 3)(setq fi(- fi0 dfi))())
  (c:zzD fi) (c:zzC) ) (c:zzvez) (c:surpl)
  (princ))
(defun c:zzD (fi /)
  ;ABCDE mexanizminin D nöqtəsinin vəziyyətinin təyini
  (command "erase" "all" "" "view" "NeI" "ucs" "W" "cal" (cal "1*1"))(setvar "osmode" 0)
  (command "line"(list 0 120 0)(list 0 0 0)(list 120 0 0)"" )
  (setq am 45 bm 75 cm 100 dm 100 fm 104 gm 85 em 45 alf 60 )
  (setq ya(* fm (cal"cos(alf)")) xa(* fm (cal"sin(alf)"))
  (command "line"(list 0 0 0)(list xa ya 0) "" ) (setq pEw(list 0 gm em))
  (command "line"(list 0 gm 0)(list 0 gm em)(list 0 0 em)(list 0 0 0)"" )
  (setq pa(list xa ya 0) ) (setq pAw(cal"u2w(pA)"))
  (command "ucs" "ZA" (list 0 0 0) PA "ucs" "o" (list 0 0 fm))
  (command "circle" (list 0 0 0) am)
  (command "line" (list 0 0 0)(list 0 am 0)"" )
  (command "_rotate" (entlast)"" (list 0 0 0) (- fi 90) "" )
  (setq xbu(cal"am*cos(fi)") ybu(cal"am*sin(fi)"))
  (setq pbu(list xbu ybu 0) ) (setq pBw(cal"u2w(pBu)")) (setq pBwi (cons pBw pBwi)) ;
  (print pBwi) (getpoint)
  (command "circle" (list xbu ybu 0) bm) (setq cevc(entlast))
  (setq pBu(list xbu ybu 0) pCu(list xbu (+ ybu bm) 0))
  (command "line" pBu pCu "" )
  (command "ucs" "o" pCu "ucs" "y" "" )
  (command "circle" (list 0 0 0) cm)(setq c (entlast))
```

```
(setq pox1u (list (* 2 cm) (- 0 bm)0))
(setq pox2u (list (- 0(* 2 cm)) (- 0 bm)0))(setq pox2w(cal"u2w(pox2u)")
(command "line" pox1u pox2u ""))(setq l6 (entlast))
(command "trim" l6"" (list 0(- 0 cm) 0 )"" )
(command "revolve" c "" "o" l6 "" ) (setq tor (entlast))
(command "ucs" "w" "ucs" "za" (list 0 0 em)(list 0 gm em) "ucs" "o" (list 0 0 gm))
(command "section" tor "" "xy" "" )(setq tk (entlast))
(command "erase" tor "" )
(command "circle" (list 0 0 0 ) dm)(setq c (entlast))
(command "trim" tk"" "c" (list (+ dm 1) 0 0)""(list (- dm 5) 1 0) "" )
(command "erase" tk "" )
(setq an(cdr(assoc 50(entget(entlast)))) (print an))
(setq kss(cal"an*180/3.141593"))
(setq ksi(cons kss ksi)) (print kss)
(setq xD(cal"dm*cos(kss)") yD(cal"dm *sin(kss)"))
(setq pD(list xd yd 0))(setq pDw(cal"u2w(pD)"))(setq pDwi(cons pDw pDwi))
(command "line" (list 0 0 0) pD "" ) (command "erase" c "" )
; Aparılan bəndin vəziyyəti təyin edildi
(princ))
(defun c:zzC ( / )
; BC bəndinin vəziyyətinin təyini
(command "sphere" pD cm) (setq sfe (entlast)) (command "ucs" "w")
(command "ucs" "ZA" (list 0 0 0) PA "ucs" "o" (list 0 0 fm))
(command "section" sfe "" "xy" "" ) (command "explode" (entlast))
(setq cke(entlast)) (setq pme(cdr(assoc 10 (entget(entlast))))))
(command "erase" sfe "" ) (print pme)
(setq xm(nth 0 pme) xbu(nth 0 pBu) ym(nth 1 pme) ybu(nth 1 pBu)) ; (getpoint)
(setq lbm(cal"((xm-xbu)^2+(ym-ybu)^2)^0.5"))
(setq xcu(cal"(bm/lbm)*(xm-xbu)+xBu") ycu(cal"(bm/lbm)*(ym-ybu)+yBu")) (setq pCu(list xCu
yCu 0))
(setq pCw(cal"u2w(pCu)"))(setq pCwi(cons pCw pCwi))
; C nöqtəsinin vəziyyəti təyin edildi
(princ))
(defun c:zzvez ( / )
;Mexanizmin vəziyyətinin qurulması
(command "erase" "all" "" "view" "NeI" "ucs" "W" "cal" (cal "1*1"))(setvar "osmode" 0)
(command "line"(list 0 120 0)(list 0 0 0 )(list 120 0 0) (list 0 0 0 )(list 0 0 120)"" )
(setq am 45 bm 75 cm 100 dm 100 fm 104 gm 85 em 45 alf 60 )
(command "line" pAw (list 0 0 0)(list 0 0 em)(list 0 gm em) "" )
(command "line" pAw (nth 0 pBwi) (nth 0 pCwi) (nth 0 pDwi) pEw"" )
(command "line" pAw (nth 1 pBwi) (nth 1 pCwi) (nth 1 pDwi) pEw"" )
(command "line" pAw (nth 2 pBwi) (nth 2 pCwi) (nth 2 pDwi) pEw"" )
; nöqtəsinin yerdəyişməsinin hesabı
(setq pB1(nth 0 pBwi) pB3(nth 2 pBwi)) (setq lB(cal"dist(pb1,pb3)"))
```

```
(print "LB")(print lB)
(setq pC1(nth 0 pCwi) pC3(nth 2 pCwi)) (setq lC(cal"dist(pC1,pC3"))
(print "LC")(print lC)
(setq pD1(nth 0 pDwi) pD3(nth 2 pDwi)) (setq lD(cal"dist(pD1,pD3"))
(print "LD")(print lD)
(setq kC(/ lC lB) kD(/ lD lB)) (print "kC")(print kC) (print "kD") (print kD)
; Sxema üzərində yazılar
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 120 0 0) "ucs" "v" "text" (list -5 -4 0) 5 0 "X")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 0 0) "ucs" "v" "text" (list -1 -6 0) 5 0 "o")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 120 0) "ucs" "v" "text" (list 2 -4 0) 5 0 "Y")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 0 120) "ucs" "v" "text" (list -2 4 0) 5 0 "Z")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" pAw "ucs" "v" "text" (list -2 -6 0) 5 0 "A")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (nth 0 pBwi) "ucs" "v" "text" (list -5 -2 0) 5 0 "B")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (nth 0 pCwi) "ucs" "v" "text" (list 1 -6 0) 5 0 "C")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (nth 0 pDwi) "ucs" "v" "text" (list 1 -6 0) 5 0 "D")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" pEw "ucs" "v" "text" (list 1 -6 0) 5 0 "E")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 0 em) "ucs" "v" "text" (list -4 0 0) 5 0 "Q")
(command "ucs" "w")
; mexanizmin vəziyyətlər planı quruldu
(princ))
(defun c:surpl (/ dxCB dyCB dzCB ddxCB ddyCB ddzCB pk pcs)
;Mexanizmin sürətlər planının qurulması
(command "ucs" "o" (list 0 -100 0)) (setq lpb 100) (command "ucs" "v" "text" (list 3 0 0) 3.5 0 "p")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 -100 0))
; B nöqtəsi
(setq dxB(- (nth 0 pB3)(nth 0 pB1)) dyB(- (nth 1 pB3)(nth 1 pB1)) dzB(- (nth 2 pB3)(nth 2 pB1)))
(setq kB(cal"100/lb"))(setq dxBs(* kB dxB) dyBs(* kB dyB) dzBs(* kB dzB))(setq pBs(list dxBs
dyBs dzBs))
(command "line" (list 0 0 0) pBs "")(command "ucs" "o" pBs) (command "ucs" "v" "text" (list -4 -5
0) 3.5 0 "b")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 -100 0)) (command "ucs" "3" pBs (list 0 0 0) (list 0 0 10))
(command "line" (list 0 0 0)(list 2.5 0.5 0)(list 2. 0 0)(list 2.5 -0.5 0) "c")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 -100 0))
;C nöqtəsi
(setq lpc(cal"lc*lpb/lb") kc(cal"lpC/lC"))
(setq dxC(- (nth 0 pC3)(nth 0 pC1)) dyC(- (nth 1 pC3)(nth 1 pC1)) dzC(- (nth 2 pC3)(nth 2 pC1)))
(setq dxCs(* kC dxC) dyCs(* kC dyC) dzCs(* kC dzC)) (setq pCs(list dxCs dyCs dzCs)) (setq
psC pCs)
(command "line" pCs (list 0 0 0) "") (command "ucs" "o" pCs) (command "ucs" "v" "text" (list -4 2
0) 3.5 0 "c")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 -100 0)) (command "ucs" "3" pCs (list 0 0 0) (list 0 0 10))
(command "line" (list 0 0 0)(list 2.5 0.5 0)(list 2. 0 0)(list 2.5 -0.5 0) "c")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 -100 0))
;C nöqtəsinin B nəzərən nisbi (firlanma) hərəkəti
```

```
(setq dxCB(-(nth 0 pC3)(nth 0 pB3)) dyCB(-(nth 1 pC3)(nth 1 pB3)) dzCB(-(nth 2 pC3)(nth 2
pB3)))
(setq xC2k(+ (nth 0 pB1) dxCB) yC2k(+ (nth 1 pB1) dyCB) zC2k(+ (nth 2 pB1) dzCB))(setq
kCB(cal"(lpb/LB)"))
(setq ddxCB(- xC2k (nth 0 pC1)) ddyCB(- yC2k (nth 1 pC1)) ddzCB(- zC2k (nth 2 pC1)))
(setq xC2(* ddxCB kCB) yC2(* ddyCB kCB) zC2(* ddzCB kCB)) (setq pk(list (+ dxBs xC2) (+
dyBs yC2) (+ dzBs zC2)))
(setq lCB(cal"dist(pk,pBs)")) (command "line" pBs pk "")
;D nöqtəsi
(setq lpd(cal"ld*lpb/lb") kd(cal"lpd/ld"))
(setq dxD(- (nth 0 pD3)(nth 0 pD1)) dyD(- (nth 1 pD3)(nth 1 pD1)) dzD(- (nth 2 pD3)(nth 2 pD1)))
(setq dxDs(* kd dxD) dyDs(* kd dyD) dzDs(* kd dzD)) (setq pDs(list dxDs dyDs dzDs))
(command "line" pDs (list 0 0 0)"")(command "ucs" "o" pDs) (command "ucs" "v" "text" (list -4 -6
0) 3.5 0 "d")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 -100 0))(command "ucs" "3" pDs (list 0 0 0) (list 0 0 10))
(command "line" (list 0 0 0)(list 2.5 0.5 0)(list 2. 0 0)(list 2.5 -0.5 0) "c")
(command "ucs" "w" "ucs" "o" (list 0 -100 0))
;C nöqtəsinin D nəzərən nisbi (firlanma) hərəkəti
(setq dxCD(-(nth 0 pC3)(nth 0 pD3)) dyCD(-(nth 1 pC3)(nth 1 pD3)) dzCD(-(nth 2 pC3)(nth 2
pD3)))
(setq xC3k(+ (nth 0 pD1) dxCD) yC3k(+ (nth 1 pD1) dyCD) zC3k(+ (nth 2 pD1) dzCD)) (setq
pC3k(list xC3k yC3k zC3k))
(setq lCD(cal"dist(pC1, pC3k)")) (setq kCD(/ lpb lb))
(setq ddxCD(- xC3k (nth 0 pC1)) ddyCD(- yC3k (nth 1 pC1)) ddzCD(- zC3k (nth 2 pC1)))
(setq xC3(* ddxCD kCD) yC3(* ddyCD kCD) zC3(* ddzCD kCD))
(setq pk(list (+ dxDs xC3) (+ dyDs yC3) (+ dzDs zC3)))
(command "line" pds pk "")
(princ))
```

Nəticə. Təklif olunan üsul fəza mexanizmlərinin kinematik tədqiqini kifayət qədər sadələşdirir və tətbiqi zamanı riyaziyyatın ayrı-ayrı bölmələrinə və tərsimi həndəsəyə dair dərin bilik tələb etmir. Belə ki, məlum üsulların istifadəsi zamanı, riyaziyyatın ayrı-ayrı bölmələrini (analitik üsulda) və ya tərsimi həndəsəni (qrafiki üsulda) dərindən bilmək tələb olunur. Bu isə öz növbəsində bu üsulların praktiki tətbiq sərhədlərini daraldır.

ƏDƏBİYYAT

1. Ананов Г.Д. Кинематика пространственных шарнирных механизмов сельскохозяйственных машин. М.-Л., Машгиз, 1963. 220 с.
2. Полухин В.П. Проектирование механизмов швейно-обметочных машин. - М. «Машиностроение», 1972, с. 280.
3. Мустафаев М.Р. и др. Графическое определение положений пространственных пятизвенных механизмов на ее трехмерной компьютерной модели в пакете AutoCAD. МАА, Elmi Məcmuələr, cild 19, №3, 2017.

REFERENCES

- 1 Ananov G.D. Kinematika prostranstvennykh sharnirnykh mexhanizmov selskokhozyaystven-nikh mashin M. –L., Mashgiz, 1963. 220 s.
- 2 Polukhin V.P. Proyektirovanie mexhanizmov shveyno-obmetochnikh mashin. M.: 1972, 280s.
- 3 Mustafayev M.R. i dr. Graficheskoe opredelenie polozhenii prostranstvennykh pyatizvennikh mexhanizmov na ee trekhmernooy kompyuternoy modeli v pakete AutoCAD. MAA, Elmi Mejmueler, jild 19, №3, 2017.

A NEW GRAPHIC-ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE SPEED OF CHARACTERISTIC POINTS OF A SPATIAL MECHANISM, BASED ON A THREE-DIMENSIONAL COMPUTER MODEL

Mustafayev M.R., Panahova N.C., Hasanov A.F., Ragimova S.M.

National Aviation Academy

The article proposes a simple, high-precision new graphic-analytical method for determining the absolute and relative speed of characteristic points of a spatial mechanism on a three-dimensional computer model. Also, for the first time, a procedure for constructing a three-dimensional computer model of the speed plan was developed and, using it, a three-dimensional computer model of the speed plan of a five-link spatial crank-rocker mechanism was built. The accuracy of the results obtained by the proposed method was confirmed by the constructed speed plan based on the velocity vectors obtained by the proposed method, using the example of a five-link crank-rocker mechanism and comparing it with the values calculated by the numerical method.

Keywords: *spatial mechanism, crank-rocker mechanism, kinematic analysis, three-dimensional velocity plan, computer model, graphic-analytical method, AutoCAD, AutoLISP.*

Rəyçi: *t.f.d., dos. İsgəndərov M.Q.*

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., professor	musta-mro@rambler.ru mob: (+994) 50 613 38 14
Pənahova Nigar Cəfər qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	Nəqliyyat mexanikası kafedrası, f.-r.e.n., dosent	panahovanigar@yahoo.com mob: (+994) 50 281 29 54
Həsənov Azər Fərhad oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Kompüter sistemləri və proqlaşdırma kafedrasının müdiri	ahasanov@naa.edu.az mob: (+994) 50 281 27 23
Rəhimova Səidə Məmməd qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	Nəqliyyat mexanikası kafedrası, müəllim	saida_abdullayeva@bk.ru mob: (+994) 50 508 86 97

УДК: 627.8, 12.519.87

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.97.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КУРИНСКОГО КАСКАДА ВОДОХРАНИЛИЩ С ПОМОЩЬЮ MATLAB

Мехтиева Б.Г.

*Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство,
Институт Космических Исследований Природных Ресурсов*

Данное исследование было проведено в связи с усиливающимся в последнее время вниманием к экономии водных ресурсов Азербайджана и изучению состояния крупнейшего каскада водохранилищ на реке Кура. Работа посвящена некоторым аспектам гидрологического моделирования этого каскада.

Моделирование происходит в несколько этапов: создается орографическая схема; решается система дифференциальных уравнений, составленных на основании этой схемы; выводятся результаты.

Для проведения моделирования разработана программа в среде MATLAB. Программа работает в 2 режимах – конструкторском и рабочем. В конструкторском режиме создается орографическая схема, включающая основные объекты каскада (водохранилища, реки, каналы) и задаются их параметры (объем, перенос воды, геоданные о расположении). Программа позволяет редактировать и добавлять объекты. Все данные сохраняются в базе данных проекта.

При переходе в рабочий режим согласно выбранной модели создается система дифференциальных уравнений, соответствующая текущей орографической схеме. Число уравнений, решаемых с помощью MATLAB равно числу водохранилищ в каскаде. Решение осуществляется последовательно, начиная с первого уравнения системы. Затем найденные результаты подставляются во 2-е уравнение. С каждым следующим уравнением его сложность возрастает. Результаты выводятся в виде полученных формул и в виде графиков, отражающих состояние каскада.

Таким образом, разработанная программа имеет возможности проводить визуальное проектирование, и может быть с успехом применена для моделирования аналогичных каскадов водохранилищ.

Ключевые слова: гидрология, моделирование, каскад водохранилищ, дифференциальные уравнения, MATLAB

Введение

Одним из наиболее значительных вызовов, стоящих перед человечеством в настоящее время, является проблема нехватки водных ресурсов планеты. Водные ресурсы играют важную роль в решении продовольственной и энергетической программ страны. В Азербайджане эта проблема, прежде всего, заключается в неравномерности распределения воды, как в географическом, так и в сезонном смыслах. Большинство горных рек, берущих начало на южных склонах Малого Кавказа, весной разливаются и превращаются в сели, а в другое время года пересыхают.

В целях регулирования течения рек созданы более 60 водохранилищ, среди которых наиболее значительным является каскад из Шемкирского, Еникендского Мингечаурского и Варварского водохранилищ, расположенных последовательно по течению реки Кура с общим объемом более чем $16,5 \text{ км}^3$ [1]. Река Кура, общей длиной 1515 км, является самой большой рекой республики. Водный бассейн реки Куры вместе с притоками составляет 80% водных ресурсов страны [2]. На рисунке 1 показана карта Куринского каскада водохранилищ. Карта получена с помощью веб-сервиса Google Maps.

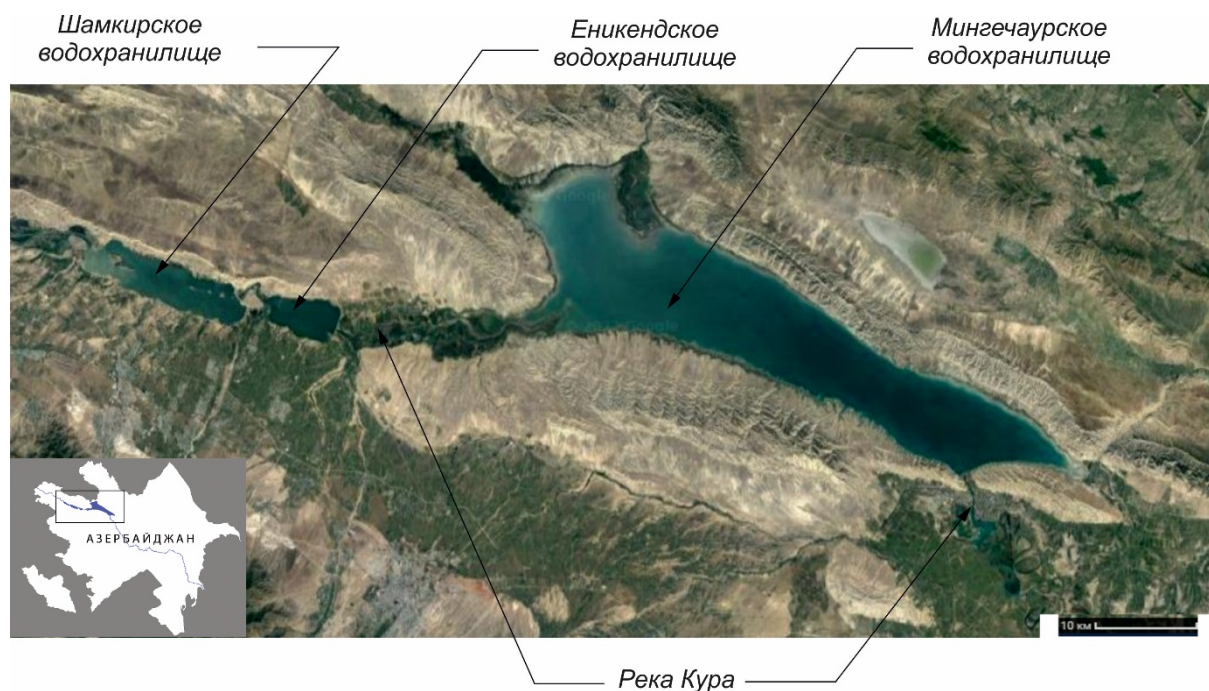


Рисунок 1. Расположение каскада водохранилищ на реке Кура

Создание водохранилищ позволяет достичь определенных целевых задач, но в то же время влечет ряд отрицательных изменений на прилегающей территории. Их влияние на окружающую среду может проявляться по-разному: прямо и косвенно; постоянно и временно; нарастающее, постоянно по годам или затухающее.

Моделирование процессов, происходящих как в самом водохранилище, так и за его пределами в некотором близком к нему ареале, относится к типу гидрологического моделирования. По Виноградову, исследование гидрологических объектов, явлений и процессов по-настоящему эффективно только в рамках методологии математического моделирования [3]. Разнообразие подходов к гидрологическому моделированию может и должно привести к созданию более надежных моделей, достоверно описывающих гидрологические процессы, имеющие место, в том числе, и в водохранилищах.

Каждый гидрологический процесс можно описать с помощью математических формул. Поэтому под термином «математическое моделирование гидрологических систем» в широком смысле можно понимать использование математики для описания характерных особенностей гидрологических систем или процессов [4].

Математическая модель лишь приближенно отражает поведение реальных объектов. С другой стороны, построение более точных моделей приводит к достаточно сложным задачам, аналитическое решение которых получить не удастся. Поэтому на первом этапе изучения

какого-либо процесса используется сравнительно простая модель. Таким образом, формирование математической модели зависит от того, какие аспекты конкретного явления считаются главными, а какие второстепенными.

Модель воспроизводит те параметры интересующего объекта, которые считаются важными для проводимого исследования. Детали реального объекта можно не учитывать, поскольку они не важны в конкретном случае или потому что они слишком сложны и, следовательно, создают трудности.

Для создания математической модели какого-либо явления необходимо выразить законы, управляющие этим явлением в математической форме. Часто модели различных явлений механики, электрических и магнитных явлений и др. выражаются в виде дифференциальных уравнений. Для нахождения частных решений их необходимы также начальные и граничные условия рассматриваемых явлений.

Материалы и методы

Для проверки состояния водохранилищ используются средства мониторинга и гидрологическое моделирование. Структура мониторинга речного бассейна определяется особенностями географического положения каждого бассейна, типами его ландшафтов, морфометрическими характеристиками, интенсивностью и разнообразием хозяйственного использования [5].

Гидрологическое моделирование есть упрощенное концептуальное представление части гидрологического цикла. Использование моделирования имеет как положительные свойства, так и недостатки. К первым относятся возможности изучения различных сценариев развития ситуации, а также процессов и явлений, недоступных для экспериментов, или тех, которые теоретически возможны, но не происходящих в данный момент; ко вторым – сложность математического выражения модели и необходимость разработки специализированного программного обеспечения.

Гидрологические процессы представляют собой описание некоторого явления, которое протекает, постоянно меняясь, в зависимости от времени [6]. Сам гидрограф выражается графиком изменения стока в зависимости от времени [7].

Точная математическая модель каскада водохранилищ требует учета всех потерь воды, в том числе, из-за испарения с водной поверхности, вследствие утечки в грунтовые подземные воды путем прямого проникновения, прямой откачки и других факторов.

Один из способов моделирования – расчленение по частям гидрографа – широко используется в настоящее время. Так, в следующей работе рассматривается метод расчленения гидрографов стока на базисный сток, весеннее половодье, дождевые и оттепельные паводки на основе подхода, предложенного Б.И. Куделиным [8].

Цель симулятора водохранилищ – проводить исследования реального водохранилища без затрат на испытания реального объекта, или тестировать различные сценарии, чтобы найти оптимальный перед пуском водохранилища в эксплуатацию. При этом учитываются наиболее изученные факторы и хорошо известные граничные условия с целью получения наименьшей неопределенности.

Временные и пространственные производные гидрологических процессов одинаково важны, особенно в условиях меняющегося климата. В процессе работы над статьей была создана симуляционная модель, позволяющая изучить совместное влияние этих факторов.

При этом в расчетах не учитывались некоторые другие факторы влияния. Таким образом, назначение данной модели заключалось в изучении некоторых специфических сценариев, как:

- нарушение основного гидрологического режима работы;
- выход гидрологических показателей за пределы нормы;
- разрушение водохранилища.

На первом этапе для формирования карты региона с сайта gis-lab.info был скачан архив геоданных. Архив содержит обширную библиотеку векторных геоданных в формате shape-файлов, насчитывающую около 50 различных слоев, включающие границы государств, административное деление, инфраструктуру, гидрологические и другие объекты, в том числе, контуры и атрибуты водохранилищ и рек. Загрузка геоданных и создание базы данных проекта было проведено средствами пакета Mapping Toolbox, входящего в состав программы MATLAB.

Для наилучшего исследования режимов работы каскада разрабатываются комплексы, включающие: гидрологическую модель в виде компьютерной программы; базу данных; а также пользовательский интерфейс. Это придает возможности управления данными, визуализации и отчетности. В частности, так работают почти все платформы моделирования с открытым кодом.

Для моделирования в среде программирования MATLAB была разработана программа “Kaskad”, имеющая графический интерфейс пользователя. Программа работает в двух режимах: конструкторском и рабочем. Конструкторский режим предназначен для редактирования проекта. В этом режиме возможно добавлять или удалять водные объекты, а также редактировать их параметры: объем, сток и другие значения. На рисунке 2 приведен вид программы в конструкторском режиме.

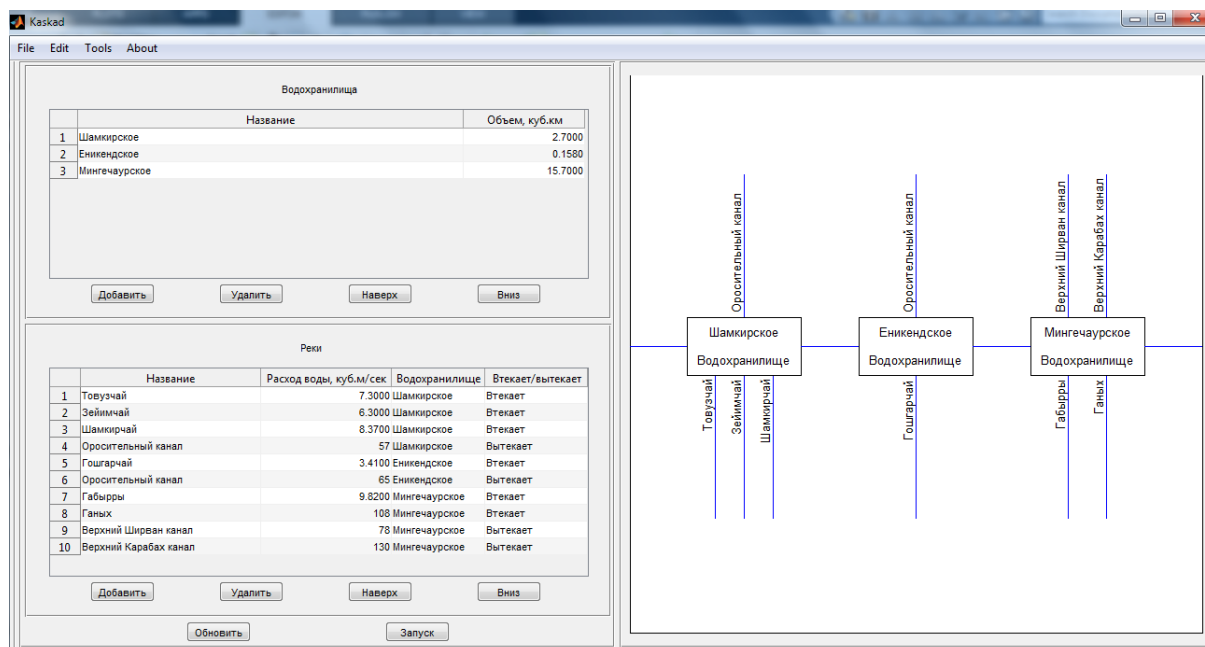


Рисунок 2. Внешний вид программы в конструкторском режиме

Слева на рисунке 2 расположены панели с таблицами, содержащими параметры всех водных объектов проекта. Справа находится орографическая схема каскада, соответствующая

данным из таблиц. На орографической схеме водохранилища показаны в виде прямоугольников. Входящими в них снизу линиями указаны реки, втекающие в водохранилища, а сверху – вытекающие из них каналы.

В конструкторском режиме программа имеет возможности создания и редактирования основных объектов программы. К этим объектам относятся:

-водохранилища Куринского каскада;

-реки и каналы, входящие в состав бассейнов отдельных водохранилищ;

Таким образом, кроме редактирования состава каскада, имеется возможность создания нового проекта с нуля, заполнив таблицы «Водоохранилища» и «Реки». При корректном заполнении этих таблиц становится возможным создать новую орографическую схему и соответствующую ей математическую модель.

Возможности редактирования включают операции добавления новых объектов, удаления и редактирования имеющихся. Кроме того, возможно перемещение объектов вверх или вниз таблиц. Все вышеперечисленные действия влекут за собой соответствующие изменения в орографической схеме. В таблице 1 приведены значения параметров объектов и их обозначения, которые в дальнейшем будут использованы в дифференциальных уравнениях модели.

После завершения редактирования программа имеет возможность для перехода из конструкторского в рабочий режим. При этом на основе созданной орографической схемы MATLAB автоматически создает систему дифференциальных уравнений. Система включает уравнения (1) – (3).

$$\frac{dw_1}{dt} = A_1 - k_1 w_1 \quad (1)$$

$$\frac{dw_2}{dt} = A_2 + k_1 w_1 - k_2 w_2 \quad (2)$$

$$\frac{dw_3}{dt} = A_3 + k_2 w_2 - k_3 w_3 \quad (3)$$

где,

$$A_1 = x_1 + x_2 + x_3 - E_1;$$

$$A_2 = x_4 - E_2;$$

$$A_3 = x_5 + x_6 - E_3 - E_4;$$

w_1, w_2, w_3 – искомые переменные, выходные значения водохранилищ;

k_1, k_2, k_3 – параметры режимов сброса отдельных водохранилищ.

Решение уравнений осуществляется с помощью функции MATLAB `dsolve(eq, cnd)`, где `eq` – формула дифференциального уравнения, а `cnd` – начальное условие [9].

Таблица 1.

Сводная таблица значений параметров водных объектов

№	Наименование	Обозначение	Параметры	
			Объем, куб. км	Сток, куб. м в с
1	Шамкирское вдхр.	w_{11}	2.7	-
2	Еникендское вдхр.	w_{12}	0.158	-
3	Мингечаурское вдхр.	w_{13}	15.7	-
4	р. Товузчай	x_1	-	7.3
5	р. Зейимчай	x_2	-	6.3
6	р. Шемкирчай	x_3	-	8.37
7	р. Гошгарчай	x_4	-	3.41
8	р. Габырры	x_5	-	9.82
9	р. Ганых	x_6	-	10.8
10	Оросительный канал	E_1	-	57
11	Оросительный канал	E_2	-	65
12	Канал Верхний Ширван	E_3	-	78
13	Канал Верхний Карабах	E_4	-	130

В качестве примера приведем вид этой функции для решения уравнения (1):

$dsolve('Dw1 = A1 - k1 * w1', 'w1(t1) = w11')$

Постоянные времени $t1$, $t2$, $t3$ – задержки на распространение водного потока до выхода 1-го, 2-го и 3-го водохранилищ соответственно.

Уравнения решаются последовательно, начиная с первого водохранилища. Найденное решение первого уравнения вставляется во второе уравнение, и так далее, до последнего. Ниже приведены решения уравнений (1) и (2).

$$z1 = (A1 - \exp(k1 * t1) * \exp(-k1 * t) * (A1 - k1 * w11)) / k1$$

здесь $z1$ – решение уравнения (1) в символической форме. Это выражение подставляется вместо $w1$ в уравнение (2). Решение уравнения (2) выглядит так:

$$z2 = \exp(-k2 * t) * ((\exp(k2 * t - k1 * t) * (A1 * \exp(k1 * t1) - k1 * w11 * \exp(k1 * t1))) / (k1 - k2) + (\exp(k2 * t) * (A1 + A2)) / k2) + \exp(-k2 * t) * \exp(k2 * t2) * (w12 - \exp(-k2 * t2) * ((\exp(k2 * t2 - k1 * t2) * (A1 * \exp(k1 * t1) - k1 * w11 * \exp(k1 * t1))) / (k1 - k2) + (\exp(k2 * t2) * (A1 + A2)) / k2))$$

Соответственно это значение подставляется вместо $w2$ в уравнение (3).

Решение 3-го уравнения не приводится из соображений компактности, поскольку в символической форме занимает 21 строку.

В рабочем режиме для представления результатов моделирования в табличном и графическом виде программа задает шаг квантования по времени и запускает процесс решения. На рис. 3 показан вид программы в рабочем режиме. Значения оси абсцисс выражены в часах, а оси ординат – в $км^3$.

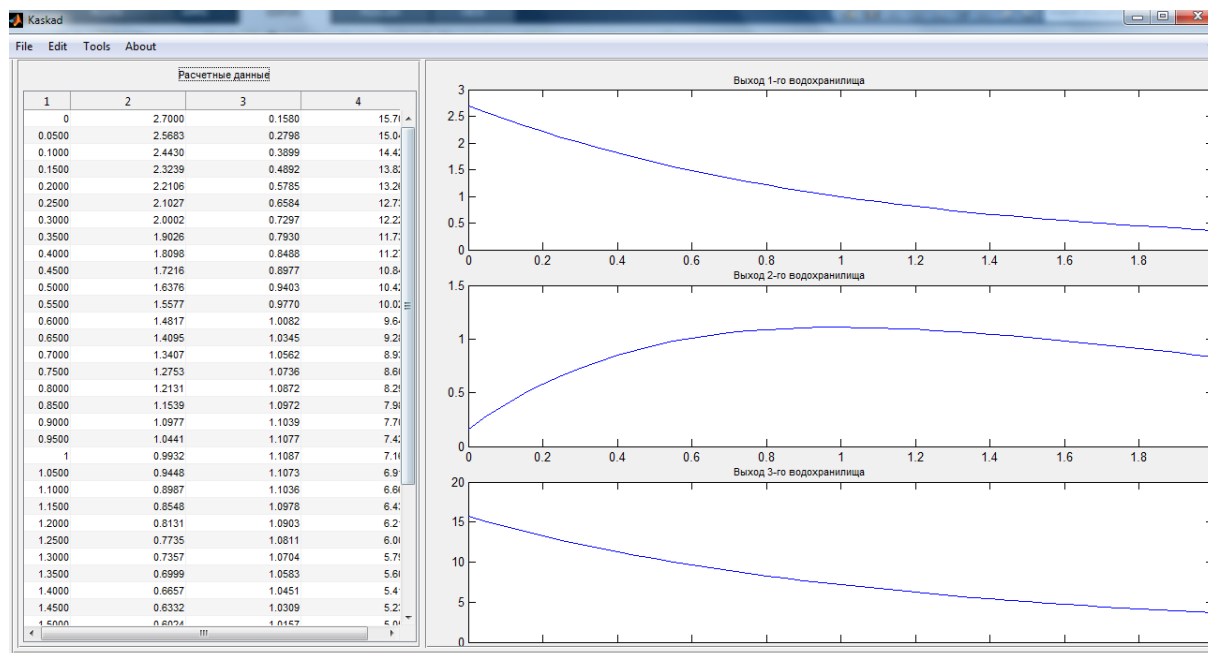


Рисунок 3. Внешний вид программы в рабочем режиме

Резюмируя все вышесказанное, блок-схему программы моделирования можно представить в следующем виде (рисунок 4).



Рисунок 4. Блок-схема программы моделирования каскада водохранилищ

Выводы

Разработана программа для расчета математической модели каскада водохранилищ. Программа предоставляет возможность автоматического построения орографической схемы и на ее основе – математической модели в виде системы дифференциальных уравнений. Решение системы осуществляется встроенными средствами программы MATLAB. Результаты решения выводятся в табличном и графическом виде.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иманов Ф.А. Водные ресурсы и их использование в трансграничном бассейне р. Куры. Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. 164 с.
2. Мамедов А. Проблемы и перспективы управления водными ресурсами в Азербайджане. Электронный ресурс: http://www.eecca-water.net/file/mamedov_3105.pdf. Режим доступа 03.04.2023
3. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Опыт критического анализа. Л.: Гидрометеиздат, 1988, 312 с.
4. Руководство по гидрологической практике. Том II. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов // Всемирная Метеорологическая Организация, 2009. 324 с.
5. Курбатова, И.Е. Использование данных космического мониторинга для оценки экологического состояния крупных речных водосборов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010, Т. 7, № 2. с. 157-166.
6. Lollino G., Arattano M., Rinaldi M., et all (Eds.) Engineering Geology for Society and Territory. Volume 3. River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources. Springer International Publishing. Switzerland, 2015. 618 p.
7. Raghunath H.M. Hydrology. Principles, Analysis, Design. New Age International Ltd., 2006. 463 p.
8. Рец Е.П., Киреева М.Б., Самсонов Т.Е. и др. Алгоритм автоматизированного расчленения гидрографа по методу Б.И. Куделина grwat: проблемы и перспективы // Водные ресурсы, 2022, том 49, № 1, с. 27-42.
9. Kalechman M. Handbook of Practical MATLAB for Engineers. Taylor & Francis Group LLC, 2009. 708 pp.

REFERENCES

1. İmanov F.A. Vodnie resursi i ix ispolzovanie v transgranichnom basseyne r. Kuri. Sankt - Peterburq: Svoe izdatelstvo, 2016. 164 s.
2. Mamedov A. Problemi i perspektivi upravleniya vodnimi resursami v Azerbayjane. Elektronniy resurs: http://www.eecca-water.net/file/mamedov_3105.pdf. Rejim dostupa 03.04.2023
3. Vinqradov Y.B. Matematicheskoye modelirovaniye prosessov formirovaniya stoka. Orit kriticheskogo analiza. L. Gidrometeoizdat, 1988, 312 s .
4. Rukvodstvo po gidrologicheskoy praktike. Tom II. Upravlenie vodnimi resursami i praktika primeneniya gidrologicheskikh metodov// Vsemirnaya Meteorologocheskaya Organizasiya 2009, 324 s.
5. Kurbatova İ.E. İspolzovanie dannikh kosmicheskogo monitoringa dlya otsenki ekologicheskogo sostoyaniya krupnikh rechnikh vodosborov // Sovremennie problemi dictansionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2010, Т. 7, № 2, s. 157-166.
6. Lollino G., Arattano M., Rinaldi M., et all (Eds.) Engineering Geology for Society and Territory. Volume 3. River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources. Springer International Publishing. Switzerland, 2015. 618 p.

7. Raghunath H.M. Hydrology. Principles, Analysis, Design. New Age International Ltd., 2006. 463 p.
8. Rets E.P., Kireeva M.B., Samsonov T.E. i dr. Algoritm avtomatizirovannogo raschleneniya gidrografa po metodu B.I. Kudelina grvat: problem I perspektivi//Vodnie resursi, 2022, tom 49, № 1, c. 27-42.
9. Kalechman M. Handbook of Practical MATLAB for Engineers. Taylor & Francis Group LLC, 2009. 708 pp.

MATLAB PROQRAMINDAN İSTİFADƏ ETMƏKLƏ KÜR KASKAD SU ANBARLARININ MODELİNİN QURULMASI

Mehdiyeva B.Q.

*Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyi,
Təbii Sərvətlərin Kosmik Tədqiqatları İnstitutu*

Aparılmış tədqiqatlar son vaxtlar Azərbaycanda su ehtiyatlarına qənaət və Kür çayı üzərində yerləşən kaskad su anbarlarının su rejiminin vəziyyətinin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Məqalədə kaskad su anbarlarının hidroloji modelləşdirilməsinin bəzi aspektləri yerinə yetirilmişdir.

Modelləşdirmə bir neçə mərhələdə baş verir: oroqrafik sxem yaradılır, bu sxem əsasında tərtib edilmiş diferensial tənliklər sistemi həll edilir, nəticələr göstərilir.

Simulyasiyanı həyata keçirmək üçün MATLAB mühitində kaskad su anbarları üçün yeni proqram hazırlanmışdır. Proqram 2 rejimdə işləyir - dizayn və işləmə. Dizayn rejimində kaskadın əsas obyektləri (su anbarları, çaylar, kanallar) daxil olmaqla oroqrafiya diaqramı yaradılır və onların parametrləri təyin olunur (həcmi, suyun ötürülməsi, yerləşmə haqqında geoməlumatlar). Proqram obyektləri redaktə etməyə və əlavə etməyə imkan verir. Bütün məlumatlar verilənlər bazasında saxlanılır.

İş rejiminə keçərkən, seçilmiş modelə uyğun olaraq, cari oroqrafik sxemə uyğun diferensial tənliklər sistemi yaradılır. Tənliklərin sayı kaskaddakı anbarların sayına bərabərdir. Tənlikləri MATLAB proqramı özü həll edir. Həll sistemin birinci tənliyindən başlayaraq ardıcıl olaraq həyata keçirilir. Sonra tapılan nəticələr 2-ci tənliyi əvəz edir. Hər sonrakı tənliklə onun mürəkkəbliyi artır. Nəticələr qrafiklər şəklində göstərilmişdir.

Beləliklə, hazırlanmış proqram vizual dizaynı həyata keçirmək qabiliyyətinə malikdir və digər kaskad su anbarlarını modelləşdirmək üçün uğurla istifadə edilə bilər.

Açar sözlər: *hidrologiya, modelləşdirmə, lay şəlaləsi, diferensial tənliklər, MATLAB, hidroqraf, su ehtiyatları, riyazi modelləşdirmə.*

MODELING THE KURA CASCADE OF RESERVOIRS USING MATLAB

Mekhdiyeva B.G.

*Azerbaijan National Aerospace Agency,
Institute of Space Research of Natural Resources*

This study was conducted in connection with the recent increasing attention to saving water resources in Azerbaijan and to studying the condition of the largest cascade of reservoirs on the Kura River. The work is devoted to some aspects of hydrological modeling of this cascade.

Modeling occurs in several stages: an orographic scheme is created, a system of differential equations compiled on the basis of this scheme is solved, results are displayed.

To carry out the simulation, a program was developed in the MATLAB environment. The program works in 2 modes – design and working. In the design mode, an orographic diagram is created, including the main objects of the cascade (reservoirs, rivers, canals) and their parameters are set (volume, water transfer, geodata about location). The program allows you to edit and add objects. All data is saved in the project database.

When switching to the operating mode, according to the selected model, a system of differential equations is created corresponding to the current orographic scheme. The number of equations is equal to the number of reservoirs in the cascade. The equations are solved using MATLAB. The solution is carried out sequentially, starting from the first equation of the system. Then the results found are substituted into the 2nd equation. With each subsequent equation its complexity increases. The results are displayed in the form of obtained formulas and in the form of graphs reflecting the state of the cascade.

Thus, the developed program has the ability to carry out visual design, and can be successfully used to model similar reservoir cascades.

Keywords: *hydrology, modeling, reservoir cascade, differential equations, MATLAB, hydrograph, water resources, mathematical modeling.*

Рецензент: *д.т.н., проф. Азизов Б.М.*

Информация об авторе

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Должность, научная степень, научное звание	Связь
Мехтиева Бановша Габиль кызы	Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство, Институт Космических Исследований Природных Ресурсов	Заведующий отделом математического моделирования природно- физических явлений, к.т.н., доц.	banovsha-64@mail.ru mob: (+994) 55 764 61 27

UOT: 551.513; 551.582.1

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.107.

ABŞERON YARIMADASINDA QIZMAR HAVA DALĞASININ DAVAMIYYƏTİ İNDEKSİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Səfərov S.H.

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalə iqlim dəyişmələrinin insan sağlamlığına təsiri istiqamətində aparılan tədqiqat sahələrindən olan dayanıqlı və davamiyyətli qızmar hava dalğalarının təkrarlanması məsələlərinə həsr olunmuşdur. Bu məqsədlə Abşeron yarımadasında qızmar hava dalğasının davamiyyəti indeksi əsasında qiymətləndirmə aparmaq üçün 1955-2014-cü illər üzrə Maştağa və Sumqayıt hidrometeoroloji stansiyalarında müşahidə edilmiş maksimal temperaturların sutkalıq qiymətlərindən istifadə edilmişdir. Baxılan dövrdə davamiyyətli qızmar hava dalğası 37 ildə və ya 61,7% halda müşahidə olunmuşdur. Beləliklə, qiymətləndirmələr göstərir ki, Abşeron yarımadasında qızmar hava dalğalarının tezliyi getdikcə artmaqdadır.

Açar sözlər: *Abşeron yarımadası, iqlim dəyişmələri, insan orqanizmi, sağlamlıq, maksimal temperatur, qızmar hava dalğasının davamiyyəti, davamiyyət indeksi, qızmar gecələr.*

Giriş

Qlobal və regional iqlim dəyişmələri fonunda yaşayış mühitinin meteoroloji şəraitinin ən mühüm göstəricilərindən olan qızmar hava dalğalarının çoxillik dəyişmə tendensiyasının qiymətləndirilməsi vacib nəzəri və praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Dünyanın müxtəlif elm mərkəzlərində bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar yuxarıda deyilən mülahizələri bir daha təsdiqləyir. Məsələn, beynəlxalq alimlər komandasının tədqiqatlarına görə 1980-ci ildən başlayaraq, Qərbi Avropada qızmar hava dalğalarının davamiyyəti iki dəfə, onların tezliyi isə üç dəfə artmışdır [1]. Rusiyanın Avropa hissəsində ekstremal qızmar havanın səbəbi təbii amillər olsa da, insan fəaliyyəti ilə bağlı qlobal istiləşmələr belə hadisələrin yaranması ehtimalını təqribən 3 dəfə artırmışdır [2].

Artıq sübut olunub ki, sabit və uzun sürən isti hava insanlar arasında ölüm hallarının və ürək-damar xəstəliklərinin artmasına səbəb olur. Ən çox risk altında olanlar körpə uşaqlar, yaşlı insanlar, açıq havada işləyənlər və aşağı gəlirli insanlardır. Məsələn, Qərbi Avropada aparılan 50-dən çox tədqiqatın nəticələri göstərmişdir ki, isti yay aylarında ən yüksək ölüm göstəriciləri xroniki ürək-damar, tənəffüs xəstəlikləri və şəkərli diabetdən əziyyət çəkən yaşlı insanlar, eləcə də yüksək mərtəbəli binalarda və şəhərlərdə yaşayan əhali arasında müşahidə olunur [3-7].

Bununla əlaqədar olaraq göstərmək olar ki, müasir dövrdə iqlim amillərinin əhalinin sağlamlığına təsirinin öyrənilməsi məsələləri profilaktik təbabətin yeni vəzifələrindən birinə [8], hava və iqlim şəraitinin isə əhalinin sağlamlığına təsiri məsələlərinə çevrilmişdir. Yoluxucu xəstəliklərin və patogen bakteriyaların məkan-zaman dəyişkənliyi [9-12]-də nəzərdən keçirilmişdir. Konkret nümunə kimi Fransada istiliyin insan sağlamlığına təsiri ilə bağlı hazırlanmış xəbərdarlıq sistemini göstərmək olar [13]. Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatı insan sağlamlığına təhlükə ilə bağlı aktual

problemləri və müasir iqlim dəyişikliyi fonunda cavab tədbirləri problemlərini [14], habelə insan sağlamlığının və səhiyyənin iqlim dəyişikliyinə uyğunlaşdırılması üsullarını nəzərdən keçirmişdir [15]. İqlim dəyişikliyi ilə bağlı insan sağlamlığı üçün risklər və problemlərə cavablar [16]-da, riskin azaldılması və sağlam həyat tərzinin saxlanması kimi dəstək halları isə [17]-də verilmişdir.

Son onilliyin ən qızmar hava dalğası isə 2007-ci ilin yay fəslində cənubi-şərqi Avropada müşahidə olunmuş, bu vaxt instrumental müşahidə dövründə ən yüksək temperaturlar qeydə alınmışdır. 45⁰C-yə qədər temperaturlar Bolqarıstan, Bosniya və Makedoniyada, 46⁰C isə Serbiya və Yunanıstanda müşahidə edilmiş, Rumıniya, Çexiya, Slovakiya və Macarıstanda isə havanın orta temperaturu 35-40⁰C intervalında dəyişmişdir. Belə hava şəraitinin fəsadlarına isə bu ölkələrdə meteoroloji şərtləndirilən ölüm hallarının, meşə yanğınlarının sayının artmasını aid etmək olar [1]. Analoji hava şəraiti Avropa ərazisində müşahidə olunmaqla ən intensiv həddə Rusiya ərazisində çatmış, iyun-avqust dövrü son 130 ilin ən qızmar hava şəraiti ilə xarakterizə edilmiş, təkcə Moskva şəhərində 11 mindən çox insanın ölümünə səbəb olmuşdur [1].

Qlobal iqlim dəyişmələrinin fəsadları kimi qəbul edilən ekstremal isti hava şəraitinin qiymətləndirilməsi Moldova ərazisi üçün də aparılarkən müəyyən edilmişdir ki, 1961-1990-cı illər dövrünə nisbətən 1991-2009-cu illərdə qızmar havanın təkrarlanmasının 76,2%-i sonuncu iki onilliyə təsadüf etmişdir. Burada həmçinin vurğulanır ki, Moldova ərazisində yay fəslində qızmar iqlimlə səciyyələndiyindən, bu tendensiya bütün ekosistemlər üçün, ilk növbədə isə insan sağlamlığı və kənd təsərrüfatı üçün neqativ nəticələrə gətirib çıxara bilər [1].

Bütün bu tədqiqatların əsas məqsədi qızmar hava şəraitinin təkrarlanmasının getdikcə artması tendensiyasını kəmiyyət və keyfiyyətə qiymətləndirmək, səhiyyə sahəsində çalışan mütəxəssislər üçün müəyyən tövsiyələr hazırlamaq olmuşdur.

Artıq beynəlxalq səviyyədə elmi ədəbiyyatda güclü isti dövrlərin meyarlarının müəyyənləşdirilməsi istiqamətində müzakirələr aparılır. Belə metodikanın olmaması isə qızmar hava şəraitinin təkrarlanmasını həm ötən dövr üçün, həm də gələcəkdə adekvat formada qiymətləndirməyə imkan vermir. Buna görə də son onillikdə müvafiq metodikanın işlənməsi üzərində dünyada, xüsusilə də Avropada intensiv tədqiqatlar aparılır [1]. Təxminən də olsa qızmar hava “uzun müddət qeyri-adi istilik yüklənməsi” kimi başa düşülür və adətən davamiyyəti bir neçə gündən ibarət olan maksimal və minimal temperaturun kəskin artması ilə xarakterizə olunur. Fransada sutkalıq maksimal və minimal temperaturların məntiqi kombinasiyası əsasında qızmar hava dalğasını identifikasiya etmək üçün qarışıq göstərici işlənmişdir [18]. Güclü qızmar hava dövrü meteoroloji hadisə olsa da, belə hadisələrin sosial təsirləri də nəzərə alınmalıdır. Məsələn, [19]-də qızmar hava şəraiti belə əsaslandırılır: “insanın yaşayış tərzində müvəqqəti dəyişikliklərə səbəb və müvafiq əhali qrupunun sağlamlığı üçün əlverişsiz fəsadları ola bilən qeyri-adi yüksək atmosfer təzyiqi ilə əlaqəli olan uzun dövrlü istilik stressidir”. Burada həmçinin qızmar hava dalğası anlayışı kimi davamiyyəti ən azı 2 ardıcıl gün olan və gündüz yüksək və gecə aşağı temperaturların mütləq hədləri apparent temperaturlardan çox olan halların ən azı 2 ardıcıl gündə baş verməsi qəbul edilmişdir. Oxşar yanaşma Niderlandda da istifadə olunur və maksimal temperaturun 30⁰C-dən çox olduğu ən azı üç gün də daxil olmaqla ən azı 5 ardıcıl gündə maksimal temperaturun 25⁰C-dən çox olduğu günlər qızmar hava dalğası kimi qəbul edilmişdir [20]. Bütün Avropa-Aralıq dənizi regionu üzrə qızmar hava dalğasının 78 halı tədqiq olunmuş və belə şərait klaster təhlili vasitəsilə altı sinfə bölünmüşdür. Onların modelləri kimi qızmar havanın aşağıdakı ən katastrofik dövrləri istifadə edilmişdir: Rusiya, Qərbi Avropa, Şərqi Avropa, İberiya, Skandinaviya, Şimal dənizinin mərkəzində formalaşan qızmar hava modelləri [18, 21, 22].

Analoji tədqiqatlar 1966-1987-ci illərin məlumatları əsasında Ukrayna və Moldova əraziləri üzrə aparılaraq havanın temperaturunun 30, 35, 40°C- də daha çox qradasiyalar əsasında dəyişmə qanunauyğunluqları tədqiq edilmişdir. Rusiya ərazisində isti və soyuq dalğaların müxtəlif aspektlərini əhatə edən tədqiqatların nəticələri isə [23-29]-də verilmişdir. Bu problemlərin aktualığı nəzərə alınaraq dünyanın müxtəlif ali tədris müəssisələrində oxşar və müvafiq problemlər tələbələrə də tədris olunur [30, 31].

Müasir dövrdə istifadə olunan havanın temperaturunun qızmar ekstremumlarının göstəricilərinin siyahısı [32]-də təqdim olunmuşdur. Burada isti günlər, qızmar günlər, isti gecələr, isti dövrün davamiyyəti, yay gündüzləri, ən qızmar gün, ən qızmar gecə, tropik gecələr, yay günlərinin fasiləsizliyi kimi 9 göstərici və onların təyin edilmə meyarları barədə məlumat verilmişdir. Beləliklə, bu göstəricilər Yer kürəsinin istənilən ərazisində temperatur ekstremumlarının dinamikasının qiymətləndirilməsində universal bir vasitə ola bilər. Bunlardan əlavə, bu göstəricilər ekstremal temperaturların tədqiqi üçün Ümumdünya Meteorologiya Təşkilatı, İqlimin Avropa qiymətləndirilməsi (ECA) [33] və ekstremumların miqyasının statistik və dinamik regional azaldılmasının Avropa layihəsi (STARDEX EC) tərəfindən [34] yoxlanılmış və təsdiq edilmişdir.

Tədqiqatların metodikası. Yuxarıda aparılan qısa ədəbiyyat təhlili göstərir ki, qızmar hava dalğalarının meyarlarının təyin edilməsində müxtəlif yanaşmalar mövcuddur. Bunları nəzərə alaraq, apardığımız tədqiqatlarda İqlim Dəyişmələri üzrə Hökumətlərarası Ekspertlər qrupunun 4-cü qiymətləndirmə hesabatında qəbul edilmiş “qızmar hava” meyarından istifadə olunmuşdur. Bu meyar “qızmar hava dalğasının davamiyyəti indeksi” (Heat Wave Duration Index (HWDI)) adlanır [1]. Bu indeks sutkalıq maksimal temperaturun onun orta çoxillik qiymətindən (50°C-dən) artıq olan halların ardıcıl 5 gündən çox olan vaxt dövrü kimi hesablanmışdır.

Abşeron yarımadasında qızmar hava dalğasının davamiyyəti indeksinin qiymətləndirilməsi üçün ilk növbədə sutkalıq maksimal temperaturun 1961-1990-cı illər üzrə orta qiymətləri hesablanmış, sonra orta qiymətlərdən meyletmələr əsasında bu indeksin qiymətləri müəyyənləşdirilmişdir. Təhlil və qiymətləndirilmələr əvvəlcə hər bir stansiya üzrə ayrı-ayrılıqda aparılmış, sonra isə alınan nəticələr ümumiləşdirilmişdir. Qiymətləndirilmələrdə Abşeron yarımadasında yerləşən Maştağa və Sumqayıt HMS-lərdə müşahidə edilmiş sutkalıq maksimal temperaturun 1955-2014-cü illər üzrə qiymətlərindən istifadə olunmuşdur.

İşin məzmunu:

Tədqiqatlarda hesablamalar vaxtı alınmış nəticələr cədvəl 1-də, ümumiləşdirmənin nəticələri isə cədvəl 2-də təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 1-in məlumatlarına əsasən müəyyən edilmişdir ki, 1955-2014-cü illərdə davamiyyətli qızmar hava dalğaları olan hallar Maştağada 55 dəfə, Sumqayıtda isə 58 dəfə müşahidə olunmuşdur. Belə halların faizlə aylar üzrə paylanması şəkil 1-də təqdim olunmuşdur.

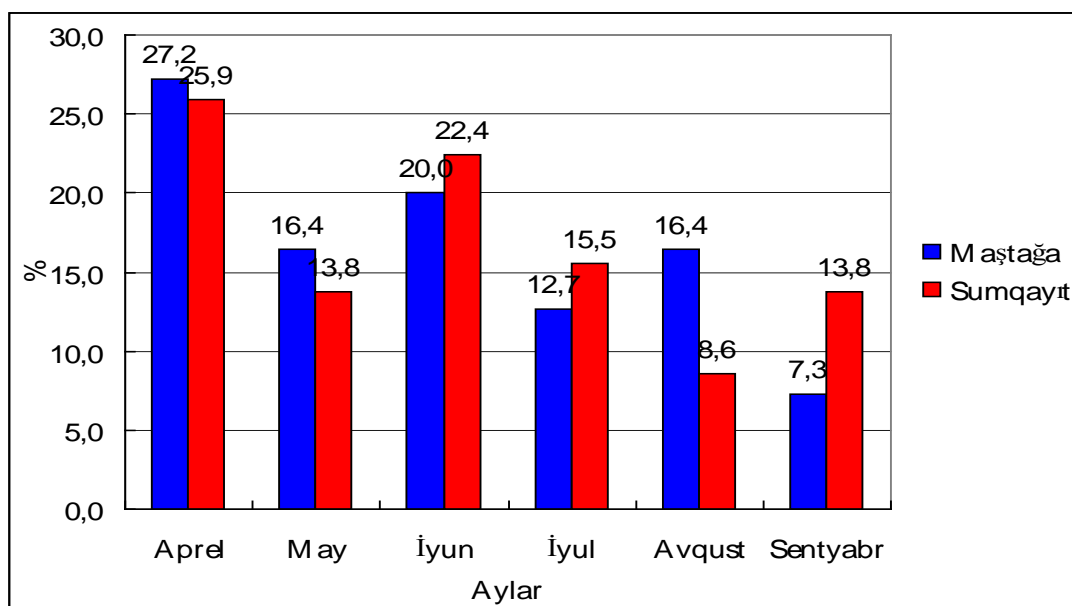
Şəkil 1-dən görünür ki, qızmar hava dalğaları ən çox aprel ayında baş vermiş və belə halların təkrarlanması Maştağada 27.2%, Sumqayıtda isə 25.9% təşkil etmişdir. Qızmar hava dalğaları ən az isə sentyabr ayında baş vermiş və belə halların təkrarlanması Maştağada 7.3%, Sumqayıtda isə 13.8% təşkil etmişdir. Qrafikdən görüldüyü kimi həmçinin görünür ki, aprel-iyul aylarında hər iki stansiya üzrə qızmar hava dalğalarının təkrarlanması təxminən bir-birinə yaxın olsa da, avqust və sentyabr aylarında belə qanunauyğunluq yoxdur. Belə ki, bu göstərici avqust ayında Maştağada 16,4%, Sumqayıtda 8.6% olduğu halda, sentyabrda tam fərqli rəqəmlər alınmışdır. Yəni, bu ayda təkrarlanma Maştağada 7.3%, Sumqayıtda isə 13.8% təşkil etmişdir.

Cədvəl 1

Sutkalıq maksimal temperaturun onun orta çoxillik qiymətindən 5⁰C artıq olan halların ardıcıl 5 gündən çox olan dövrlər (tarixlər)

İllər	Stansiyalar			
	Maştağa (tarixlər)	Müşahidə olunmuş temperatur diapazonu, °C	Sumqayıt (tarixlər)	Müşahidə olunmuş temperatur diapazonu, °C
1955	Olmayıb		14-18.05 30.05-04.06 12-17.06	28.0-35.6 30.6-34.3 33.1-37.5
1956	Olmayıb		Olmayıb	
1957	16-21.04 26-30.06	25.8-30.0 31.0-36.4	15-20.04	24.5-30.2
1958	Olmayıb		25-30.06	35.1-37.7
1959	Olmayıb		10-16.04	22.9-27.1
1960	Olmayıb		Olmayıb	
1961	14-18.05	29.0-31.5	22-26.05 19-23.06	30.0-36.5 32.0-39.9
1962	21-25.07	36.6-40.0	Olmayıb	
1963	Olmayıb		Olmayıb	
1964	Olmayıb		24-28.04	23.3-28.0
1965	17-21.07	36.0-40.1	13-17.07	35.2-41.9
1966	04-08.06 24-29.07	31.7-38.4 36.9-40.6	23-27.07	36.7-41.8
1967	Olmayıb		Olmayıb	
1968	01-05.05 08-16.05	24.6-28.4 25.7-30.0	30.04-09.05 16-22.09	24.5-30.9 30.8-38.8
1969	Olmayıb		Olmayıb	
1970	Olmayıb		Olmayıb	
1971	17-21.09	29.6-32.3	17-21.09	31.8-32.7
1972	28.04-03.05 19-23.06	26.7-37.3 33.5-36.2	18-24.06	32.8-39.1
1973	Olmayıb		Olmayıb	
1974	Olmayıb		Olmayıb	
1975	03-12.04 03-08.06	18.9-26.9 31.1-38.9	02-13.04	19.5-29.5
1976	Olmayıb		19-23.08	35.6-38.6
1977	Olmayıb		03-07.04	19.3-24.1
1978	Olmayıb		Olmayıb	
1979	28.08-01.09	29.4-35.9	Olmayıb	
1980	21-25.04 24-28.07	24.5-29.4 36.9-38.9	26-30.06 24-28.07	34.5-38.1 35.1-40.3
1981	30.07-03.08	35.9-36.7	Olmayıb	
1982	Olmayıb		Olmayıb	
1983	13-17.04	21.5-27.5	10-14.07	35.9-37.4
1984	Olmayıb		Olmayıb	
1985	Olmayıb		Olmayıb	
1986	26.04-03.05 10-14.09	24.9-27.4 32.6-34.2	31.08-06.09 09-14.09	32.6-35.7 33.1-35.2
1987	17-21.06	33.0-39.0	Olmayıb	

1988	05-14.06	32.2-37.2	Olmayıb	
1989	27-31.05	37.0-38.4	Olmayıb	
1990	01-05.06	32.0-36.0	30.05-04.06 24-29.09	32.4-38.9 29.7-32.5
1991	22-26.04	22.4-25.5	20-26.06	33.1-35.9
1992	Olmayıb		Olmayıb	
1993	Olmayıb		Olmayıb	
1994	23-27.04	22.8-30.4	20-24.04 22-26.09	24.1-31.5 30.6-32.0
1995	25-29.04	23.0-26.2	08-12.04 26-30.04 15-21.05 19-23.06	22.9-31.6 25.5-26.7 30.6-31.9 34.5-36.0
1996	01-05.08	35.6-38.3	12-16.05 11-15.06	29.7-32.3 31.6-40.9
1997	Olmayıb		Olmayıb	
1998	07-14.04 19-23.06	22.0-31.8 34.9-36.7	07-14.04 11-15.06 19-23.06	23.2-28.7 34.0-36.8 32.9-38.6
1999	18-24.08	35.0-37.8	Olmayıb	
2000	25-29.04	22.0-24.5	25-30.04	23.5-33.3
2001	07-14.04	22.0-31.8	19-24.04 23-31.07	25.8-29.0 36.1-39.8
2002	09-13.07	34.6-39.5	Olmayıb	
2003	29.08-05.09	36.0-38.6	01-05.09	37.7-39.3
2004	15-19.04	23.2-28.0	10-14.04	23.0-26.2
2005	Olmayıb		19-24.04 23-27.07 16-20.08	25.8-31.8 35.4-39.8 36.5-40.0
2006	11-15.04 02-08.06 07-14.08	21.6-24.3 33.0-36.2 37.0-38.8	11-15.04 01-10.06	23.4-27.8 31.5-39.5
2007	20-29.05	28.1-35.5	19-24.5 30.07-03.08	29.4-34.1 37.5-41.4
2008	16-21.08	37.6-38.6	25-29.07	36.7-39.8
2009	Olmayıb		Olmayıb	
2010	03-07.06 09-13.07 03-09.08 31.08-05.09	30.8-36.2 34.7-36.6 38.5-39.8 36.3-39.0	05-09.08 30.08-03.09	35.9-40.4 36.1-39.4
2011	26-31.07	38.6-41.2	26-31.07	38.9-41.7
2012	09-13.04 25.04-01.05 09-17.05 12-16.06 06-10.08	26.5-29.5 22.7-27.3 28.1-30.2 33.2-40.2 35.9-37.6	10-16.04 12-16.06	23.9-34.4 33.2-39.9
2013	04-09.04 02-06.05	19.5-23.6 29.1-31.0	02-06.05	25.8-30.5
2014	15-20.04 16-20.05 25-29.08	21.6-25.0 30.5-36.2 36.2-40.2	16-20.05 25-29.08	30.0-32.1 37.6-41.1



Şəkil 1. 1955-2014-cü illərdə davamiyyətli qızmar hava dalğaları olan halların aylar üzrə paylanması

Tədqiqatlarda hər bir stansiya üzrə bir ildə qızmar hava dalğalarının sayının üç və daha çox olan hallarına baxılmışdır. Cədvəl 1-dən görüldüyü kimi belə hallar Maştağada 2006, 2010, 2012 və 2014-cü illərdə, Sumqayıtda isə 1955, 1995, 1998 və 2005-ci illərdə olmuşdur. Görüldüyü kimi hər iki stansiya üzrə belə hallar müxtəlif illərdə müşahidə edilmişdir.

Maştağada qızmar hava dalğaları 11-15.04 (21.6-24.3⁰C), 02-08.06 (33.0-36.2⁰C) və 07-14.08 (37.0-38.8⁰C) tarixlərində müşahidə edilmişdir. 2010-cu ildə qızmar hava dalğaları 03-07.06 (30.8-36.2⁰C), 09-13.07 (34.7-36.6⁰C), 03-09.08 (38.5-39.8⁰C) və 31.08-05.09 (36.3-39.0⁰C) tarixlərində baş vermişdir. Qızmar hava dalğalarının tezliyinin artması cəhətdən 2012-ci il insanlar üçün ən əlverişsiz il olmuşdur. Belə ki, bu ildə qızmar hava dalğaları 5 dəfə olmuş və onun aylar üzrə paylanması 09-13.04 (26.5-29.5⁰C), 25.04-01.05 (22.7-27.3⁰C), 09-17.05 (28.1-30.2⁰C), 12-16.06 (33.2-40.2⁰C) və 06-10.08 (35.9-37.6⁰C) kimi olmuşdur. 2014-cü ildə qızmar hava dalğaları 15-20 apreldə (21.6-25.0⁰C), 16-20 mayda (30.5-36.2⁰C) və 25-29 avqustda (36.2-40.2⁰C) baş vermişdir.

Sumqayıtda baxılan dövr ərzində qızmar hava dalğaları 1995-ci ilin 14-18 mayında (28.0-35.6⁰C), 30 may-4 iyun tarixlərində (30.6-34.3⁰C) və 12-17 iyunda (33.1-37.5⁰C) müşahidə olunmuşdur. 40 il keçdikdən sonra 1995-ci ildə bu göstəricinin təkrarlanması aşağıdakı kimi olmuşdur: 08-12 aprel - 22.9-31.6⁰C, 26-30 aprel - 25.5-26.7⁰C, 15-21 may - 30.6-31.9⁰C və 19-23 iyun 34.5-36.0⁰C. 1998-ci ildə qızmar hava dalğaları 7-14 apreldə (23.2-28.7⁰C), 11-15 iyunda (34.6-36.8⁰C) və 19-23 iyunda (32.9-38.6⁰C) müşahidə olunmuşdur. 2005-ci il 19-24 aprel tarixlərində qızmar hava dalğasının temperaturu 25.8-31.8⁰C, 23-27 iyul tarixlərində 35.4-39.8⁰C, 16-20 avqustda isə 36.5-40.0⁰C olmuşdur.

Cədvəl 2-də ümumiləşdirmə vaxtı aşağıdakı şərti işarələr qəbul edilmişdir: I55_14 (il) -1955-2014-cü illərdə davamiyyətli qızmar hava dalğası müşahidə olunmuş illərin sayı; İ55_14 (%) = 100*(I55_14 (il)/60 il); I98_14 (il) - 1998-2014-cü illərdə davamiyyətli qızmar hava dalğası müşahidə olunmuş illərin sayı; I98_14 % = 100*(I98_14 (il)/17 il); Bu şərti işarələrdə 60 il baxılan dövrün ümumi uzunluğu, 17 il -1998-2014-cü illərdəki illərin sayıdır.

Cədvəl 2

Sutkalıq maksimal temperaturun onun orta çoxillik qiymətindən 5⁰C artıq olan halların ardıcıl 5 gündən çox olan dövrlərin ümumiləşdirilmiş nəticələri

Stansiya	I55_14, il	İ71_09, %	I98_09, il	I98_09, %
Maştağa	37	61.7	15	88.2
Sumqayıt	37	61.7	14	82.4

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi, 1955-2014-cü illər ərzində Maştağa və Sumqayıt stansiyalarında davamiyyətli qızmar hava dalğası 37 ildə və ya 61,7% halda müşahidə olunmuşdur. Bunlarla bərabər qeyd etmək olar ki, 1998-2014-cü illərdə baş vermiş belə ekstremal hadisələrin təkrarlanması Maştağada 15 il və ya 88.25 halda, Sumqayıtda isə 14 il və ya 82.4% halda olmuşdur. Bütün bunlar göstərir ki, qızmar hava dalğalarının tezliyi getdikcə artmaqdadır.

Nəticələr

1) Baxılan dövrdə davamiyyətli qızmar hava dalğaları olan hallar Maştağada 55 dəfə, Sumqayıtda isə 58 dəfə olmuşdur.

2) Qızmar hava dalğaları ən çox aprel ayında baş vermiş və belə halların təkrarlanması Maştağada 27.2%, Sumqayıtda isə 25.9% təşkil etmişdir. Ən az isə sentyabr ayında baş vermiş və belə halların təkrarlanması Maştağada 7.3%, Sumqayıtda 13.8% təşkil etmişdir.

3) Hər stansiya üzrə bir ildə qızmar hava dalğalarının sayının üç və daha çox olan hallar Maştağada 2006, 2010, 2012 və 2014-cü illərdə, Sumqayıtda isə 1955, 1995, 1998 və 2005-ci illərdə olmuşdur. Hər iki stansiya üzrə belə hallar müxtəlif illərdə müşahidə edilmişdir.

4) Qızmar hava dalğalarının tezliyinin artması cəhətdən 2012-ci il insanlar üçün ən əlverişsiz il olmuşdur. Belə ki, bu ildə qızmar hava dalğaları 5 dəfə olmuş və onun aylar üzrə paylanması belədir: 09-13.04 (26.5-29.5⁰C), 25.04-01.05 (22.7-27.3⁰C), 09-17.05 (28.1-30.2⁰C), 12-16.06 (33.2-40.2⁰C) və 06-10.08 (35.9-37.6⁰C). 2014-cü ildə qızmar hava dalğaları 15-20 apreldə (21.6-25.0⁰C), 16-20 mayda (30.5-36.2⁰C) və 25-29 avqustda (36.2-40.2⁰C) baş vermişdir.

5) 1955-2014-cü illər ərzində Maştağa və Sumqayıt stansiyalarında davamiyyətli qızmar hava dalğası 37 ildə və ya 61,7% halda müşahidə olunmuşdur. Bunlarla yanaşı, qeyd etmək olar ki, 1998-2014-cü illərdə baş vermiş belə ekstremal hadisələrin təkrarlanması Maştağada 15 il və ya 88.25 halda, Sumqayıtda isə 14 il və ya 82.4% halda olmuşdur.

6) Yuxarıdakı qiymətləndirilmələr göstərir ki, Abşeron yarımadasında qızmar hava dalğalarının tezliyi getdikcə artmaqdadır.

ƏDƏBİYYAT

1. Оверченко А. Временные закономерности распределения экстремумов температуры воздуха в теплый период года / Дис. на соиск. ученой степ. доктора геогр. наук, Кишинэу, 2013, 135 с.
2. Dole R. et al. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave. In: Geophys Res Lett, 2011, nr. 38, p.L06702. doi: 10.1029/2010GL046582.
3. Conti S., Meli P., Minelli G. et al. 2005. Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy. Environmental Research, 98, 390-399.

4. Johnson H., R.S. Kovats, G.R. McGregor and et al., 2005. The impact of the 2003 heatwave on mortality and hospital admissions in England. Health Statistics Q., 25, 6-12. URL: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter8.pdf>
5. Kovats R.S., S.J. Edwards, D. Charron and et al. 2005: Climate variability and campylobacter infection: an international study. International Journal of Biometeorology, 49(4), pp. 207-214. URL: ipcc-wg2.gov/AR4/FOD/Ch08_FOD.pdf
6. Smoyer K.E. 1998. A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri-1980 and 1995. International Journal of Biometeorology, 42(1), 44-50. URL: http://www.lead.org.pk/apn/attachments/reading_material/Climate_Warming_Health_Adaptation_Finland.pdf
7. Vandentorren S., F. Suzan, S. Medina and et al., 2004: Mortality in 13 French cities during the August 2003 heatwave. Am. J. Public Health, 94, 1518-1520. URL: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter8.pdf>
8. Измеров Н.Ф., Ревич Б.А., Коренберг Э.И. Оценка влияния климата на здоровье населения - новая задача профилактической медицины//Вестник РАМН, 2005, №11, с. 33 – 37.
9. Платонов А.Е. Влияние погодных условий на эпидемиологию трансмиссивных инфекций (на примере лихорадки Западного Нила в России)//Вестник РАМН, 2006, №2, с.25 - 29.
10. Hassi J. and Rytönen M. 2005. Climate warming and health adaptation in Finland. FINA-DAPT Working Paper 7, Finnish Environment Institute Mimeographs 337, Helsinki, 22 pp. http://www.lead.org.pk/apn/attachments/reading_material/Climate_Warming_Health_Adaptation_Finland.pdf
11. Kovats R.S., S.J. Edwards, D. Charron and et al. 2005: Climate variability and campylobacter infection: an international study. International Journal of Biometeorology, 49(4), pp. 207-214. URL: ipcc-wg2.gov/AR4/FOD/Ch08_FOD.pdf
12. Lieshout M., R.S. Kovats, L. M.T.J., and P. Martens, 2004: Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. Global Environmental Change, 14, pp. 87-99. URL: ipcc-wg2.gov/AR4/FOD/Ch08_FOD.pdf
13. Pascal M. et al. France's heat health watch warning system. In: Int J Biometeorol., 2006, nr. 50, p.144-153.
14. Изменение климата и здоровье человека: угрозы и ответные меры. Резюме доклада. ВОЗ, ВМО и ЮНЕП, 2003. URL: http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/924490816_rus.pdf?ua=1
15. C:\Users\dell\Desktop\AA-58 YY20 14. Методы оценки чувствительности здоровья человека и адаптации общественного здравоохранения к изменению климата. ВОЗ, 2005. [Электрон ресурс] URL: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/91099/E81923R
Методы оценки чувствительности здоровья человека и адаптации общественного здравоохранения к изменению климата. ВОЗ, 2005.
URL: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/91099/E81923R.
16. Периоды сильной жары: угрозы и ответные меры. ВОЗ, 2005. URL: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0009/96975/E82629R.pdf, 92. Climate change and human health: risk and response. WHO, 2003.
<http://www.who.int/globalchange/publications/climchange.pdf>
17. World Health Report 2002: Reducing risks, promoting healthy life. WHO, 2002. URL:http://www.who.int/whr/2002/en/whr02_en.pdf
18. C:\Users\dell\Desktop\AA-58 YY20 14. Методы оценки чувствительности здоровья человека и адаптации общественного здравоохранения к изменению климата. ВОЗ, 2005. [Электрон ресурс] URL: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/91099/E81923R
Методы оценки чувствительности здоровья человека и адаптации общественного здравоохранения к изменению климата. ВОЗ, 2005.
URL: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/91099/E81923R.

19. Robinson P. J. On the definition of a heat wave. In: J Appl Meteorol, 2001, nr. 40, p.762-775.
20. Huynen M. et al. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. In: Environ Health Perspect, 2001, nr. 109, p.463-470. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240305/pdf/ehp0109-000463.pdf>
21. Menne B., Matthies F. (eds). Improving public health responses to extreme weather/heat-waves - EuroHEAT. 2009, 60 p.112.
22. Stefanon M., D'Andrea F., Drobinski P. Heatwave classification over Europe and the Mediterranean region. In: Environ. Res. Lett., 2012, nr. 7, p.014023. doi:10.1088/1748-9326/7/1/014023. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/1/014023/pdf>
23. Варакина Ж.Л., Юрасова Е.Д., Ревич Б.А. и др. Влияние температуры воздуха на смертность населения Архангельска в 1999 - 2008 г. //Экология человека, 2011, №6, с.28 - 36. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/bliyanie-temperatury-vozduha-na-smertnost-naseleniya-arhangel'ska-v-1999-2008-godah>
24. Клещенко Л.К. Волны тепла и холода на территории России / Тр. ВНИИГМИ-МЦД, 2010, вып. 175, с.76-91. URL: http://www.meteo.ru/publish_tr/trud175/st7.pdf.
25. Методические рекомендации МР 2.1.10.0057-12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска, Москва, 2012, 38 с. URL: http://36.rospotrebnadzor.ru/documents/rekdoc1/9374/print_page/
26. Ревич Б.А. Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения Европейской части России летом 2010 года: результаты предварительной оценки//Экология человека. 2011, №7, с.3 – 9.
27. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Галкин В.Т. и др. Воздействие высоких температур атмосферного воздуха на здоровье населения в Твери//Гигиена и санитария. 2005, №2. с. 20 - 24.
28. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под редакцией д-ра геогр. наук, профессора Н.В. Кобышевой. – СПб., 2008, 336 с.
29. Grjibovski A.M. Air temperature and daily counts of ambulance calls in Arkhangelsk, Russia, 2000 - 2009/Grjibovski A.M., Unguryanu T.N., Varakina Zh.L., Degteva G.N., Yurasova E.D., Menne V./European Journal of Public Health, Vol. 21, Supplement 1, 2011, 158.
30. Иванов В.П., Иванова Н.В. Медицинская экология (учебник для студентов медицинских вузов), 2011, 320 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/1771830/>
31. Лебедева М.Г., Крымская О.В. Экологическая климатология и климатические ресурсы: учебное пособие. – Белгород: БелГУ, 2007.- 256 с. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/31>
32. URL: http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/list_27_indices.shtml<http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php>
33. URL: <http://eca.knmi.nl/>
34. URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>
35. Əyyubov Ə.C., Musayev Z.F., Kərimov A.Ə., Hacıyev K.Y., Mustafayeva V.T. Bakı və Abşeron yarımadasının iqlimi və insan səhhəti. Azərbaycan dövlət nəşriyyatı. Bakı, 1997, 124 с.
36. Bədəlova A.N., Səfərov S.H., İslamova R.F., Səfərov A.S. Böyük Qafqazın Azərbaycan hissəsində iqlim şəraitinin komfortluq dərəcəsinin qiymətləndirilməsi / Milli Aviasiya Akademiyasının elmi əsərləri, №2, Bakı, 2014, s.186-204.
37. Ramazanov R.H. Ekvivalent–effektiv temperatur göstəricisi əsasında Kiçik Qafqazın şimal–şərq yamaclarında iqlimin komfortluq dərəcəsinin qiymətləndirilməsi // Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi Əsərləri, Texnika Elmləri, Bakı, 2015, № 4, s.37-43.

38. Süleymanov T.İ., Səfərov S.H., Ramazanov R.H. İqlimin soyuqluq stressi indeksi əsasında Kiçik Qafqazın şimal-şərq yamaclarında insanın yaşayış mühitinin qiymətləndirilməsi // MAA-nın Elmi Əsərləri. Bakı, №1, 2016, s.32-45.
39. Ахмедова Дж.Н., Тагиева У.Р. Влияние изменения климата на волны жары в Баку и на Апшеронском полуострове//Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Yer elmləri, №1-2, 2016, s.69-72.
40. Сулейманов Т.И., Сафаров С.Г., Рамазанов Р.Г. Оценка пространственно-временной изменчивости самых жарких дней и ночей в теплый период года на северо-восточном склоне Малого Кавказа (в пределах Азербайджанской Республики) //Гидрометеорология и экология, научно-технический журнал, Алматы, 2016, №1, с.49-59.

REFERENCES

1. Overchenko A. Vremenniye zakonomernosti raspredeleniya ekstremumov temperaturi vozdukh v tepley period goda/ Dis. na soisk. uchenoy step. doktora goegr. nauk, Kishineu, 2013, 135 s.
2. Dole R. et al. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave. In: Geophys Res Lett, 2011, nr. 38, p.L06702. doi:10.1029/2010GL046582.
3. Conti S., Meli P., Minelli G. et al. 2005. Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy. Environmental Research, 98,390-399.
4. Johnson H., R.S. Kovats, G.R. McGregor and et al., 2005: The impact of the 2003 heatwave on mortality and hospital admissions in England. Health Statistics Q., 25, 6-12.URL: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter8.pdf>
5. Kovats R.S., S.J. Edwards, D. Charron and et al. 2005: Climate variability and campylobacter infection: an international study. International Journal of Biometeorology, 49(4), pp. 207-214. URL: ipcc-wg2.gov/AR4/FOD/Ch08_FOD.pdf
6. Smoyer K.E. 1998. A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri-1980 and 1995. International Journal of Biometeorology, 42(1), 44-50. URL: http://www.lead.org.pk/apn/attachments/reading_material/Climate_Warming_Health_Adaptation_Finland.pdf
7. Vandentorren S., F. Suzan S. Medina and et al., 2004, Mortality in 13 French cities during the August 2003 heatwave. Am. J. Public Health, 94, 1518-1520. URL: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter8.pdf>
8. İzmerov N.F., Revich B.A., Korenberg E.İ. Otsenka vliyaniya klimata na zdorov'e naseleniya-novaya zadacha profilakticheskoy meditsini//Vestnik RAMN, 2005, №11, s. 33-37.
9. Platonov A.E. Vliyaniye pogodnikh usloviy na epidemiologiyu transmissivnikh infektsiy (na primere likhoradki Zapadnogo Nila v Rossii)// Vestnik RAMN, 2006, №2, s.25-29.
10. Hassi J. and Rytönen M. 2005. Climate warming and health adaptation in Finland. FINA-DAPT Working Paper 7, Finnish Environment Institute Mimeographs 337, Helsinki, 22 pp. http://www.lead.org.pk/apn/attachments/reading_material/Climate_Warming_Health_Adaptation_Finland.pdf
11. Kovats R.S., S.J. Edwards, D. Charron and et al. 2005, Climate variability and campylobacter infection: an international study. International Journal of Biometeorology, 49(4), pp. 207-214. URL: ipcc-wg2.gov/AR4/FOD/Ch08_FOD.pdf

12. Lieshout M., R.S. Kovats, L. M.T.J., and P. Martens, 2004: Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14, pp. 87-99. URL: [ipcc-wg2.gov /AR4/FOD/Ch08_FOD.pdf](http://ipcc-wg2.gov/AR4/FOD/Ch08_FOD.pdf)
13. Pascal M. et al. France's heat health watch warning system. In: *Int J Biometeorol.*, 2006, nr. 50, p.144-153.
14. İzmenenie klimata i zdorov'e cheloveka: ugrozi i otvetnie meri. Rezyume doklada. VOZ, VMO i YUNEP, 2003. URL: [http:// whqlibdoc.who.int/publications /2003/924490816 _rus.pdf?ua=1](http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/924490816_rus.pdf?ua=1)
15. Metodi osenki chuvstvitel'nosti zdorov'ya cheloveka i adaptatsii obshestvennogo zdravookhraneniya k izmeneniyu klimata. VOZ, 2005.
URL: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/91099/E81923R.
16. Periodi sil'noy zhari: ugrozi i otvetnie meri. VOZ, 2005. . URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/96975/E82629R.pdf, 92. Climate change and human health: risk and response. WHO, 2003.
<http://www.who.int/globalchange/publications/climchange.pdf>
17. World Health Report 2002: Reducing risks, promoting healthy life. WHO, 2002. URL:http://www.who.int/whr/2002/en/whr02_en.pdf
18. Metodi otsenki chuvstvitel'nosti zdorov'ya cheloveka i adaptasiya obshestvennogo zdravookhraneniya k izmeneniyu klimata. VOZ, 2005.
URL: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/91099/E81923R
19. Robinson P. J. On the definition of a heat wave. In: *J Appl Meteorol*, 2001, nr. 40, p.762-775.
20. Huynen M. et al. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. In: *Environ Health Perspect*, 2001, nr. 109, p.463-470.
URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240305/pdf/ehp0109-000463.pdf>
21. Menne B., Matthies, F. (eds). Improving public health responses to extreme weather/heat-waves - EuroHEAT. 2009, 60 p.112.
22. Stefanon M., D'Andrea F., Drobinski P. Heatwave classification over Europe and the Mediterranean region. In: *Environ. Res. Lett.*, 2012, nr. 7, p.014023. doi:10.1088/1748-9326/7/1/014023. URL: [http:// iopscience. iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/1/014023/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/1/014023/pdf)
23. Varakina Zh.L ., Yurasova E.D., Revich B.A. i dr. Vliyanie temperaturi vozdukha na smertnost' naseleniya Arkhangel'ska v 1999-2008 g.// *Ekologiya cheloveka*, 2011, №6, s.28-36. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-temperatury-vozduha-na-smertnostnaseleniya-arhangel'ska-v-1999-2008-godah>.
24. Kleshchenko L.K. Volni tepla i kholoda na territorii Rossii/ *Tr.VNIIGMI-MTSD*, 2010, vip. 175, s.76-91. URL: [http://www. meteo.ru/publish_tr/trud175/st7.pdf](http://www.meteo.ru/publish_tr/trud175/st7.pdf).
25. Metodicheskie rekomendatsii MR 2.1.10.0057-12 «Otsenka riska i usherba ot klimaticheskikh izmeneniy, vliyayushikh na povisheniye urovnya zabolevayemosti i smertnosti v gruppakh naseleniya povishennogo riska», Moskva, 2012, 38 s. URL: http://36.rospotrebnadzor.ru/documents/rekdoc1/9374/print_page/
26. Revich B.A. Volni zhari, kachestvo atmosfernogo vozdukha i smertnost' naseleniya Evropeyskoy chasti Rossii letom 2010 goda: rezul'tati predvaritel'noy otsenki// *Ekologiya cheloveka*. 2011, №7, s.3-9.
27. Revich B.A. Shaposhnikov D.A., Galkin V.T. i dr. Vozdeystvie visokikh temperatur atmosfernogo vozdukha na zdorov'e naseleniya v Tveri // *Gigiena i sanitariya*. 2005, №2. s.20-24.

28. Rukovodstvo po spetsializirovannomu obsluzhivaniyu ekonomiki klimaticheskoy informatsiyey, produktsiyey i uslugami /Pod redaktsiyey d-ra geogr. nauk, professora N.B. Kobishevoy. SPb., 2008.-336s.
29. Grjibovski A.M. Air temperature and daily counts of ambulance calls in Arkhangelsk, Russia, 2000 - 2009/Grjibovski A.M., Unguryanu T.N., Varakina Zh.L., Degteva G.N., Yurasova E.D., Menne B.//European Journal of Public Health, Vol. 21, Supplement 1, 2011, 158.
30. İvanov V.P., İvanova N.V. Meditsinskaya ekologiya (uchebnik dlya studentov meditsinskikh vuzov), 2011, 320 s. URL: [http:// www.twirpx.com/file/1771830/](http://www.twirpx.com/file/1771830/)
31. Lebedeva M.G., Krimskaya O.V. Ekologicheskaya klimatologiya i klimaticheskie resursi: uchebnoe posobie.- Belgorod: BelGU, 2007, 256 s.
URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/31>
32. URL: http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/list_27_indices.shtml<http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php>
33. URL: <http://eca.knmi.nl/>
34. URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>
35. Eyyubov E.C., Musayev Z.F., Kerimov A.E., Hajiyev K.Y., Mustafayeva V.T. Baki ve Absheron yarimadasinin iglimi ve insan sehheti. Azerbayjan devlet neshriyyati. Baki, 1997, 124 s.
36. Bedelova A.N., Seferov S.H., İslamova R.F., Seferov A.S. Boyuk Gafgazin Azerbayjan hissesinde iglim sheraitinin komfortlug derecesinin giymetlendirilmesi / Milli Aviasiya Akademiyasinin elmi eserleri, №2, Baki, 2014, s.186-204.
37. Ramazanov R.H. Ekvivalent-effektiv temperatur gostericisi esasinda Kichik Gafgazin shimal-sherq yamaclarinda iglimin komfortlug derecesinin giymetlendirilmesi //Azerbayjan Texniki Universitetininin Elmi Eserleri, Texnika Elmleri, Baki, 2015, №4, s.37-43.
38. Suleymanov T.İ., Seferov S.H., Ramazanov R.N. İglimin soyuglug stressi indeksi esasinda Kichik Gafgazin shimal-sherq yamajlarında insanın yashayış muhitinin giymetlendirilmesi // MAA-nın Elmi Eserleri. Bakı, №1, 2016, s.32-45.
39. Akhmedova Dzh.N., Tagiyeva U.R. Vliyanie izmeneniya klimata na volni zhari v Baku i na Apsheronskom poluostrove// Azerbayjan Milli Elmler Akademiyasinin Kheberleri, Yer elmleri, №1-2, 2016, s.69-72.
40. Suleymanov T.İ., Safarov S.G., Ramazanov R.H. Otsenka prostranstvenno-vremennoy izmenchivosti samikh zharkikh dney i nochey v tyopliy period goda na severo-vostochnom sklone Malogo Kavkaza (v predelakh Azerbaydzhanskooy Respubliki) // Gidrometeorologiya i ekologiya, nauchno-tekhnicheskiy zhurnal, Almati, 2016, №1, s.49-59.

***ESTIMATION OF THE HEAT WAVE DURATION INDEX ON THE ABSHERON
PENINSULA***

Safarov S.H.

National Aviation Academy

The article is devoted to assessing the frequency of persistent and continuous heat waves, which is one of the areas of research conducted in the field of the impact of climate change on human

health. To estimate the duration of the heat wave based on the corresponding index on the Absheron Peninsula, daily values of maximum air temperatures observed at the Mashtaga and Sumgait hydrometeorological stations for 1955-2014 were used. During the period under review, prolonged heat waves were observed in 37 years or 61.7% of cases. Thus, estimates show that the frequency of heat waves on the Absheron Peninsula is increasing.

Keywords: Absheron peninsula, climate changes, human body, health, maximum temperature, duration of heat wave, duration index, hot nights.

Rəyçi: t.e.d., prof. Süleymanov T.İ.

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Səfərov Surxay Həsən oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Ətraf mühitin aerokosmik monitorinqi kafedrası, prof., c.e.d.	surxaysafarov@mail.ru mob: (+994) 50 371 31 15

AEROKOSMİK MONİTORİNG VƏ ƏTRAF MÜHİTİN QORUNMASI

UOT:528.811

DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.120.

İSTİLİK İNFRAQIRMIZI TƏSVİRLƏRİN İSTİLİK MODELİ

Əzizov B.M., Valehov N.S.

Milli Aviasiya Akademiyası

İstilik İnfraqırmızı (İQ) təsvirlər ətraf mühitin bir çox tərtibediciləri haqqında müxtəlif səpgili məlumatların alınmasına geniş imkanlar yaradır. Bunlara Yer səthinə yaxın geoloji suxurlarda gedən proseslər, o cümlədən suxurların sıxlığı, onların su tutumu, istilik keçirməsi kimi parametrlərin qiymətləndirilməsində mühüm informasiya vasitəsi hesab olunur. Müasir peyk sistemlərində qoyulmuş müxtəlif ayırdetmə xüsusiyyətlərinə malik İQ istilik ölçü cihazları vasitəsilə vulkanik proseslərin, hidrotermal mənbələrin konturlarının təyini, relyefdə sınımların müəyyənləşdirilməsi ilə yanaşı, müxtəlif fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərinə malik olan geoloji formalaşmaların müəyyənləşdirilməsində geniş tətbiq olunur. Müasir istilik təsvirlərinin interpretasiyası müxtəlif çoxsaylı fiziki proseslərin təsiri nəticəsində çoxlu sayda müxtəlif amillərin nəzərə alınmasını tələb edir. Bir sıra amillərin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi üçün istilik İQ tədqiqatların aparılmasının optimal müddətinin seçilməsi və səthin digər parametrlərinin hesablanma dəqiqliyinin artırılması məqsədi ilə nəzəri model təklif olunur. Modelin formalaşmasında istifadə olunan parametrlər optimal meteoroloji şəraitdə aparılmış və seçilən yer səthində bitki örtüyü olmamışdır.

***Açar sözlər:** istilik şüalanması, istilik keçirməsi, şüalanma əmsalı, istilik ətaləti, istilik təsvirləri, interpretasiya, radiasiya, temperatur təzadlığı, optik-elektron skanerlər.*

Giriş

Hal-hazırda Yer səthinin istilik şüalanmasının zaman və fəza dəyişmələrinin müşahidə olunması və qiymətləndirilməsi əsasən optik-elektron skanerlər vasitəsi ilə həyata keçirilir. Peyk sistemləri vasitəsi ilə öyrənilən bu dəyişikliklər Yer səthində gedən fiziki və geoloji proseslərin öyrənilməsinə imkan verir [1-3]. Uyğun məlumatların interpretasiyası, əsasən mürəkkəb emal prosesləri əsasında aparılır. Lakin istilik şüalanmalarının formalaşmasına çoxsaylı fiziki proseslərlə əlaqədar olması və bilavasitə ölçü sistemlərinin özünə xas olan göstəricilərdən asılı olaraq dəyişməsi bu sahədə aparılan tədqiqatların imkanlarını məhdudlaşdırır. İstilik İQ məlumatların interpretasiyası bir sıra səbəblərdən sadə nəzəri modellərə əsaslanır. Hansılar ki, bir sıra kəskin məhdudiyətlərlə tənzimlənir. Bu məhdudiyətlər, əsasən meteoroloji və geoloji amillərlə bağlı olur. Bu metodun təcrübi tətbiqinin real şəraitdə uyğunlaşdırılması üçün olan üsullarının və nəzəri analizlərin təkmilləşdirilməsi tələb olunur [1,3,4].

Baxılan məqalədə Yer səthi üzrə temperaturun paylanması nəzəri məsələləri nəzərdən keçirilmişdir. Alınmış nəticələr müxtəlif səbəblərdən o cümlədən, geoloji, meteoroloji, topoqrafik amillərdən yaranan təsirlərin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi peykdən alınan istilik məlumatlarının düzgün interpretasiyası üçün əsas qrafiki əyriyə əsasən optimal çəkiliş müddətlərinin qabaqcadan təyini imkanı yaranır. Digər tərəfdən, təqdim olunan model müxtəlif səthlərin istilik şüalanmalarının qiymətləndirilməsinə də imkan verir.

Nəzəri əsaslanmalar

İstilik təsvirlərinin emalı proseslərində ölçmə nəticələrinin keyfiyyət göstəricilərinə mənfi təsir göstərən fiziki amil və proseslərin səthin istilikkeçirməsini şərtləndirən model işlənib hazırlanmışdır. Sadəlik üçün fərz edilir ki, baxılan səth eynicinsli olub, yuxarıdan müstəvi ilə məhdudlaşmış, aşağıya doğru sonsuz olan sabit istilik xarakteristikalarına malik olan bir sistem kimi təsəvvür edilir [3,5]. Temperatur differensial tənliklə təyin edilir:

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Burada, $T=T(x,t)$ – səthdən x – dərinliyində temperaturun qiyməti, t – günortadan hesablanmış yerli vaxt, k – eynicinsli sistemin temperatur keçiriciliyidir. ω – bucaq tezliyində periodik qızmaya malik olan sistem üçün (1) tənliyinin həlli

$$v(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} D_n \exp(-C\sqrt{n\lambda}) \cos(ncot - \xi_n - e\sqrt{n\lambda}) \quad (2)$$

Burada, D_n və ξ_n – ixtiyari daxil edilmiş əmsallardır. $c = \sqrt{\frac{\omega}{2k}}$ - birinci harmonikanın dalğa ədədidir.

Əmsallar səthin sərhəd səthləri ilə təyin olunur. Hansı ki, istilikkeçirmə xüsusiyyəti nəzərə alınmaqla, Yer səthinə düşən günəş enerjisi ilə, Yer səthindən şüalanan enerji balansı əsasında təyin edilir. Bu halda modeli mürəkkəbləşdirməmək məqsədi ilə istilikkeçirmənin bəzi amilləri, o cümlədən, atmosferin istilikkeçirməsi və konfeksiyası, torpaqda istilikkeçirmə, suyun buxarlanması ilə yaranan istilik effektləri nəzərə alınmır. Beləliklə, $x = 0$ olduqda,

$$-k \frac{\partial v(0, t)}{\partial x} = \varepsilon\delta + I \quad (3)$$

Burada, I – düşən şüalanmanın udulan hissəsi olub, günəş şüalanmasının qısa dalğalı ($\lambda < 4.0\mu m$) və atmosfer şüalanmalarının uzun dalğalı ($\lambda > 4.0\mu m$) hissələrindən ibarətdir. ε - səthin orta nisbi şüalanma əmsalıdır; δ – Stefan-Bolsman sabitidir; k – yarım fəzanın xüsusi istilik keçirməsidir. Laplas çevirməsindən istifadə edərək bir sıra tədqiqatçılar səthin [6,7,8] temperaturu ilə onun şüalanması arasında əlaqəni formalaşdıran riyazi düstur vermiş və onun həlli əsasında səthin temperaturunun qiymətini təyin etmişdir:

$$f_n = \frac{P}{\sqrt{\pi T}} \sum_{s=1}^m v_s^4 \phi_{n-s+1}, n = 1, 2, 3, \dots \dots m \quad (4)$$

Burada, ϕ_n – spektral diapazonun n -ci intervalında Yer səthinə düşən işıq selinin orta qiymətidir. $p = K/\sqrt{c}$ – Yerin istilik ətalətidir, τ – qızdırıcı selin davam etmə müddəti (periodu), T_s – səthin s intervalında orta temperaturudur, m – τ müddətində ümumi intervalların sayı, m –ilə təyin olunan rəqəmli əmsallardır. Belə yanaşma peykdən alınan istilik təsvirlərinin analiz olunmasında əlverişlidir.

İstilik ötürməsi qeyri-xətti proses olduğundan aparılan analizlərdə sonlu fərqlənmələr metodundan istifadə olunur [6,14]. Bu halda xətlərin mümkün qədər azaldılması üçün zaman və fəza xarakteristikaları düzgün müəyyənəlməlidir. Sonlu fərqlənmələr metodundan və Laplas çevirməsindən istifadə prosesində, tənliyə daxil olan kəmiyyət qiymətləndirilməsində müəyyən çətinliklər yaranır ki, bu da bilavasitə emal prosesini çətinləşdirir. Bununla əlaqədar olaraq qərara alındı ki, tənliyin 0 səviyyəli parametrləri xəttləşdirilməlidir, hansı ki, bilavasitə baxılan sərhəd şərtləri daxilində radiasiya selinin xüsusiyyətlərini əks etdirir. Aparılan araşdırmalar göstərir ki, Yer səthinin sutka ərzində temperaturunun dəyişməsinin nəzəri nəticələrinin qiyməti, təcrübi nəticələrdən çox az fərqlənir.

Məlum olduğu kimi, ümumiyyətlə radiasiya I qısa dalğalı günəş radiasiyasından I_S və səmanın şüalandırdığı uzun dalğalı radiasiyalardan ibarətdir. Sonuncu yaxınlaşmanı σT_{SER} kimi təsvir etmək olar. Burada σT_{SER} – səmanın effektiv radiasiya temperaturudur. Buna görə də udulan enerjinin qiyməti $\varepsilon \sigma T_{SER}^4$ olacaq. Bu halda (3) tənliyinin sağ tərəfindəki tərtibedicisini aşağıdakı kimi xəttləşdirmək olar:

$$\varepsilon \sigma v^4 - \varepsilon \sigma T_{SER}^4 \sim 4 \varepsilon \sigma T_{SER}^3 (v - T_{SER})$$

$$\frac{v - T_{SER}}{T_{SER}} \ll 1 \text{ olduqda} \quad (5)$$

Bu halda, (3) sərhəd şərtləri daxilində (1) diffuziya tənliyinin həlli (5) ümumiləşdirilməsinin nəzərə alınması şərti ilə həll etmək olar.

Qeyd olunan əvəzləməli (4)-də nəzərə alsaq,

$$\phi(x, t) = v - \frac{1}{h} \frac{\partial v}{\partial x} \quad (6)$$

Burada, $h = 4 \varepsilon v T_{SER}^3 / K$.

Bu halda,

$$c \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (7)$$

Bu ifadə $x=0$ şərti daxilində sərhəd şərtlərini ödəyir. Yəni,

$$\phi = T_{SER} + \frac{I_S}{Kh} \quad (8)$$

burada, I_S – udulan qısa dalğalı işıq selidir. Bu parametrlər Yer səthinin albedosundan A , günəşin səmadakı yerindən σ , coğrafi enlikdən λ , baxılan səthin meyilliyindən asılı olaraq dəyişir. Bu asılılığı aşağıdakı kimi göstərmək olar:

$$I_S = (1 - A) S_0 CM(z) \cos' \quad (9)$$

Burada, S_0 – günəş sabiti, C – günəş selinin buludlar tərəfindən zəifləməsini nəzərə alan əmsaldır, $M(z)$ – atmosferin buraxma xüsusiyyətidir, hansı ki, zenit bucağından z və meyilli səthin zenit bucağından z' asılı olur [9,10,11].

Atmosferdə zəifləmənin qiyməti təqribi olaraq $\sqrt{\sec z}$ [1] qanunu ilə təyin olunur. Bu halda

$$M(z) = 1 - 0,2\sqrt{\sec z} \quad (10)$$

Burada,

$$\cos z = \cos \lambda \cdot \cos \sigma \cdot \cos \omega t + \sin \alpha \cdot \sin \sigma \quad (11)$$

Yerli zenit bucağını (12) ifadəsi ilə hesablamaq olar:

$$\begin{aligned} \cos z' = & \cos d \cdot \cos z - \sin d (\sin \phi \cos \sigma \cdot \\ & \cdot \sin \cot - \cos \phi \sin \sigma \cos \alpha - \sin \sigma \cdot \sin \alpha \cdot \cos \cot) \end{aligned} \quad (12)$$

Burada, d – səthin meyilliyi, ϕ – meyillik bucağının azimutudur. Həllin sadələşdirilməsi üçün əlavə olaraq $M(t)$ parametri təyin olunur [12,13,14]. Bu parametr baxılan ərazi üçün yerli insolyasiyanı müəyyənləşdirir:

$$H = \begin{cases} M(z)\cos z' \\ 0 \end{cases}, -t_R < t < t_S$$

$$t_S < t < t_R$$

Burada, t_S və t_R – yerli vaxtla günəşin batma və çıxma vaxtıdır. Bu halda aşağıdakı şərt qəbul olunur:

$$-t_R > t > t_S, \cos z > 0 \text{ və } \cos z' > 0$$

Bu halda

$$I_S = (1 - A)S_0CH \quad (13)$$

$x = 0$ sərhəd şərti daxilində (8)-ci düsturda göstəriləndiyi kimi aşağıdakı şəkli alır:

$$\phi = I_{SER} + (1 - A)S_0 \frac{CH}{Kh} \quad (14)$$

(14) şərtinin ödənilməsi ilə (7) tənliyinin həlli aşağıdakı kimi olur:

$$\phi(x, t) = T_{SER} + \frac{(1 - A)S_0}{Kh} C \sum_{n=0}^{\infty} A_n \exp(-K\sqrt{nx}) \cos(n\omega t - \varepsilon_n - K\sqrt{nx}) \quad (15)$$

Burada, A_n və ε_n – yerli insolyasiyanın amplituda və faza tərtibediciləridir. (6) ifadəsi ilə təyin olunan Yer səthinin temperaturunu aşağıdakı integralın həlli ilə tapırlar:

Yəni,

$$v(0, t) = h \int_0^{\infty} \phi(\eta, t) \exp(h\eta) d\eta$$

Onun həlli

$$v(0, t) = T_{SER} + \frac{(1-A)S_0C}{K} \sum \frac{A_n \cos(n\omega t - \varepsilon_n - \sigma_n)}{\sqrt{(h + k\sqrt{n})^2 + k\sqrt{n}}} \quad (16)$$

Burada, $\sigma_n = \arctg(k\sqrt{\frac{n}{h} + k\sqrt{n}})$.

Bunun əsasında geotermal Q selinin təsirini nəzərə almaq olar. Bunun üçün (1) differensial tənliyində (3) sərhəd şərtlərini ödəyən $v = Qx/K + Q/Kh$ həllinin nəzərə alınması tələb olunur. Qyed edək ki,

$$k = \sqrt{\frac{\omega}{2K}}; h = \frac{4\varepsilon\sigma T_{SER}}{k} v\theta$$

$s = hK$; bu halda,

$$k\sqrt{\frac{n}{h}} = r\sqrt{\frac{n}{s}} v\theta \sqrt{kn + h^2} = h \sqrt{(r\sqrt{\frac{n}{s^2}} + 1) \text{ olur.}}$$

Beləliklə,

$$v(0, t) = T_{SER} + \frac{Q}{s} + (1-A)S_0C \cdot \sum_{n=0} A_n \frac{\cos(n\omega t - \varepsilon_n - \sigma_n)}{\sqrt{(s + r\sqrt{n})^2 + (r\sqrt{n})^2}} \quad (17)$$

Burada,

$$\sigma_n = \arctg\left(r\sqrt{\frac{n}{s}} + r\sqrt{n}\right)$$

$$r = \rho\sqrt{\frac{n}{t}}$$

$$s = 4\varepsilon\sigma T_{SER}^3$$

Aşağıdakı şəkildə torpaq suxurları üçün dörd əsas parametrdən, o cümlədən; istilik ətaləti, albedo, geotermal təsir və nisbi şüalanma xüsusiyyətinin dəyişmələrindən asılı olaraq sutka ərzində temperaturun dəyişməsi göstərilmişdir. Orta sutkalıq temperatur v_{ds} (17) düsturunu inteqrallamaq yolu ilə alınır.

$$v_{ds} = \frac{1}{T} \int_0^T v(0, t) dt = T_{SER} + \frac{Q}{s} + (1-A)S_0CA_0 \cdot \cos \frac{C_0}{s} \quad (18)$$

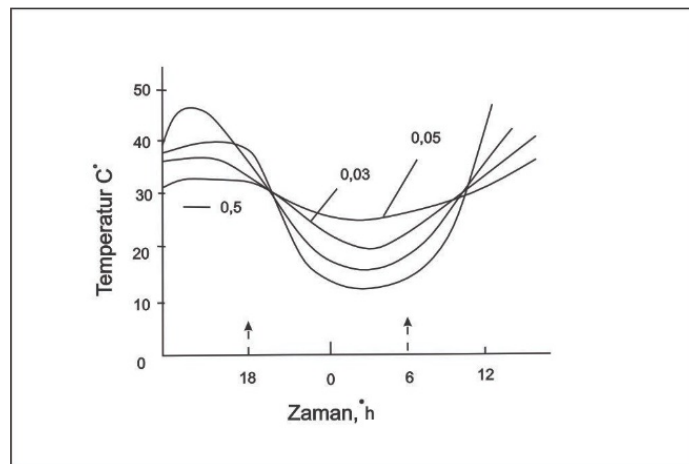
Burada,

$$A_0 \cos \varepsilon_0 = \frac{1}{\tau} \int H(t) dt$$

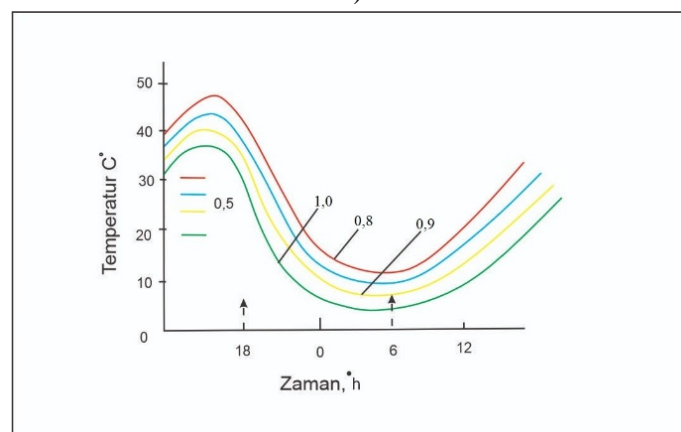
Qeyd olunmalıdır ki, v_{ds} kəmiyyətinin qiyməti Yer səthinin istilik ətalətindən asılı olmur. Bu parametrlə albedonun qiymətləri əsasında geotermal təsirin qiymətini hesablamaq olar. Gecə və gündüz arasındakı temperatur fərqi Δv , gecəyarısı və günorta temperatur fərqləri əsasında hesablanır:

$$\Delta v = v(0,0) - v\left(0, \frac{T}{2}\right) = 2(1 - A)S_0C \sum_{m=1}^n \frac{A_{2m-1} \cos(\varepsilon_{2m-1} + \sigma_{2m-1})}{\sqrt{s + r\sqrt{2m-1}}} \quad (19)$$

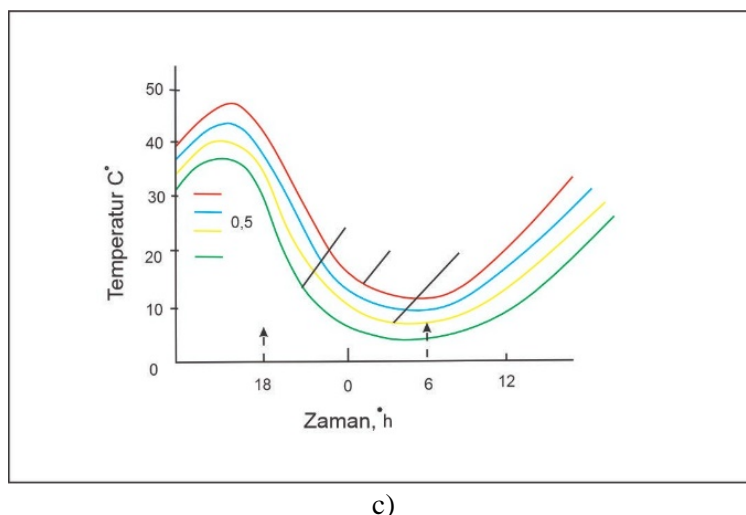
Baxılan sonuncu ifadə göstərir ki, qeyd olunan parametrlər əsasında Yer atmosferdə istənilən müddətdə temperaturun qiymətləndirmə dəqiqliyinin artırılması üçün bir model kimi tətbiq oluna bilər. Bu xüsusiyyət peyk sistemləri vasitəsilə Yer səthinin istilik temperaturunun paylanması xəritələşdirilmə məsələlərində tətbiqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Modeldə göstərilən nəzəri məsələlərin təcrübədə yoxlanılması məqsədi ilə Abşeron yarımadasında (tədqiqat ərazisinin koordinatları $E=49^{\circ}55'11''$, $N=40^{\circ}25'30''$) sutkanın müxtəlif saatlarında temperaturun modeldə göstərilən əsas parametrlərdən, o cümlədən albedodan, nisbi istilik şüalanmasından və istilik ətalətindən asılı olaraq dəyişmə xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir. Aşağıdakı şəkildə alınmış nəticələrin qrafiki təsviri verilmişdir.



a)



b)



c)

Şəkil 1. İstilik ətaləti ($cal/sm^2 \cdot s^{\frac{1}{2}}$) (a), albedo (%-lə) (b) və nisbi istilik şüalanmalarının (c) qiymətindən asılı olaraq tədqiqat ərazisində temperaturun sutka ərzində dəyişmə qrafikləri. Zaman yerli vaxtla verilmişdir

Qrafiklərdə göstərilən orta sutkalıq (OS) temperatur hər bir əyri üçün üfuqi xətlə göstərilmişdir. Qrafiklərin qarşılıqlı müqayisəsindən görünür ki, istilik ətalətinin təsiri istisna olmaqla, digər hallarda onun qiyməti albedo və nisbi istilik şüalanmasının qiymətindən asılı olaraq dəyişir. Digər tərəfdən, baxılan əyriyədə amplitudun qiyməti nisbi istilik şüalanmasının qiymətindən asılı olmur. Qrafiklərdə göstərilən şaquli oxlar ölçmələr aparılan ərazidə günəşin çıxma və batma vaxtlarıdır. Əyriyələrin qurulması hesablanarkən aşağıda qeydə alınmış qiymətlərdən istifadə edilmişdir:

$$\text{İstilik inersiyası} - 0,03 \frac{kal}{sm^2 \cdot s^{\frac{1}{2}}};$$

Albedo - 0,3

Nisbi şüalanma əmsalı - 1,0

Coğrafi enlik - 45°

Səmanın radiasiya temperaturu - $270^{\circ}K$

Səthin meyilliyi - 0°

Buludluluq - 2,0.

Nəticə

Yer səthinin temperaturunun düzgün qiymətləndirilməsi böyük əhəmiyyətə malikdir. Bu bir sıra proseslərin, o cümlədən yer səthi ilə atmosfer arasındakı enerji mübadiləsi, kənd təsərrüfatına yararlı torpaqların suya olan tələbatı, yanğınlara nəzarət və onun qarşısının alınması və nəhayət iqlim dəyişmələrinin proqnozlaşdırılması məsələlərinin həllində xüsusi yer tutur. Yer səthinin temperaturunun formalaşmasına təsir edən əsas amillər kimi Yer istilik ətaləti, albedo və səthin istilik şüalanmasının təsir göstəriciləri analiz olunaraq riyazi model təklif olunur. Qeyd olunan parametrlərin dəqiqliyinin artırılması peyk ölçmələrindən alınan nəticələrin dəqiqliyinin artırılmasına yardımçı ola bilər. Təklif olunan modelin digər coğrafi zonalarda tətbiqi müxtəlif coğrafi parametrlərin nəzərə alınmasını tələb edir.

ƏDƏBİYYAT

1. B.M. Azizov, J.S. Mekthiyev, H.N. Mammadov. Mathematical Model for Accuracy Improvement of Determining the Radioactive Characteristics of objects on the Earth's Surface. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. Vol 14.2.2022. pp. 117-123. DOI: 10.5217/2076-0515_2022_14_02_117_123.
2. X. Халилова, Б.М. Азизов, X.Г. Асадов. Исследование экстремальных свойств коэффициента экстинкции атмосферного аэрозоля в береговых зонах. Инженерная физика. № 2.2022. с. 37-41. DOI: 10.25.791/infizik.2.2022.1255.
3. Б.М. Азизов, А.Н. Бадалова, X.Н. Мамедов. Оценка характеристических показателей оптико-электронных приборов применяемых в системах дистанционного зондирования. Известия ЮФЦ. № 3.2023. с.232-239.
4. Becker, F. and Li, Z.-L., 1995: Surface temperature and emissivity at various scales: Definition, measurement and related problems, Int J Remote Sens, 12, 225-253.
5. Coll, C., Valor, E., Caselles, V. and Niclos, R., 2003: Adjusted Normalized Emissivity Method Method surface temperature and emissivity retrieval from optical and thermal infrared remote sensing data, J. Geophys res, 108. 12.1-12.14.
6. Niclos, R., Caselles, V., Coll, C., and Valor, E., 2007: Termination of sea surface temperature at large obsetion angles using an angular and emissivity-dependent windows equation, Remote Sens Environ, 111, 107-111. DOI: 10.1016/j.rse.2007.03.014.
7. Prata, A. J., 2002: Land surface temperatures measurements space: AATSR algorithm theoretical basis document, CSIRC mos. Res., Aspendale, Australia, tech. rep.34.
8. Rubio, E., Caselles, V., and Badenas, C., 1997: Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 μm band: analysis of two field method, Remote Sens Environ 490-521.
9. Conaway, J. and van Bavel, C. H. M., 1967: Evaporation Reflection radiometer ASTER images, IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 36. 1113-1126.
10. H.Z. Ren, J.J. Dong, R.Y. Liu, Y.T. Zheng, J.X. Guo, S.S. Chen, J. Nie, Y. Zhao. New hybrid algorithm for land surface temperature retrieval from multiple-band thermal infrared image without atmospheric and emissivity data inputs. Int. J. Digit.Earth, 13(2020), pp.1430-153.
11. Perez-Planells et al. L. Perez-Planells, R.Niclos, J.Puchades, C. Coll, F-M. Gottsche, J.A. Valiente, E. Valor, J. M. Galve. Validation of Sentinel-3 slsdr land surface temperature retrieved by the operational product and comparison with explicit emissivity-dependent algorithms. Remote Sensing, 13 (2021), pp. 1-25.
12. Pinker et al., 2019 R.T. Pinker, Y.Ma, W.Chen, G. Hulley, E. Borbas, T. Islam, C. hain, K. cawse-Nicholson, S. Hook, J. Basara. Toward a unified and coherent land surface temperature earth system data record from geostationary satellites. Remote Sensing., 11 (2019), pp. 1-23.
13. Qian et al, 2013 Y.G. Qian, Z.L. Li, f. Nerry. Evaluation of land surface temperatures and emissivities retrieved from msd/seviri data with Modis land surface temperature and emissivity products. Int. J.Remote Sensing., 34 (2013), pp. 3140-3152.
14. Qian et al, 2001a Z. Qin, G. Dall' Olmo, A. Karnieli, P. Berliner. Derivation of split windows algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high resolution radiometer data. J. Geophys. Res.-Atmos., 106 (2001), pp.22655-22670.

REFERENCES

1. B.M. Azizov, J.S. Mekthiyev, H.N. Mammadov. Mathematical Model for Accuracy Improvement of Determining the Radioactive Characteristics of objects on the Earth's Surface. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. Vol 14.2.2022. pp. 117-123. DOI: 10.5217/2076-0515_2022_14_02_117_123.
2. Kh. Khalilova, B.M. Azizov, Kh.G. Asadov. Study of extreme properties of the extinction coefficient of atmospheric aerosol in coastal zones. Engineering physics. No. 2.2022. With. 37-41. DOI: 10.25.791/infizik.2.2022.1255.
3. B.M. Azizov, A.N. Badalova, H.N. Mamedov. Assessment of the characteristic indicators of optical-electronic devices used in remote sensing systems. News of the Southern Federal Center. No. 3.2023. pp.232-239.
4. Becker, F. and Li, Z.-L., 1995: Surface temperature and emissivity at various scales: Definition, measurement and related problems, *Int J Remote Sens*, 12, 225-253.
5. Coll, C., Valor, E., Caselles, V., and Niclos, R., 2003: Adjusted Normalized Emissivity Method Method surface temperature and emissivity retrieval from optical and thermal infrared remote sensing data, *J. Geophys res*, 108. 12.1-12.14.
6. Niclos, R., Caselles, V., Coll, C. and Valor, E., 2007: Termination of sea surface temperature at large observation angles using an angular and emissivity-dependent windows equation, *Remote Sens Environ*, 111, 107-111. DOI: 10.1016/j.rse.2007.03.014.
7. Prata, A. J., 2002: Land surface temperatures measurements space: AATSR algorithm theoretical basis document, CSIRC mos. Res., Aspendale, Australia, tech. rep.34.
8. Rubio, E., Caselles, V., and Badenas, C., 1997: Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 μm band: analysis of two field method, *Remote Sens Environ* 490-521.
9. Conaway, J. and van Bavel, C. H. M., 1967: Evaporation Reflection radiometer ASTER images, *IEEE Trans Geosci Remote Sensing*, 36. 1113-1126.
10. H.Z. Ren, J.J. Dong, R.Y. Liu, Y.T. Zheng, J.X. Guo, S.S. Chen, J.Nie, Y. Zhao. New hybrid algorithm for land surface temperature retrieval from multiple-band thermal infrared image without atmospheric and emissivity data inputs. *Int. J. Digit.Earth*, 13(2020), pp.1430-153.
11. Perez-Planells et al. L. Perez-Planells, R.Niclos, J.Puchades, C. Coll, F-M. Gottsche, J.A. Valiente, E. Valor, J. M. Galve. Validation of Sentinel-3 sldtr land surface temperature retrieved by the operational product and comparison with explicit emissivity-dependent algorithms. *Remote Sensing*, 13 (2021), pp. 1-25.
12. Pinker et al., 2019 R.T. Pinker, Y.Ma, W.Chen, G. Hulley, E. Borbas, T. Islam, C. hain, K. cawse-Nicholson, S. Hook, J. Basara. Toward a unified and coherent land surface temperature earth system data record from geostationary satellites. *Remote Sensing.*, 11 (2019), pp. 1-23.
13. Qian et al, 2013 Y.G. Qian, Z.L. Li, f. Nerry. Evaluation of land surface temperatures and emissivities retrieved from msdg/seviri data with Modis land surface temperature and emissivity products. *Int. J.Remote Sensing.*, 34 (2013), pp. 3140-3152.
14. Qian et al, 2001a Z. Qin, G. Dall' Olmo, A. Karnieli, P. Berliner. Derivation of split windows algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-

advanced very high resolution radiometer data. J. Geophys. Res.-Atmos., 106 (2001), pp.22655-22670.

THERMAL MODEL OF THERMAL INFRARED IMAGES

Azizov B.M., Valehov N.S.
National Aviation Academy

Thermal IR images provide a wide range of information about many components of the environment. Among them, processes taking place in geological rocks close to the Earth's surface, including the density of rocks, their water capacity, and thermal conductivity, are considered an important means of information. Infrared heat measuring devices with different resolution characteristics installed in modern satellite systems are widely used in determining the contours of volcanic processes, hydrothermal sources, and determining geological formations with different physical and chemical properties, as well as determining fractures in the terrain. Interpretation of modern thermal images requires consideration of a large number of different factors resulting from the influence of various physical processes. A theoretical model is proposed for the quantitative evaluation of a number of factors with the aim of choosing the optimal period of thermal IR research and increasing the accuracy of calculation of other parameters of the surface. The parameters used in the formation of the model were carried out under optimal meteorological conditions and there was no vegetation on the selected ground surface.

Keywords: *thermal radiation, thermal conductivity, radiation coefficient, thermal inertia, thermal images, interpretation, radiation, temperature contrast, optical-electronic scanners.*

Rəyçi: t.e.d., prof. Bədəlova A.N.

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Əzizov Bəxtiyar Məqatil oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Ətraf mühitin aerokosmik monitorinqi kafedrasının professoru, t.e.d.	bazizov@naa.edu.az mob: (+994) 50 627 55 43
Valehov Nəsimi Seymur oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Ətraf mühitin aerokosmik monitorinqi kafedrası, Aerokosmik problem laboratoriyasının laborantı	nasimi.valehov@naa.edu.az mob: (+994) 55 344 29 41

MÜNDƏRİCAT

FİZİKA

1. Улучшение структуры деформированных нанослоев полупроводников $A^{IV}B^{VI}$: анализ новой модели.
Пашаев А.М., Даварашвили О.И., Енукашвили М.И., Ахвледиани З.Г.,
Бычкова Л.П., Гуляев Р.Г., Дзаганя М.А., Зломанов В.П 6

AVİASİYA VƏ KOSMİK TEXNİKASI

2. Bort nəzarət-ölçü sistemi ilə konvertoplan tipli mikro PUA-nın VTOL rejimində tədqiqi.
Nəbiyev R.N., Abdullayev A.A., Qarayev Q.İ. 17
3. Kiçik peyklər üçün yerə optik-elektron səmtləşdirmə sisteminin modeli və fotoqəbuledicisinin energetik hesabatı.
İsgəndərov İ.Ə. 30
4. Aeroport ərazisində yərüstü nəqliyyat vasitələrinin hərəkət vaxtının təhlili.
Həsənov A.R., Ağayev E.A., Əhmədov R.Ə., Allahverdiyev R.Ə. 41
5. Uçuşların yərüstü rabitə və radiotexniki təminatının texniki vəziyyətinə intellektual operativ monitorinqin üsul və vasitələri.
Ramazanov K.Ş. 47

AERONAVİQASIYA

6. Dronların idarə olunmasının konseptual əsasları.
Əsgərov T.K. 53

AVİASİYA TƏHLÜKƏSİZLİYİ

7. Анализ радикализации террористов волков-одиночек.
Мухтаров Р.М., Шекили Ш.П. 61

İNFORMASIYA TEXNOLOGİYALARI

8. Bayes yanaşması ilə tələbələrin tədrisdənkənar fəaliyyətlərinin akademik göstəricilərinə təsirinin qiymətləndirilməsinin qeyri-səlis modeli.
İsmayılov İ.M., Ağayev N.B., Hüseynova G.B. 73
9. Azərbaycan Respublikasında Hava Yollarının diaqnostikası üçün ümumiləşdirilmiş model.
Babayev H.B., Muxtarov P.Ş. 82
10. Fəza mexanizmlərinin xarakterik nöqtələrinin sürətlərinin təyini üçün 3D kompüter modeli əsasında yeni qraf-analitik üsul.
Mustafayev M.R., Pənahova N.C., Həsənov A.F., Rəhimova S.M. 88
11. Моделирование Куринского каскада водохранилищ с помощью Matlab.
Мехтиева Б.Г. 97

AVİASİYA METEOROLOGİYASI

12. Abşeron yarımadasında qızmar hava dalğasının davamiyyəti indeksinin qiymətləndirilməsi.
Səfərov S.H. 107

AEROKOSMİK MONİTORİNG VƏ ƏTRAF MÜHİTİN QORUNMASI

13. İstilik infraqırmızı təsvirlərin istilik modeli.
Əzizov B.M., Valehov N.S. 120

CONTENTS

PHYSICS

1. Improvement of the structure of the deformed nanolayers of $A^{IV}B^{VI}$ semiconductors: analysis of a new model.
Pashaev A.M., Davarashvili O.I., Erukashvili M.I., Akhvlediani Z.G., Bychkova L.P., Gulyaev R.G., Dzaganina M.A., Zlomanov V.P. 6

AVIATION AND SPACE TECHNOLOGY

2. Study of flight-technical parameters of convertoplan-type unmanned micro aircraft in multicopter mode.
Nabiyev R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. 17
3. Model of an optical-electronic system for orientation small satellites to the earth and energy calculation of its photo receiver.
Isgandarov I.A. 30
4. Analysis of the movement time of ground vehicles in the airport area.
Hasanov A.R., Aghayev E.A., Akhmadov R.A., Allahverdizade R.A. 41
5. Methods and means of intelligent operational monitoring of the technical condition of ground communications and radio engineering support of flights.
Ramazanov K.Sh. 47

AIR NAVIGATION

6. The conceptual basics of drone control.
Asgarov T.K. 53

AVIATION SECURITY

7. Analysis of radicalization of lone wolf terrorists.
Mukhtarov R.M., Shekili Sh.P. 61

INFORMATION TECHNOLOGY

8. Fuzzy model for assessing the impact of students' extracurricular activities on academic indicators using a Bayesian approach.
Ismailov I.M., Aghayev N.B., Huseynova G.B. 73
9. General model for diagnosis of Air Lines in the Republic of Azerbaijan.
Babayev H.B., Muxtarov P.Ş. 82
10. A new graphic-analytical method for determining the speed of characteristic points of a spatial mechanism, based on a three-dimensional computer model.
Mustafayev M.R., Panahova N.C., Hasanov A.F., Ragimova S.M. 88
11. Modeling the Kura cascade of reservoirs using Matlab.
Mekhdıyeva B.G. 97

AVIATION METEOROLOGY

12. Estimation of the heat wave duration index on the Absheron peninsula.
Safarov S.H. 107

AEROSPASE MONITORING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

13. Thermal model of thermal infrared images
Azizov B.M., Valehov N.S. 120

Məqalələrin tərtib 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 şrifflə (cədvəllər, şəkillər və şəkilaltı yazılar 11 ölçülü şrifflə), 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-1, DOI-si, adı, müəlliflərin adı, ata adı, soyadları, elektron ünvanları, təşkilatın adı, məqalənin yazıldığı dildə bir intervalla çap olunmalı, qısa annotasiya və açar sözlərlə başlanmalıdır.

2. Ədəbiyyata istinad (References):

- ədəbiyyata istinad məqalədə rast gəlinəni ardıcılıqla işlənməlidir.

Sitat gətirmə qaydası:

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

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

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

References - ədəbiyyatın orijinal dildə ingilis əlifbası ilə verilmiş variantıdır.

3. Annotasiya.

Annotasiya digər iki dildə 8 sətirdən 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!!!

Правила оформления статей

Статьи принимаются на азербайджанском, русском или английском языках. В каждой статье должна быть представлена аннотация и ключевые слова на азербайджанском, русском и английском языках. Представляемые к публикации статьи должны быть напечатаны через один интервал на белой бумаге формата А4, размер шрифта 12 (табл., рис. и надписи к рисункам размером шрифта 11). Отступы: от всех краев листа 2 см. Объем статьи: для оригинальных - не более 10 страниц, для обзорных - не более 15 стр. Статьи представляются в распечатанном и электронном вариантах, набранные в формате WORD. Рукописи статей не возвращаются авторам. Для авторов из других организаций статьи сопровождаются письмом и актом экспертизы из той организации, где они работают. Статьи рецензируются. После получения положительной рецензии по решению Редакционного Совета статья публикуется.

1. Каждая статья начинается с УДК или PACS, DOI, названия, И.О. фамилии авторов, электронного адреса, названия организации и краткой аннотации на языке статьи и ключевых слов.

2. Ссылки на литературу (References):

- ссылки на литературу должны следовать в том порядке, в котором они появляются в статье.

Порядок цитирования:

- статьи в периодических журналах: Ф.И.О. авторов, название статьи, название периодического журнала, год публикации, номера тома и страниц;

- материалы конференций и тезисы: Ф.И.О. авторов, название материала конференции или тезиса, название конференции, место и год проведения, том печатного материала, номер и страницы.

- книги: Ф.И.О. авторов, название книги, издательство, дата и место, количество страниц, при повторной ссылке даётся также номер страницы.

References - вариант оригинала литературы на языке материала латинским шрифтом.

3. Аннотация. Аннотация печатается на двух других языках на отдельном листе объёмом не менее 5 строк.

4. Ключевые слова на азербайджанском, русском и английском языках, объёмом 5-10 слов.

5. Рисунки и фотографии с надписями и разъяснениями прилагаются отдельно. Размеры: не менее 6x6 см и не более 23x16 см. Координатные оси графиков должны содержать минимум чисел. Названия координатных осей должны быть написаны очень ясно. Каждая линия в графиках должна быть пронумерована и объяснение должно быть дано в подписях к рисункам.

6. Таблицы должны быть пронумерованы, озаглавлены и напечатаны на отдельном листе.

7. В конце статьи дается информация об авторах: Ф.И.О.; ученая степень и ученое звание; место работы (кафедра, отдел, лаборатория, др.); должность; область научных интересов; электронный адрес; телефон для связи.

Статьи, не соответствующие данным требованиям, не рассматриваются!!!

Rules for the preparation of articles

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 5 lines in two other languages printed on a separate paper.
 4. Key words in Azerbaijani, Russian and English, 5-10 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.

Texniki redaktor

Q.C. Vəliyeva

Korrektorlar

K.f.d. L.N. Yüzbaşova, Z.A. Məmmədova, A.E. Zeynalova, J.R. Əliyeva

Dizayner

T.V. Binnətəliyeva

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

Technical editor

G.J. Valiyeva

Correctors

PhD (Chem.) L.N. Yuzbashova, Z.A. Mammadova, A.E. Zeynalova, J.R. Aliyeva

Designer

T.V. Binnataliyeva

Çapa hazırlanmışdır: 09.02.2024

“Elmi Məcmuə”

“Azərbaycan Hava Yolları” Qapalı Səhmdar Cəmiyyəti

Hava Limanlarının İstismarı Baş İdarəsinin

Poliqrafiya Mərkəzində çap olunmuşdur.

Formatı - 60x84 1/8.

Tiraj 50 nüsxə.

Editor-in-chief

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

Scientific Editor

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

Members of the editorial board (by scientific fields)**Technical sciences**

DSc (Tech.), Prof. Afig 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

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

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/>

