МДҲ ВА БОШҚА ХОРИЖИЙ ДАВЛАТЛАРДА ПАРВОЗ МАЪЛУМОТЛАРИНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИ: ИЛМИЙ ТАДҚИҚОТЛАР ВА УЛАРНИНГ НАТИЖАЛАРИНИ ТАҲЛИЛИ

Якубов Жасур Рузметович
Ўзбекистон Республикаси ҲХ ва МУ ҳарбий авиация институти авиация мутахассисларини тайёрлаш курси катта ўқитувчиси
e-mail: yakubovjasur93@gmail.com

Аннотация: *Мазкур мақолада МДҲ ва бошқа хорижий давлатларда парвоз маълумотларини таҳлил қилиш бўйича олиб борилган илмий тадқиқотлар қиёсий ўрганилган. NASA, EASA, Россия авиация илмий муассасалари тадқиқотлари ҳамда ICAO тавсиялари асосида параметрик назорат, статистик таҳлил, математик моделлаштириш ва интеллектуал алгоритмларнинг имкониятлари баҳоланган. Таҳлил натижасида анъанавий назорат усулларининг афзалликлари ва чекловлари аниқланиб, парвоз параметрларининг ўзаро боғлиқлиги ҳамда маълумотлар ишончлилигини ҳисобга олувчи комплекс ёндашувнинг мақсадга мувофиқлиги асосланган. Олинган хулосалар авиация техникасининг техник ҳолатини баҳолаш ва парвоз хавфсизлигини ошириш усулларини такомиллаштиришга хизмат қилади.*

Калит сўзлар: *парвоз маълумотлари, борт регистратори, параметрик таҳлил, объектив назорат, машинали ўқитиш, авиация хавфсизлиги, техник диагностика, FDR, QAR, FDM.*

Аннотация: *В статье проведён сравнительный анализ научных исследований*
в области обработки и анализа полётной информации в странах СНГ и других зарубежных государствах. На основе исследований NASA, EASA, российских авиационных научных организаций и рекомендаций ICAO рассмотрены методы параметрического контроля, статистического анализа, математического моделирования и интеллектуальной обработки данных. Выявлены преимущества и ограничения традиционных методов контроля, обоснована целесообразность комплексного подхода, учитывающего взаимосвязь полётных параметров и достоверность информации. Полученные выводы направлены на совершенствование методов оценки

технического состояния авиационной техники и повышения безопасности полётов.

Ключевые слова: *полётная информация, бортовой регистратор, параметрический анализ, объективный контроль, машинное обучение, безопасность полётов, техническая диагностика, FDR, QAR, FDM.*

Abstract: *This article presents a comparative analysis of scientific research on flight data processing and analysis in CIS and other countries. Based on studies by NASA, EASA, Russian aviation research organizations, and ICAO recommendations, the paper examines parameter monitoring, statistical analysis, mathematical modeling, and intelligent data processing methods. The advantages and limitations of conventional monitoring approaches are identified, and the relevance of an integrated approach considering flight parameter relationships and data reliability is substantiated. The findings provide a theoretical basis for improving aircraft condition assessment and flight safety.*

Keywords: *flight data, flight data recorder, parameter analysis, flight monitoring, machine learning, aviation safety, technical diagnostics, FDR, QAR, FDM.*

КИРИШ

Жаҳон авиациясининг ривожланиши учиш аппаратлари конструкциясининг такомиллашуви, борт электрон тизимларининг рақамлаштирилиши, автоматлаштирилган бошқарув воситаларининг кенг жорий этилиши ҳамда парвоз жараёнида қайд этиладиган маълумотлар ҳажмининг ортиши билан тавсифланади. Замонавий учиш аппаратларида парвоз баландлиги, ҳаво тезлиги, вертикал тезлик, фазовий ҳолат, двигатель ишлаш режимлари, бошқарув органларининг ҳолати ва бошқа кўплаб параметрлар қайд этилади. Ушбу маълумотлар парвоз жараёнини объектив баҳолаш, авиация техникасининг техник ҳолатини назорат қилиш, эксплуатацион чекловлардан оғишларни аниқлаш ва авиация ҳодисаларининг сабабларини ўрганиш учун муҳим ахборот манбаи ҳисобланади.

Халқаро фуқаро авиацияси ташкилотининг 2021 йилда нашр этилган Doc 10000 «Manual on Flight Data Analysis Programmes» қўлланмасида парвоз маълумотларини таҳлил қилиш дастурлари авиация ташкилотларининг хавфсизликни бошқариш тизими билан ўзаро боғлиқ жараён сифатида кўриб чиқилган. Ушбу ҳужжатда маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш, таҳлил қилиш, натижаларни баҳолаш ва профилактик тадбирларни белгилаш масалалари қамраб олинган.

Парвоз маълумотларини таҳлил қилиш соҳасида АҚШ, Европа давлатлари ва Россия Федерациясида турли илмий ёндашувлар шаклланган. АҚШда NASA томонидан юқори ўлчамли маълумотлар оқимида аномалияларни аниқлаш, дискрет ва узлуксиз параметрларни биргаликда баҳолаш ҳамда маълумотларга асосланган алгоритмларни ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар олиб борилган. Европа давлатларида парвоз маълумотларини мониторинг қилиш дастурларини авиация хавфсизлигини бошқариш жараёнлари билан интеграциялаштиришга катта эътибор қаратилган. Россия Федерациясида эса парвоз маълумотларини автоматлаштирилган қайта ишлаш, математик моделлаштириш, параметрик таҳлил ва махсус дастурий муҳитларни такомиллаштириш масалалари ўрганилган.

Мавжуд тадқиқотларнинг айримлари параметрларни белгиланган эксплуатацион чегаралар билан таққослашга, бошқалари эса статистик моделлар, маълумотларни интеллектуал қайта ишлаш ва аномалияларни аниқлаш алгоритмларига асосланган. Ушбу ёндашувларнинг ҳар бири муайян вазифаларни ҳал қилишда афзалликларга эга бўлса-да, уларнинг қўлланилиш шартлари, натижаларининг ишончлилиги ва эксплуатацион чекловлари турлича.

Шу сабабли хорижий давлатлар ва МДҲ мамлакатларида олиб борилган илмий тадқиқотларни қиёсий ўрганиш, уларнинг натижаларини тизимлаштириш ва парвоз маълумотларини таҳлил қилиш усулларини такомиллаштириш йўналишларини белгилаш долзарб илмий вазифа ҳисобланади.

АСОСИЙ ҚИСМ

Хорижий давлатларда парвоз маълумотларини таҳлил қилиш бўйича илмий тадқиқотлар ва уларнинг натижалари

Парвоз маълумотларини таҳлил қилиш бўйича хорижий илмий тадқиқотларнинг ривожланиши авиация хавфсизлигини таъминлашда маълумотларга асосланган қарор қабул қилиш усулларининг кенгайиши билан боғлиқ. Хусусан, АҚШ ва Европа давлатларида парвоз параметрларини автоматлаштирилган таҳлил қилиш, эксплуатацион хавфларни аниқлаш ва маълумотлар тўпламидан яширин қонуниятларни ажратиб олиш бўйича илмий-техник ёндашувлар ишлаб чиқилган.

АҚШда NASA Ames Research Center илмий маркази томонидан парвоз маълумотларини интеллектуал таҳлил қилиш соҳасида олиб борилган тадқиқотлар муҳим аҳамиятга эга. Хусусан, Santanu Das, Bryan L. Matthews,

Ashok N. Srivastava ва Nikunj C. Oza томонидан 2010 йилда «Multiple Kernel Learning for Heterogeneous Anomaly Detection: Algorithm and Aviation Safety Case Study» номли илмий иш эълон қилинган.

Мазкур тадқиқотда авиация маълумотларининг бир-биридан фарқ қилувчи икки тури узлуксиз сонли параметрлар ва дискрет ҳолатлар кетма-кетлигини биргаликда таҳлил қилиш муаммоси кўриб чиқилган. Узлуксиз маълумотларга парвоз тезлиги, баландлиги ва бошқа вақт бўйича ўзгарувчи кўрсаткичлар, дискрет маълумотларга эса борт тизимларининг муайян ҳолатлари ёки ҳодисалар кетма-кетлиги мисол бўла олади.

NASA тадқиқотидан келиб чиқадиган муҳим илмий хулоса парвоз маълумотларини таҳлил қилишда параметрлар ўртасидаги боғлиқликлар ва уларнинг вақт бўйича ўзгариш хусусиятларини ҳисобга олиш зарурлигидир. Бу эса парвоз маълумотларини таҳлил қилишнинг анъанавий усулларини интеллектуал алгоритмлар билан тўлдириш учун назарий асос яратади.

Европа давлатларида парвоз маълумотларини таҳлил қилиш бўйича ишлар асосан Flight Data Monitoring (FDM) дастурлари доирасида ривожланган. Европа Иттифоқи авиация хавфсизлиги агентлиги EASA томонидан ташкил этилган European Operators Flight Data Monitoring (EOFDM) форуми авиация эксплуатантлари, илмий муассасалар, дастурий таъминот ишлаб чиқувчилар ва назорат органлари ўртасида илғор тажрибаларни умумлаштиришга хизмат қилади.

2025 йил 5 декабрда EASA томонидан ED Decision 2025/020/R қарори қабул қилиниб, парвоз маълумотларини мониторинг қилиш дастурларининг самарадорлигини оширишга қаратилган меъёрий-услубий ўзгартишлар эълон қилинган. 2026 йил март ойида янгиланган қоидаларда парвоз маълумотларини таҳлил қилишни эксплуатацион хавфларни баҳолаш билан боғлашга алоҳида эътибор берилган.

Шундай қилиб, АҚШ ва Европа давлатларидаги ёндашувларни қиёсий ўрганиш натижасида икки муҳим йўналиш ажралиб туради. АҚШдаги кўриб чиқилган NASA тадқиқотида маълумотлардан яширин аномалияларни аниқлашнинг математик алгоритмларига эътибор қаратилган бўлса, Европа тажрибасида парвоз маълумотларини мунтазам мониторинг қилиш ва натижаларни хавфсизликни бошқариш тизимига интеграциялаштириш масалалари устувор аҳамиятга эга.

МДҲ давлатларида парвоз маълумотларини таҳлил қилиш бўйича тадқиқотлар

МДҲ давлатларида парвоз маълумотларини таҳлил қилишнинг ривожланиши собиқ Иттифоқ авиациясида шаклланган объектив назорат тизимлари, борт параметрик регистраторлари ва парвоздан кейинги таҳлил жараёнлари билан узвий боғлиқ.

Авиация техникасида парвоз маълумотларини қайд этиш воситалари парвоз режимларини объектив баҳолаш, эксплуатацион чекловларга риоя этилишини текшириш, техник носозлик белгиларини аниқлаш ва авиация ҳодисаларини текширишда муҳим ўрин тутган. Кейинчалик рақамли регистраторлар ва компьютерлаштирилган қайта ишлаш воситаларининг ривожланиши маълумотларни таҳлил қилиш имкониятларини кенгайтирди.

Россия Федерациясида парвоз маълумотларини автоматлаштирилган қайта ишлаш соҳасида олиб борилган илмий тадқиқотлар орасида Е.М. Еремин ва А.В. Нагорновнинг ишлари алоҳида аҳамиятга эга.

Муаллифларнинг «Требования к программной среде автоматизированной обработки полетных данных» номли илмий мақоласи 2020 йилда «Программные продукты и системы» журналида чоп этилган.

Мазкур тадқиқотда парвоз маълумотларини қайта ишлаш жараёнида авиация мутахассислари дуч келадиган дастурий-техник муаммолар таҳлил қилинган. Муаллифларнинг таъкидлашича, мавжуд дастурий воситалар маълумотларни қайта ишлашнинг айрим вазифаларини бажара олса-да, турли ҳисоблаш ва таҳлил операцияларини ягона дастурий муҳитда амалга ошириш масаласи долзарблигича қолмоқда.

Россия Федерациясидаги ушбу илмий ёндашув билан NASA тадқиқотини қиёслаш натижасида муҳим фарқ кузатилади. Еремин ва Нагорнов ишларида парвоз маълумотларини таҳлил қилиш учун зарур дастурий функцияларни бирлаштириш масаласи асосий ўринни эгалласа, Das ва ҳаммуаллифлар тадқиқотида турли табиатга эга маълумотлардан аномалияларни аниқлашнинг математик усули таклиф этилган.

МДҲ давлатларидаги тадқиқотларнинг яна бир муҳим хусусияти парвоз маълумотларини объектив назорат ва техник эксплуатация жараёнлари билан боғлиқ ҳолда кўриб чиқишдан иборат. Бироқ турли мамлакатларда олиб борилган тадқиқотларнинг натижаларини умумлаштиришда уларнинг илмий мақсади, қўлланилган маълумотлар тўплами ва экспериментал шароитларини ҳисобга олиш талаб этилади.

Шу нуқтаи назардан, Россия Федерациясидаги илмий тадқиқотларни бутун МДҲ мамлакатлари тажрибасининг тўлиқ ифодаси сифатида қабул қилиш мумкин эмас. Қозоғистон, Беларусь ва бошқа мамлакатлардаги

тадқиқотларни ҳам алоҳида манбалар асосида ўрганиш мазкур йўналишдаги кейинги илмий ишлар учун муҳим вазифа ҳисобланади.

Хорижий ва МДҲ тадқиқотларининг илмий натижаларини қиёсий баҳолаш

Ўрганилган илмий ишлар асосида парвоз маълумотларини таҳлил қилишнинг учта асосий йўналишини ажратиб кўрсатиш мумкин: анъанавий параметрик назорат, математик-статистик таҳлил ва интеллектуал аномалияларни аниқлаш.

Анъанавий параметрик назорат усули парвоз давомида қайд этилган параметрларнинг белгиланган рухсат этилган қийматларга мувофиқлигини текширишга асосланади. Ушбу усулнинг афзаллиги алгоритмнинг нисбатан соддалиги, натижаларнинг тушунарлилиги ва белгиланган эксплуатацион чекловларни бевосита назорат қилиш имкониятидир.

Математик-статистик таҳлил усуллари маълумотлар тўпламидаги ўзгариш қонуниятларини, параметрлар ўртасидаги боғлиқликларни ва такрорланувчи оғишларни баҳолаш имконини беради. Бунда корреляцион таҳлил, регрессия моделлари, вақт қаторларини қайта ишлаш ва статистик назорат усулларидан фойдаланиш мумкин.

Интеллектуал таҳлил усуллари эса маълумотларнинг кўп ўлчамли хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда одатий ва ғайриоддий ҳолатларни ажратишга йўналтирилади. Бундай усуллар катта ҳажмдаги маълумотларда яширин боғлиқликларни аниқлаш имкониятини кенгайтириши мумкин.

Бироқ интеллектуал алгоритмларнинг натижалари уларни ўқитиш ва текшириш учун фойдаланилган маълумотлар сифатига, параметрларни танлашга ва эксплуатацион шароитларнинг ўхшашлигига боғлиқ.

Шу сабабли хорижий ва МДҲ давлатларидаги тадқиқотларнинг натижаларини фақат алгоритмнинг мураккаблигига қараб баҳолаш илмий жиҳатдан етарли эмас. Уларнинг амалий самарадорлигини баҳолашда аниқланган аномалияларнинг ҳақиқийлиги, нотўғри сигналлар сони, маълумотлар ҳажми ва натижаларнинг такрорланувчанлиги каби кўрсаткичларни ҳисобга олиш зарур.

Ўрганилган тадқиқотларни қиёсий баҳолаш шуни кўрсатадики, парвоз маълумотларини таҳлил қилиш соҳасидаги асосий илмий муаммолардан бири маълумотларни қайд этиш ва қайта ишлаш имкониятлари билан улардан ишончли диагностик хулоса чиқариш имкониятлари ўртасидаги фарқдир.

NASA томонидан олиб борилган тадқиқот кўп ўлчамли маълумотлар асосида анъанавий усулларда аниқланмайдиган айрим аномалияларни

ажратиш имкониятини кўрсатган. Россия Федерациясидаги тадқиқот эса бундай таҳлилни амалга ошириш учун зарур бўлган дастурий функцияларни тизимлаштирган. Европа тажрибасида мазкур натижаларни авиация хавфсизлигини бошқариш жараёнлари билан боғлашнинг ташкилий-услубий асослари ривожлантирилган.

Парвоз маълумотларини таҳлил қилиш усулларини такомиллаштиришнинг илмий асослари ва истиқболли йўналишлари

Хорижий ва МДҲ давлатларида олиб борилган тадқиқотларнинг қиёсий таҳлили парвоз маълумотларини қайта ишлашнинг истиқболли йўналиши анъанавий параметрик назорат усулларини математик-статистик ва интеллектуал таҳлил алгоритмлари билан интеграциялаштириш эканлигини кўрсатади.

Парвоз маълумотларини комплекс таҳлил қилишда параметрларнинг абсолют қийматларини назорат қилиш билан бир қаторда уларнинг ўзгариш динамикаси, ўзаро боғлиқлиги ва муайян парвоз босқичига мувофиқлигини баҳолаш муҳим аҳамиятга эга.

Мазкур мақолада янги алгоритмнинг экспериментал синовлари ўтказилмаганлиги сабабли унинг сезгирлиги, аниқлиги ёки нотўғри огоҳлантиришлар улуши бўйича сонли натижалар келтирилмайди. Таклиф этилаётган комплекс ёндашув кейинги тадқиқотларда экспериментал жиҳатдан текширилиши лозим бўлган илмий йўналиш сифатида қаралади.

Хорижий ва МДҲ давлатлари тадқиқотларини умумлаштириш натижасида парвоз маълумотларини таҳлил қилиш соҳасидаги муҳим илмий вазифалардан бири турли таҳлил усулларининг натижаларини ягона баҳолаш мезонлари асосида таққослаш эканлиги аниқланди.

ХУЛОСА

Хорижий ва МДҲ давлатларида парвоз маълумотларини таҳлил қилиш бўйича олиб борилган илмий тадқиқотлар ҳамда халқаро авиация ташкилотларининг услубий ҳужжатларини қиёсий ўрганиш натижасида бир қатор илмий хулосалар шакллантирилди.

Биринчидан, парвоз маълумотларини таҳлил қилиш усулларининг ривожланиши алоҳида параметрларнинг белгиланган чегаравий қийматлардан чиқишини назорат қилишдан кўп параметрли статистик ва интеллектуал таҳлил усулларига ўтиш билан тавсифланади. Бунда анъанавий назорат алгоритмлари ўз аҳамиятини йўқотмайди, балки янги таҳлил усуллари билан тўлдирилади.

Иккинчидан, АҚШда NASA томонидан олиб борилган тадқиқотлар турли табиатга эга парвоз маълумотларини биргаликда таҳлил қилиш орқали анъанавий усулларда аниқланмайдиган айрим эксплуатацион аномалияларни аниқлаш имкониятини кўрсатган. Ушбу натижа парвоз параметрлари ўртасидаги мураккаб муносабатларни ҳисобга олишнинг илмий аҳамиятини тасдиқлайди.

Учинчидан, Европа давлатларида парвоз маълумотларини мониторинг қилиш дастурлари авиация хавфсизлигини бошқариш жараёнлари билан интеграциялаштирилган ҳолда ривожланмоқда. Бунда қайд этилган оғишларнинг такрорланиш частотасини баҳолаш, эксплуатацион хавфларни аниқлаш ва профилактик тадбирларни асослаш муҳим вазифалар ҳисобланади.

Тўртинчидан, Россия Федерациясидаги илмий тадқиқотларда парвоз маълумотларини автоматлаштирилган қайта ишлаш, математик ҳисоблашларни бажариш ва таҳлил функцияларини ягона дастурий муҳитда бирлаштириш масалалари ўрганилган. Ушбу ёндашув парвоз маълумотларини комплекс таҳлил қилиш учун зарур дастурий-техник асосларни шакллантириш нуқтаи назаридан аҳамиятлидир.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. International Civil Aviation Organization. Manual on Flight Data Analysis Programmes (FDAP). Doc 10000. Second Edition. Montréal: ICAO, 2021.

2. Das S., Matthews B. L., Srivastava A. N., Oza N. C. Multiple Kernel Learning for Heterogeneous Anomaly Detection: Algorithm and Aviation Safety Case Study // Proceedings of the 16th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2010.

3. European Union Aviation Safety Agency. European Operators Flight Data Monitoring Forum (EOFDM). Research and Best Practice Publications.

4. European Union Aviation Safety Agency. ED Decision 2025/020/R. Regular Update of the Air Operations Rules — Enhanced Implementation of Flight Data Monitoring Programmes. 5 December 2025.

5. Еремин Е. М., Нагорнов А. В. Требования к программной среде автоматизированной обработки полетных данных // Программные продукты и системы. 2020. Т. 33. № 2. С. 336–342. DOI: 10.15827/0236-235X.130.336-342.

6. European Union Aviation Safety Agency. Best Practice Document: Key Performance Indicators for a Flight Data Monitoring Programme. EOFDM Working Group C.

7. European Union Aviation Safety Agency. Flight Data Monitoring, Analysis Techniques and Principles. EOFDM Working Group C.

8. European Union Aviation Safety Agency. Easy Access Rules for Air Operations. Revision 24. March 2026.

9. International Civil Aviation Organization. Safety Management Manual (SMM). Doc 9859. Fourth Edition. Montréal: ICAO, 2018.