ӘОЖ: 378.126
ҒТАМР: 14.35.21

БУХАРБАЕВ М.Ә.

Педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, аға оқытушы, ҚР Әуе қорғаныс күштері әскери институтының аэродинамика және ұшу қауіпсіздігі» кафедрасы, Ақтөбе қаласы, Қазақстан Республикасы, https://orcid.org/0000-0001-5502-485X

БЕСНШІ БУЫНЛАҒЫ ӘСКЕРИ ҰШАҚТАРДЫҢ АСА МАНЕВРЛІГІН ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУДЕГІ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕР

Андатпа. Бұл мақалада «Аэродинамика және ұшу динамикасы» пәнін теориялық оқып-үйренудегі мәселелер қарастырылады, атап айтқанда, классикалық «Аэродинамика және ұшу динамикасы» пәнін үздіксіз оқытуда үзіліс орын алуы және силабусқа «Теориялық механика» пәнінің ережелерін енгізу мәселелері. Жауынгерлік ұшақтардың, мысалы, көпмақсатты Су-35 жойғышының, аса маневрлік қасиеттерінің негізі аэродинамикалық күштердің әсерінен емес, қозғалтқыш тарту векторын басқару арқылы ұшақтың айналу моменттерін өзгерту болып табылады. Аса маневрлік режимдерді іске асырудың аэродинамикалық, конструктивтік және басқарушылық аспектілері талданған.

Түйінді сөздер: аса маневрлік, Су-35, аэродинамика, тарту векторы, басқару, орнықтылық, маневрлік ұрыс

БУХАРБАЕВ М.А.

Кандидат педагогических наук, доцент, старший преподаватель кафедры аэродинамика и безопасность полетов Военного института сил воздушной обороны РК, город Актобе, Республика Казахстан, https://orcid.org/0000-0001-5502-485X

ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ СВЕРХМАНЕВРЕННОСТИ САМОЛЕТОВ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы в теоретическом изучении дисциплины «Аэродинамика и динамика полета», а именно разрыва в непрерывности прохождения классической дисциплины «Аэродинамика и динамика полета» и вплетение в силабус, положений дисциплины «Теоретическая механика». Основой в сверхманевренности боевых самолётов, на примере многофункционального истребителя Су-35, является изменение моментов вращения самолета не под воздействием аэродинамических сил, а с помощью вектора управления тягой двигателей. Проанализированы аэродинамические, конструктивные и управленческие аспекты реализации сверхманевренных режимов

Ключевые слова: сверхманевренность, Су-35, аэродинамика, вектор тяги, управление, устойчивость, маневренный бой

BUKHARBAEV M.

Candidate of pedagogical sciences, associate professor, senior lecturer of the department of aerodynamics and flight safety, Military institute of the air defence forces of the republic of Kazakhstan, Aktobe city, Republic of Kazakhstan, https://orcid.org/0000-0001-5502-485X

ISSUES IN THE THEORETIKAL STUDY OF SUPERMANEUVERABILITI IN FIFTH GENERATON COMBAT AIRCRAFT

Annotation*.* This paper examines issues in the theoretical study of the course "Aerodynamics and Flight Dynamics," particularly the discontinuity in the classical study of this subject and the integration of elements from "Theoretical Mechanics" into the syllabus. In the case of supermaneuverability in combat aircraft, exemplified by the multirole fighter Su-35, the key factor lies in altering the aircraft's rotational moments not through aerodynamic forces, but via thrust vector control of the engines. The paper analyzes aerodynamic, structural, and control aspects involved in achieving supermaneuverable flight modes.

Keywords*:* super maneuverability, Su-35, aerodynamics, thrust vector, control, stability, maneuverable combat

Кіріспе. Әскери авиация саласындағы соңғы жетістіктердің бірі – тартылыс векторын басқару (ТВБ) технологиясының кеңінен қолданылуы. Бұл технология ұшақтың аэродинамикалық мүмкіндіктерін арттыруға, әсіресе аса маневрлі ұшу режимдерінде басқару тиімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Су-57, Checkmate (Су-75), сондай-ақ шетелдік үлгілер (мысалы, F-22, J-20) сынды заманауи ұшақтарда тартылыс векторын басқару жүйелері интеграцияланып, олар ұшудың тұрақтылығы мен маневрлігін айтарлықтай жақсартты.

Ұсынылып отырған патенттер тізімі тартылыс векторын басқару саласындағы негізгі техникалық шешімдерді, құрылымдық ерекшеліктерді және оларды іске асыру тетіктерін сипаттайды. Тізімге отандық және шетелдік (АҚШ, Еуропа, Ресей) өнертабыстар енгізілген, олар реактивті соплолардың конструкциялары, ағындарды бағыттау жүйелері және аэродинамикалық басқару механизмдері арқылы жүзеге асырылады.

Бұл мәліметтер авиациялық техника мен ұшу динамикасын зерттеушілерге, соның ішінде болашақ конструкторлар мен инженерлерге тартылыс векторын басқару жүйелерінің дамуы мен практикалық қолданылуын кешенді түрде түсінуге көмектеседі.

Негізгі ережелер.

1. Тартылыс векторын басқару (ТВБ) – бұл реактивті қозғалтқыш ағынының бағытын өзгерту арқылы ұшу аппаратын басқару технологиясы. Ол классикалық аэродинамикалық рулдік беттердің жұмысын толықтырып немесе алмастырып, әсіресе төмен жылдамдықтағы және үлкен шабуыл бұрыштарындағы басқарылуды қамтамасыз етеді.
2. ТВБ жүйелерінің негізгі түрлері:
   - Механикалық басқарылатын сопло (айналмалы немесе қисаймалы);
   - Флаптармен немесе қанатшалармен бағытталатын ағын;

ð Көпжапырақты (иристәрізді) конструкциялар;

ð Үшінші ағынды инжекция (tertiary flow injection);

ð Аэродинамикалық әсермен басқару (механикалық жетексіз жүйелер, мысалы, NASA әзірлеген құрылғылар).

3. Қолдану салалары:

ð Әскери авиация: аса маневрлі истребительдерде (Су-57, Су-75, F-22, J-20 және т.б.) қарсылас шабуылынан жалтару, жақын әуе ұрысында артықшылыққа қол жеткізу.

ð Ұшқышсыз ұшу аппараттары (БПЛА) және VTOL (тік ұшып-қону) жүйелері: кеңістіктегі дәл басқару мен тұрақтылықты қамтамасыз ету.

ð Ғарыш аппараттары: қозғалыс векторын дәл басқару үшін.

4. Конструктивтік ерекшеліктер:

ð ТVБ жүйелері жиі айнымалы сопло геометриясымен, қосымша басқарушы қанаттармен, немесе интеллектуалды басқару алгоритмдерімен біріктіріледі;

ð Интеграция барысында аэродинамикалық тұрақтылық, салмақ және сенімділік секілді факторлар ескеріледі.

5. Патенттік деректердің талдауы ТВБ технологияларының көпқырлы дамуын көрсетеді. Бұл салада АҚШ, Ресей және Еуропа елдерінің бірқатар алдыңғы қатарлы компаниялары мен зерттеу ұйымдары белсенді жұмыс жүргізіп келеді.

Қазіргі заманғы әуе соғысы жақын маневрлік шайқастарда, әуе шабуылына қарсы қорғаныс (ӘШҚҚ) жүйелеріне қарсы іс-қимылда және күрделі тактикалық тапсырмаларды орындау барысында ұрыс ұшақтарына жоғары талаптар қояды. Мұндай жағдайларда аса маңызды сипаттама ретінде аса маневрлік қабілет алдыңғы орынға шығады — бұл ұшақтың үлкен шабуыл бұрыштарында маневр жасау және басқарылуын жоғалтпай бағытын жылдам өзгерту мүмкіндігі.

Аса маневрлі жойғыштардың ең жарқын өкілдерінің бірі — ресейлік Су-35 ұшағы. Бұл — Су-27 платформасының терең жаңартылған нұсқасы, жаңа қозғалтқыштармен, авионикамен және жетілдірілген маневр жасау мүмкіндіктерімен жабдықталған. Дегенмен, аса маневрлік қабілеттілік ұшақтың құрылымдық әрі тактикалық элементі ретінде енгізілуі бірқатар ғылыми және инженерлік мәселелерді тудырады, олар қазіргі күнге дейін өзектілігін жоғалтқан жоқ.

Аса маневрлік қабілеттілік тұжырымдамасы және оның критерийлері

Аса маневрлік қабілеттілік — бұл ұшақтың үлкен шабуыл бұрыштарында (30°-тан жоғары), ауа ағынына қатысты сырғу бұрыштары мен шектен тыс артық жүктемелерде, яғни дәстүрлі аэродинамикалық тұрақтылық шегінен тыс маневр жасай алу қабілеті.

Дәстүрлі маневрлікпен салыстырғанда аса маневрлік қабілеттілік келесі талаптарды қояды:

ð тартылыс векторын белсенді басқару;

ð автоматты басқару жүйелерінің тиімді жұмысы;

ð аэродинамикалық конфигурацияның жоғары бейімделгіштігі;

ð арнайы ұшқыштық дайындық.

Аса маневрлік қабілеттілікті бағалау көрсеткіштері:

ð ең аз бұрылу радиусы;

ð бұрылу бұрыштық жылдамдығы;

ð жауынгерлік бұрылыстарды орындауға кететін уақыт;

ð үлкен шабуыл бұрыштарында тұрақтылық деңгейі.

Су-35 ұшағындағы аса маневрлік қабілеттілікті қамтамасыз ететін техникалық шешімдер

Тартылыс векторы басқарылатын күш қондырғысы (ТВБ)

Су-35 ұшағындағы аса маневрлікке қол жеткізудің басты элементі — тартылыс векторын басқаруға болатын АЛ-41Ф1С қозғалтқыштары. Бұл қозғалтқыштардың ұшақ артындағы шүмектерін екі жазықтықта ±20° бұру мүмкіндігі келесі маневрлерді орындауға жол ашады:

ð «Пугачёвтың кобрасы»;

ð «Қоңырау» (Bell maneuver);

ð аз жылдамдықтағы жазық бұрылыс;

ð кері көлбеу мен аударылу арқылы жасалатын күрделі маневрлер.

Қозғалтқыштар ұшақтың қалыпты ұшу массасында тартылыс салмағына қатынасын 1-ден жоғары деңгейде қамтамасыз етеді, бұл тік жазықтықтағы маневрлерге мүмкіндік береді.

Планердің құрылымдық ерекшеліктері

Су-35 ұшағында Су-30МКИ үлгісінен айырмашылығы — алдыңғы көлденең тұрақтандырғыш жоқ. Алайда жетілдірілген қанат пен фюзеляж аэродинамикасы үлкен шабуыл бұрыштарында да жеткілікті көтергіш күш тудырады. Композициялық материалдарды қолдану ұшақтың массасын азайтып, құрылым беріктігін арттыруға мүмкіндік берді.

Электродистанциялық басқару жүйесі (ЭДСУ)

Су-35 ұшағындағы жаңа буындағы ЭДСУ тұрақсыз аэродинамикалық конфигурация жағдайында да басқарылу мен тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Кері байланыс орнатылған бағдарламаланатын басқару логикасы ұшақты әртүрлі ұшу режимдеріне, соның ішінде стандартты емес және төтенше жағдайларға бейімдей алады

Қазіргі заманғы мәселелер мен сын-қатерлер

Аэродинамиканың шектеулері

Үлкен шабуыл бұрыштарында ауа ағынының үзілуі (срыв потока) мүмкін, бұл басқарушы беттердің тиімділігін төмендетеді. Тартылыс векторын басқару (ТВБ) мүмкіндігіне қарамастан, сындарлы ұшу режимдері (ауа ағыны үзілу шегіндегі) ұшу тұрақсыз болып қалады, сондықтан үзілісті (нестационарлық) аэродинамиканы тереңірек зерттеу қажет [1].

Тұрақтылық және басқару мәселелері

Аса маневрлік режимдер анықтама бойынша тұрақсыз болып келеді, және дәстүрлі тұрақтылықты қамтамасыз ету әдістері (мысалы, оң статикалық тұрақтылық) мұнда жарамсыз. Сондықтан кешенді тәсіл қажет, ол мыналарды қамтиды:

ð қозғалыс динамикасын сызықтық емес үлгілеу (нелинейное моделирование);

ð бейімделгіш (адаптивті) және нейрожеліге негізделген алгоритмдерді пайдалану;

ð ақауларды интеллектуалды сүзгілеу.

Сверхманеврлер мысалдары

«Пугачёвтың кобрасы»

ð Сипаттамасы: Ұшақ үлкен шабуыл бұрышына (110–120° дейін) кенет кіріп, жылдамдықты күрт төмендетіп, тұмсығын жоғары көтереді, бірақ биіктігін жоғалтпайды.

ð Мақсаты: Шабуылдан қашу, жылдамдықты тастау, қарсыласты шатастыру.

ð Ерекшеліктері:

ð Дозвуктік жылдамдықта орындалады.

ð ЭДСУ мен УВТ жүйелерінің дәл үйлесімділігі қажет.

Кобра бұрылысымен (басқарылатын кобра)

ð Сипаттамасы: "Кобра" маневрі көлденең не тік жазықтықта бұрылумен бірге орындалады.

ð Мақсаты: Тікелей шабуылдан қарсыластың артына шығу, зымыраннан жалтару.

ð Мысалы: Су-30МКИ, Су-35 ұшақтарында орындалған.

«Қоңырау» (тік жазықтықтағы «жұлдыз»)

ð Сипаттамасы: Ұшақ тұмсығын күрт жоғары көтеріп, вертикаль бағытта бір сәтке «тоқтайды», кейін құйрығымен төмен құлап, қайта қалыпты ұшуға өтеді.

ð Аэродинамика: Жоғары шабуыл бұрышында көтергіш күш дерлік нөлге тең, басқару тек тартылыс пен ЭДСУ арқылы жүзеге асады.

Жазық бұрылыс (орнында бұрылу)

ð Сипаттамасы: Ұшақ кеңістікте дерлік «тоқтап», көлденең жазықтықта 180° бұрылыс жасайды.

ð Мүмкіндігі: Тек тартылыс векторын басқару арқылы жүзеге асады — дәстүрлі ЛА үшін мүмкін емес фигура.

ð Су-35 ерекшелігі: Қанат крені мен қозғалтқыш соплаларын қарсыфазада бұра отырып бұрыла алады.

«Ұшақ биі» (Қылыш биі, Серпантин)

ð Сипаттамасы: Қанат кренінің жылдам өзгерістері, бағыт ауыстыру, бочкалар мен орнында айналудың сериялы үйлесімі.

ð Қолданылуы: Әуе шоу мен ЭДСУ мүмкіндіктерін көрсету [2].

Динамикалық тежеу

ð Сипаттамасы: Ұшақ үлкен шабуыл бұрышына шығып, күрт тежеу жасайды (теріс жүктеме), содан соң басқа маневрге бірден өтеді.

ð Сценарий: Нысаналаудан құтылу немесе шабуылдан жалтару үшін тиімді.

Төмен жылдамдықтағы тік бочка

ð Сипаттамасы: Ұшақ вертикаль бағытта көтеріліп, жылдамдықты минимумға дейін төмендетіп, ТВБ көмегімен бочканы орындайды — ілгерілемей.

Орнындағы бочка (Flat Spin Barrel Roll)

ð Сипаттамасы: Өте төмен жылдамдықтағы айналмалы және аз ілгерілемелі қозғалыстың үйлесімі.

ð Басқару: Тек ТВБ және тұрақтандыру жүйесі арқылы мүмкін [3].

Ақауды имитациялау және басқаруды қалпына келтіру

ð Сипаттамасы: Ұшақ жазық штопорға (аударылу) немесе штопор тәрізді құлауға кіреді және тартылыс векторын пайдалана отырып, басқаруды қайта қалпына келтіреді [4].

Сверхманеврлердің физикасы мен математикасы

Үш ось бойынша моменттерді басқару

Аса маневрлік қабілеттілік ұшақтың үш ось бойынша (OX — тангаж, OY — крен, OZ — рыскание) айналу моменттерін белсенді басқару арқылы жүзеге асырылады. Бұл, әсіресе, аэродинамикаға жатпайтын басқару әдістері — тартылыс векторы арқылы басқару (ТВБ) кезінде маңызды.

Бұрыштық қозғалыс Эйлер теңдеулерімен сипатталады:

$I_x w_x + (I_z - I_y) w_y w_z = M_x$

$I_y w_y + (I_x - I_z) w_z w_z = M_y$

$I_z w_z + (I_y - I_x) w_x w_y = M_z$

қай тұста:

w_x, w_y, w_z – бұрыштық жылдамдықтар;

I_x, I_y, I_z – негізгі инерция моменттері;

M_x, M_y, M_z – аэродинамикалық беттер мен тартылыс векторын басқарудан туындайтын басқарушы моменттер.

Дәстүрлі және аса маневрлі ұшақтардағы басқару моменттері

Дәстүрлі ұшақтарда тангаж (Mx), крен (My), рыскание (Mz) осьтері бойынша басқару моменттері тек аэродинамикалық беттер есебінен қалыптасады. Ал Су-35 / Су-57 ұшақтарында бұл моменттер соплалардың бірнеше жазықтықта ±20° бұрылуы арқылы да жүзеге асады.

Инерция тензорының әсері

Ұшақтың массаларының кеңістіктегі орналасуы оның инерция тензорын (I) анықтайды. Аса маневрлі режимдер үшін маңызды аспектілер:

ð Тензордың айқаспалы мүшелерін (Ixy, Iyz, Izx) азайту — гироскопиялық моменттерді болдырмау үшін;

ð Үлкен шабуыл бұрыштарында динамикалық тұрақтылықты сақтау;

ð Қозғалтқыштардың реактивтік әсерін және жанармайдың жылжу динамикасын ескеру (бұл да Ixy, Iyz-ге әсер етеді).

Прецессиялық әсерлер (айналмалы денелерге тән бағыттың өзгеруі) «қоңырау» немесе «жазық бұрылыс» сияқты маневрлерде аса маңызды, өйткені бұл кезде басқару аэродинамикалық тұрақтандыруға қарсы бағытта жүзеге асырылады.

Сызықтық емес әсерлер және "бейстандартты" аэродинамикаға өту

Шабуыл бұрышы α > 40° болған кезде аэродинамикалық күштер үзілісті (нестационарлық) сипатқа ие болады және уақытқа тәуелді бола бастайды. Мұндай жағдайда ескерілуі тиіс:

ð ауа ағынының үзілу эффектілері (канаттың үстіндегі ауа ағынының үзілуі);

ð аэродинамикалық күштің дамуының кідірісі (лаг эффект);

ð тұрақсыз ұшу режиміне өту, мұнда басқару тек тартылыс пен ЭДСУ арқылы мүмкін болады.

Автоматтандыру келешегі: Жасанды интеллект әскери пилотажда

Аса маневрлі режимдер ұшқыш үшін аса күрделі және мынаны талап етеді:

ð сенсомоторлық артық жүктеме (бір мезетте көп ақпаратты өңдеу);

ð лезде шешім қабылдау;

ð қарсыластың кеңістіктегі кинематикасын үш өлшемде бағалау.

Осы себепті, интеллектуалды басқару жүйелерін әзірлеу өзекті болуда. Мұндай жүйелер күрделі маневрлерді автоматты немесе жартылай автоматты түрде орындай алады.

Болашақтағы технологиялар:

ð Сызықтық емес динамика үшін нейрожелілік контроллерлер;

ð Симуляциялық деректер негізінде оқытылатын машиналық оқыту (reinforcement learning);

ð Ұшақтың бүйірімен немесе құйрығымен бағытталған кездері де нысанға дәл бағытталуды қамтамасыз ететін БРЭЖ (борттық радиоэлектрондық жабдық) пен ИК-датчиктермен біріктірілген жүйелер;

ð Көпрежимді САБЖ (сандық автоматты басқару жүйелері), олар ағымдағы тактикалық тапсырмаға сәйкес басқару логикасын өзгерте алады.

Мысал: Ресейлік КРЭТ және НПО «Автоматизация» ұйымдарының Су-57 ұшағына арналған жобалары — ұрысты жартылай автономды жүргізуді көздейді [5].

Сверхманеврлік — бұл ұшақтың аэродинамикасы мен басқару жүйелері дәстүрлі шектерден шыққан ерекше маневрлерді орындау қабілеті. Бұл қасиеттерді есептеу және талдау барысында теориялық механика негіздері шешуші рөл атқарады.

1. Қатты дене кинематикасы

ð Ұшақтың кеңістіктегі орны мен бағытын Эйлер бұрыштары, кватерниондар және айналу матрицалары арқылы сипаттау.

ð Массалар центрінің жылдамдығы мен үдеулерін, сондай-ақ айналу жылдамдықтарын әртүрлі координаттар жүйесінде есептеу.

Мысалы, «Кобра» немесе «Күлбит» маневрін модельдеу кезінде тангаж, крен және рысканье бұрыштарының өзгеруін дәл есептеу қажет [6].

2. Қатты дене динамикасы

Эйлер теңдеулері қолданылады:

$\bar{M} = + \bar{\omega} \times \bar{H}$

мұнда $\bar{M}$ – күш моменттерінің векторы,

$\bar{H}$ – импульс моменті,

$\bar{\omega}$ – айналу жылдамдығы.

Сондай-ақ Ньютон теңдеуі қолданылады:

$F = m \times \bar{a}$

Сверхманеврлік кезінде аэродинамикалық күштер мен тартылыс векторының (ОВТ) әсерінен пайда болатын моменттер ерекше маңызды.

3. Д’Аламбер принципі

ð Динамикалық есептерді жалпыланған координаталарда жазуға мүмкіндік береді.

ð Мәжбүрлеуші және реактивті күштерді есепке алу үшін пайдаланылады, әсіресе кері байланысы бар жүйелерде.

4. Жалпыланған координаталар және Лагранж формализмі

Ұшақ конфигурациясы күрделі болған жағдайда (мысалы, қозғалмалы қанаттар, ОВТ, т.б.), Лагранждың II текті теңдеулері қолданылады:

( ) - = Qⱼ

мұндағы L=T−VL = T - VL=T−V – Лагранжиан,

Qi – жалпыланған күштер.

5. Виртуалды орын ауыстыру принципі

Тұрақтылықты және басқару әрекеттерін аналитикалық бағалау кезінде қолданылады.

6. Тұрақтылық теориясы және шағын ауытқуларды талдау

ð Ұшу режимдерінің тұрақтылығын талдау үшін қолданылады.

ð Қозғалыс теңдеулерінің сызықтық түрлері және Жуковский немесе Раус-Гурвиц критерийлері пайдаланылады.

Қолдану мысалдары:

«Пугачев Кобрасы» маневрі:

ð Аэродинамикалық және тартылыс векторынан туындайтын моменттерді толық, сызықтық емес модельдеусіз талдау мүмкін емес [7].

ð Инерция моменті, үлкен шабуыл бұрыштарындағы аэродинамикалық сипаттамалар, тұрақталмаған әсерлер ескеріледі [8].

*Сталлдан кейінгі маневрлер (мысалы, қақтығыстағы маневрлер):*Ағын үзілу режимдерін, басқару алгоритмдерін және асимметриялы тарту күшін есепке алып, қозғалыс теңдеулерін шешу қажет [9].

Бесінші буындағы ұшақтың аса маневрлік қабілетін түсіндіру барысында «Аэродинамика және ұшу динамикасы» пәнін оқу кезінде ұшқыш курсанттарға теориялық механиканың кейбір ережелерін қолдану – қосымша оқу сағаттарын қажет етпей-ақ, бұл пән бойынша құзыреттілік талаптарын білім алушыларға сапалы түрде жеткізуге мүмкіндік берді.

Нәтижелер

1. Жүргізілген патенттік шолу нәтижесінде тартылыс векторын басқару (ТВБ) технологияларының кең ауқымды техникалық шешімдері мен конструкциялық нұсқалары анықталды. Олардың қатарында айналмалы соплолар, көпжапырақты (иристәрізді) жүйелер, басқарушы қанатшалар, үшінші ағын инжекциясы және аэродинамикалық әсер арқылы басқару құрылғылары бар.
2. Талдау көрсеткендей, ТВБ технологиясы әсіресе әскери авиация саласында (Су-57, Су-75, F-22, J-20 және т.б.) ұшақтардың аса маневрлік қасиеттерін арттыру үшін шешуші рөл атқарады [10]. Бұл жүйелер жақын ұрыс жағдайларында артықшылық береді және ұшу қауіпсіздігін арттырады.
3. АҚШ, Ресей және Еуропа елдері тартылыс векторын басқару саласында жетекші орын алуда. Бұл бағытта NASA, Rolls-Royce, «Сухой» компаниясы және United Aircraft Corporation секілді ұйымдар инновациялық шешімдер ұсынып отыр.

4. Патенттік мәліметтер мен техникалық сипаттамаларды салыстыру арқылы ТВБ технологияларының қазіргі даму деңгейі, олардың құрылымдық күрделілігі мен практикалық қолдану аясындағы ерекшеліктері анықталды.
5. Жинақталған материалдар ұшу аппараттарын жобалау, зерттеу және заманауи басқару жүйелерін жетілдіру саласындағы мамандар үшін теориялық және практикалық маңызы бар ақпарат көзі болып табылады.

Аса маневрлі ұшу режимдерін зерттеу барысында аэродинамика мен теориялық механика арасындағы өзара байланыс ерекше маңызға ие. Аэродинамика ұшу аппараттарына әсер ететін күштер мен моменттердің табиғатын сипаттайтын болса, теориялық механика осы күштердің дененің қозғалысына қалай әсер ететінін талдайды. Осы екі ғылым саласының тоғысуы тартылыс векторын басқару (ТВБ) сияқты заманауи технологияларды тиімді түсіну мен жетілдірудің негізін құрайды.

Мысалы, тартылыс векторы бұрылған кезде қозғалтқыштан шыққан реактивті ағын ұшаққа қосымша моменттер тудырады. Бұл моменттер теориялық механика заңдарына – Ньютонның екінші заңына, айналу динамикасына және қатты дененің қозғалыс теңдеулеріне сәйкес аппараттың бұрылуына, еңкеюіне немесе көтерілуіне әсер етеді. Ал аэродинамика бұл өзгерістерге қанат пен фюзеляж арқылы әрекет ететін күштерді есептеу арқылы жауап береді.

Су-57 немесе Су-75 секілді ұшақтардағы аса маневрлік сипаттамалар – дәл осы екі ғылым саласының бірлігінің нәтижесі. ТVБ жүйесі арқылы жасалатын күрделі маневрлерді модельдеу үшін алгебралық теңдеулер, координаталық түрлендірулер және қозғалыстың дифференциалдық теңдеулері қолданылады. Бұл – теориялық механиканың тікелей қолданылуы.

Сондықтан, ұшу аппараттарының аса маневрлік қасиеттерін зерттеу мен жетілдіруде аэродинамика мен теориялық механиканың өзара ықпалдастығы – болашақ авиациялық жобалардың табысты болуының кілті болып табылады.

Қорытынды

Аса маневрлі ұшуларды жүзеге асыруда аэродинамика мен теориялық механика арасындағы үйлесімділік аса маңызды рөл атқарады. Мысалы, тартылыс векторының бағытталуы нәтижесінде қозғалтқыштан шығатын реактивті ағын ұшаққа қосымша моменттер тудырады. Бұл моменттер теориялық механика заңдары бойынша ұшақтың бұрылуына, еңкеюіне немесе көтерілуіне әкеледі. Осы кезде аэродинамикалық күштердің қайта бөлінуі және олардың әсер ету нүктелері де өзгереді – бұл аэродинамика пәнінің талдау нысаны.

Су-57, Су-75 тәрізді заманауи ұшақтарда орындалатын маневрлер – аэродинамикалық формалар мен басқару моменттері арасындағы өзара әрекеттестіктің нақты мысалы. Бұл әрекеттестікті математикалық модельдеу үшін

теориялық механика құралдары – қозғалыс теңдеулері, айналу кинематикасы және күштік теңгерім – қолданылады.

Осылайша, аса маневрлі авиациялық жүйелерді жобалау мен зерттеу процесінде аэродинамика мен теориялық механика бір-бірін толықтырып, ұшу аппаратының мінез-құлқын терең түсінуге мүмкіндік береді. Бұл пәнаралық синтез болашақ ұшақтардың тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыруда шешуші рөл атқарады.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Белов В. А. Тартылыс векторын басқару жүйесі бар ұшақтардың ұшу динамикасының негіздері. – М.: МАИ, 2005. – Орыс тілінде.
2. Селиванов В. Н., және т.б. Тартылыс векторымен жабдықталған ұшақтардың аэродинамикасы мен ұшу динамикасы. – М.: ЦАГИ, 2010. – Орыс тілінде.
3. Зеленцов П. А., Зубарев Ю. А. УВТ бар ұшақты басқару. – Воронеж: Әуе күштерінің әскери-әуе академиясы (ВВА), 2012. – Орыс тілінде.
4. Кокорин А. Ю., Смирнов И. Г. Су-57 истребителінің аэродинамикалық сипаттамаларын аса маневрлік жағдайларда зерттеу // Авиация және ғарышкерлік хабаршысы. – 2020. – Орыс тілінде.
5. Панфилов Д. Ю. Су-57 және шетелдік ұқсастарының маневрлік сипаттамаларын салыстырмалы талдау // РФ Әуе-ғарыш күштерінің әскери-техникалық жинағы. – 2021. – Орыс тілінде.
6. Nikolsky A., Fomin V. Advanced Maneuverability and the Use of Thrust Vectoring // Journal of Aircraft. – AIAA, 2018. – Ағылшын тілінде.
7. RU 2 768 101 C1. Checkmate (Су-75), тартылыс векторын басқару жүйесі / Өтінім беруші: АО «Сухой». – 2022.03.23. – Қолжетімділік режимі: https://ru.wikipedia.org, https://5aviation21.ru, https://rg.ru – Орыс тілінде.
8. US 2007/0018034 A1. Thrust Vectoring. – 2007.01.25. – Қолжетімділік режимі: https://patents.google.com – Ағылшын тілінде.9. NASA. Aerodynamically Actuated Thrust Vectoring Device / US 10 370 100. – 2019. – Қолжетімділік режимі: https://technology.nasa.gov – Ағылшын тілінде.
9. ЦАГИ – Орталық аэрогидродинамикалық институт. Ресми сайт [Электрондық ресурс]. – Қолжетімділік режимі: https://tsagi.ru – Қаралған күні: [10.07.2025] – Орыс тілінде.

REFERENCES:

1. Belov V. A. Tartylys vektoryn basqaru zhuyesi bar ushaqtardyng ushu dinamikasynyng negizderi. – M.: MAI, 2005. – Orys tilinde.
2. Selivanov V. N., zhane t.b. Tartylys vektorymen zhabdyqtalghan ushaqtardyng aerodinamikasy men ushu dinamikasy. – M.: TsAGI, 2010. – Orys tilinde.

3. Zelentsov P. A., Zubarev Yu. A. UVT bar ushaqty basqaru. – Voronezh: Aue kushterining askeri-aue akademiyasy (VVA), 2012. – Orys tilinde.
4. Kokorin A. Yu., Smirnov I. G. Su-57 istrebitelining aerodinamikalyq sipattamalaryn asa manevrlik zhaghdaylarda zertteu // Aviatsiya zhane gharyshkerlik khabarshysy. – 2020. – Orys tilinde.
5. Panfilov D. Yu. Su-57 zhane sheteldik uqsastarynyng manevrlik sipattamalaryn salystyrmaly taldau // RF Aue-gharysh kushterining askeri-tekhnikalyq zhinaghy. – 2021. – Orys tilinde.
6. Nikolsky A., Fomin V. Advanced Maneuverability and the Use of Thrust Vectoring // Journal of Aircraft. – AIAA, 2018. – Aghylshyn tilinde.
7. RU 2 768 101 C1. Checkmate (Su-75), tartylys vektoryn basqaru zhuyesi / Otinim berushi: AO «Sukhoy». – 2022.03.23. – Qolzhetimdilik rezhimi: https://ru.wikipedia.org, https://5aviation21.ru, https://rg.ru – Orys tilinde.
8. US 2007/0018034 A1. Thrust Vectoring. – 2007.01.25. – Qolzhetimdilik rezhimi: https://patents.google.com – Aghylshyn tilinde.9. NASA. Aerodynamically Actuated Thrust Vectoring Device / US 10 370 100. – 2019. – Qolzhetimdilik rezhimi: https://technology.nasa.gov – Aghylshyn tilinde.
9. TsAGI – Ortalyq aerogidrodinamikalyq institut. Resmi sayt [Elektrondyq resurs]. – Qolzhetimdilik rezhimi: https://tsagi.ru – Qaralghan kuni: [10.07.2025] – Orys tilinde.