ЗАДАҰЛЫ АҚЕРКЕ ЕРКІНҚЫЗЫ

ҚОЗДЫРЫЛҒАН АҒЫНША ҮРЛЕНЕТІН ЖАНУ КАМЕРАСЫНДАҒЫ ЖОҒАРЫ ЖЫЛДАМДЫҚТЫ АҒЫНДЫ САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

АННОТАЦИЯ

дәрежесіне диссертациялар
Мамандығы бойынша философия докторы (PhD).
6D074600 – «Ғарыш техникасы және технологиясы»

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Бұл жұмыс аэромеханика мәселелері саласында іргелі зерттеулер жүргізу мақсатында жану камерасына ағынды айдауды басқару және отын-тотықтырғыш қоспасының араласуын жақсарту үшін қоздырылған дыбыстан жоғары жанармай ағынының бір мезгілде дыбыстан жоғары ауа ағынына турбулентті шығуын сандық модельдеуге арналған.

Авиациядағы маңызды міндеттердің бірі ауа тотықтырғыш ретінде пайдаланылатын рамжеттік қозғалтқыштары бар (RAMJET) дыбыстан жоғары және гипер дыбысты ұшақтарды жобалау болып табылады. Мұндай қозғалтқыштардың негізгі міндеті - қозғалтқыштың қажетті күшін қамтамасыз ететін отынның толық жануына қол жеткізу. Бұған отын-ауа қоспасының араластыру жылдамдығын арттыру арқылы қол жеткізіледі.

Жанармай мен тотықтырғыштың араласуын жақсартудың әртүрлі тәсілдер бар, мысалы, айдалатын ағынның алдындағы сатылар мен қуыстар, жану камерасының жоғарғы қабырғаларындағы қадамдар, олар отын ағыны мен кірісте келетін ауа ағыны арасында дамыған араластырғыш қабатты алуға көмектеседі. Сондай-ақ, мұндай ағынды модельдеу кезінде әртүрлі пішіндегі саптамалар қолданылады. Дегенмен, жоғарыда аталған тәсілдер рамжеттердің құнын арттырады, өйткені жаңа бөлшектерді қосу олардың геометриясын қиындатады және құнын арттырады.

Араластыруды жақсартуға кедергі болып зерттелетін ағындардың физикалық күрделілігі табылады, өйткені модельденетін турбуленттіліктің үш өлшемділігінен басқа, қарастырылатын ағындар соққы толқындарының өзара әрекеттесу жүйесін, сонымен қатар пайда болатын құйынды құрылымдардың кең ауқымын қамтиды.

Қарастырылып отырған ағындар үшін LES (үлкен құйынды модельдеу) көмегімен сандық модельді тұжырымдаудағы қосымша мәселе сонымен қатар нақтыға жақын анизотропты, біртекті емес, үш өлшемді турбуленттілік тудыруға қабілетті бастапқы шекаралық шарттарды орнату болып табылады.

Қазіргі уақытта араластыруды жақсартудың перспективті тәсілдерінің бірі айдалатын ағынға жүктелетін қосымша детерминирленген қоздырылуды

қолдану болып табылады (қоздырылған ағынды инъекция). Бұл тәсіл айдалатын ағынға қосымша әсер ету амплитудасы мен жиілігін өзгерту арқылы қол жеткізіледі, осылайша жану камерасына отынның бақыланатын айдалуын қамтамасыз етеді. Ол дыбыстан тыс реактивті ағындарда жақсы зерттелген, ал дыбыстан жоғары және гипер дыбыстық ағындарда бұл мәселе әлі де аз зерттелген.

Сонымен, жоғарыда айтылғандар осы жұмыста жүргізілген зерттеулерді аэродинамиканың өзекті мәселелері ретінде қарастыруға мүмкіндік береді, әсіресе жану камераларындағы үш өлшемді супер- және гипердыбыстық турбулентті реактивті ағындарды модельдеу және болжау, ағын мен ағынның араласуын жақсарту мақсатында.

Бұл жұмыстың мақсаты: мінсіз газ үшін LES-орташаланған үш өлшемді Навье-Стокс теңдеулеріне негізделген жаңа тәсілді пайдалана отырып, дыбыстан жоғары жану камерасында айдалатын дыбыстан жоғары сығылатын изобарлық емес отын ағынының ко-ток ауа ағынымен араласуын интенсификациялау механизмдерін сандық зерттеу.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі **зерттеу міндеттері** тұжырымдалды:

- араластыруды жақсарту үшін ағындағы қосымша қоздырылуды қолданумен бірге изобарлық дыбыстан жоғары сығылатын ағынды ко-ток ауа ағынымен айдаудың сандық моделін жасау және сандық модельдеуін орындау.
- ағынның және ағынның негізгі параметрлерінің араластыру үлгілеріне әсерін анықтау, сондай-ақ қоспаның өсу қабаты мен түзілуіне қосымша детерминирленген қоздырылудың әсерін талдау мақсатында изобарлық емес (кем кеңейтілген) сығылатын дыбыстан жоғары қоздырылған ағындар жүйесін ко-ток ауа ағынына айдауды сандық модельдеу.

Зерттеу объектісі дыбыстан жоғары газ ағындарын қатар жүретін дыбыстан жоғары ағынға айдау арқылы кеңістіктік дыбыстан жоғары турбулентті ағын болып табылады.

Зерттеу пәні LES турбуленттілік моделін пайдалана отырып, дыбыстан жоғары ко-ток ауа ағынына айдалатын газ ағынының турбулентті араласуын сандық модельдеу.

Ғылыми жаңалығы келесідей:

- жоғары жылдамдықты ағынға айдалатын мінсіз газ ағынының дыбыстан жоғары турбулентті ағынының сандық моделі тұжырымдалған, ол үш өлшемді кеңістіктегі орташаланған Навье-Стокс теңдеулерімен сипатталған, ENO теңдеуінің үшінші ретті жүйесіне негізделген Смагоринский моделімен жабылған;
- кірісте қосымша детерминирленген қоздыруды енгізу арқылы ағынның ко-ток ауа ағынмен араласуын күшейтудің жаңа әдісі ұсынылады, сонымен бірге жобалық шарттарда араластыруды жақсартуға әкелетін детерминирленген ағынның жиіліктері мен амплитудаларының диапазоны анықталады;
- соққы толқыны құрылымының қалыптасу механизміне және оның араласу аймағына әсер ету механизміне дыбыстан жоғары ко-ток ауа ағынында

жеткіліксіз кеңейтілген дыбыстан жоғары ағындар жүйесін сандық модельдеудегі жеткіліксіз есептеу дәрежесі мен Мах сандарының әсер ету заңдылықтары белгіленді;

- жобаланбаған ағын жағдайында ағынды жүйенің ко-ток ауа ағынымен жақсы араласуына әкелетін детерминирленген қоздыру параметрлері алынды.

Қорғауға ұсынылған ғылыми ережелер:

– дыбыстан жоғары ағындағы мінсіз газ ағынының үш өлшемді дыбыстан жоғары турбулентті ағынының сандық моделі;

жобалық шарттарда дыбыстан тез сығылатын ағынды ко-ток ауа ағынға айдау есебін сандық модельдеу нәтижелерін талдау арқылы сыналған кіріске детерминирленген қоздыруды енгізу арқылы ағынмен ағынның араласуын күшейтудің жаңа әдісі;

– қосымша күшейткіштері бар изобарлық емес дыбыстан жоғары газ ағындарының жүйесін егжей-тегжейлі талдау нәтижелері, ағынның жиілігі мен ағынының вариациясының өзгеруін қолдана отырып, араласу аймағының өсуіне және когерентті құрылымдардың пайда болуына пайда болатын соққы толқыны құрылымының әсерін зерттеу детерминистік қоздыру.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми ережелерінің, қорытындылары мен нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі математикалық модельдерді құруда массаның, импульстің, энергияның және заттың сақталуының іргелі заңдарын қолданумен анықталады; сандық нәтижелер мен эксперименттік деректер мен басқа авторлардың теориялық еңбектері арасындағы қанағаттанарлық келісім.

Нәтижелердің теориялық және практикалық маңызы.

Осы жұмыста әзірленген орташаланған Навье-Стокс теңдеулерін шешудің сандық моделі мен әдісі үш өлшемді дыбыстан жоғары турбулентті реактивті ағындарды есептеу үшін пайдаланылуы мүмкін, бұл бізге отын мен тотықтырғышты реактивті және ауамен тыныс алу камераларының жану камераларында араластыру кезінде пайда болатын нақты үш өлшемді процестердің әрекетін болжауға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыстың басқа зерттеу жұмыстарымен байланысы. Бұл жұмыс жаратылыстану ғылымдары саласындағы іргелі зерттеулерді гранттық қаржыландыру бағдарламасының «Ағындарды және қатты бөлшектерді айдау арқылы кеңістіктік турбулентті сығылатын ағындарды сандық модельдеу» (2018-2020 ж., № GR 0118РК00461) жобасы аясында жүзеге асырылды.

Автордың жеке үлесі мынада, бұл жұмыста ұсынылған барлық нәтижелерді автордың өзі немесе оның тікелей қатысуымен алған. Автор есептің динамикалық моделін құрастыруға қатысты, сонымен қатар қойылған барлық тапсырмалардың сандық есептеулерін, оның ішінде математикалық және физикалық модельдер жиынтығын тексеруді өз бетінше орындады, алынған нәтижелерге жан-жақты және жан-жақты талдау жүргізді және ғылыми кеңесшінің қатысуымен олардың теориялық негіздемесіне келді.

Жұмысты сынау.

Жұмыстың негізгі нәтижелері келесі халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалып, талқыланды: «ФАРАБИ ӘЛЕМІ студенттері мен жас ғалымдарының халықаралық ғылыми конференциясы» (Алматы, Қазақстан, 10-12 сәуір 2018 ж.); «Қазақстан Республикасының ғалымдары күніне арналған дәстүрлі халықаралық сәуір математикалық конференциясы» (Алматы, Қазақстан, 3-5 сәуір 2019 ж.); «V Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция» (Чехия, Карловы Вары – Ресей, Мәскеу, 29-30 сәуір 2020 ж.), сондай-ақ ғылыми семинарларда: Карлсруэ технологиялық университетінің Техникалық термодинамика институты (2020 ж., Карлсруэ, Германия); атындағы Қазақ ұлттық университетінің механика-математика факультеті Әл-Фараби (2018-2019 ж., Алматы); Механика және машина жасау институты (2020, Алматы).

Жарияланымдар.

Диссертация тақырыбы бойынша 7 жұмыс жарияланды, оның ішінде Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым саласындағы бақылау комитетінің ғылыми қызметтің негізгі нәтижелерін жариялау үшін ұсынған тізімге енгізілген ғылыми журналдарда 2 жарияланымы; Scopus және Thompson Reuters индекстері бойынша рейтингі жоғары ғылыми журналдардағы 2 жарияланым (импакт-факторы IF=0,40 кем емес); Халықаралық конференциялар жинағында 3 жарияланым.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 130 бетте берілген, 36 сурет, 8 кесте бар.

Кіріспеде келесі тармақтар көрсетілген: өзектілігі, жұмыстың негізгі мақсаттары, жаңалығы, диссертацияның ғылыми және практикалық маңыздылығы, оны өңдеу дәрежесі.

Бірінші тарауда диссертация тақырыбы бойынша әртүрлі авторлардың зерттеулеріне талдау жасалған. Ол турбуленттілік модельдеу әдістерін зерттеуге арналған жұмыстардың қысқаша шолуын қамтиды, қосымша детерминирленген қоздыруды енгізу арқылы араластыруды жақсарту мақсатында турбулентті ағынды ко-ток ауа ағынға айдау бойынша зерттеулердің талдауы (эксперименттік және сандық), сондай-ақ ағынды әсерлердің қосымша пайда болуын сандық модельдеу бойынша жұмыстардың шолуын ұсынады араластыруды жақсарту үшін де қолданылады.

Екінші тарауда қойылған мәселенің математикалық моделі тұжырымдалған. Қабылданған бастапқы жүйе классикалық Смагоринский моделімен жабылған орташаланған үш өлшемді Навье-Стокс теңдеулері болып табылады. Тығыздық бойынша орташалау процедурасы x бағыттағы үздіксіздік және Навье-Стокс теңдеулері мысалында жүзеге асырылады. Негізгі жүйе өлшемсіз түрде ұсынылған, мұнда дыбыстан жоғары ағынның параметрлері сипаттамалық мәндер ретінде қабылданады, ал ең кіші ұзындық шкаласы ретінде бастапқы импульс жоғалту қалыңдығы (араластырғыш қабаттың қалыңдығы) δ_θ алынады. Бұл тарауда сонымен қатар жоғары ретті ENO схемасы арқылы бастапқы теңдеулерді шешу алгоритмі берілген.

Үшінші тарауда дыбыстан жоғары араластырғыш қабаттың ко-ток ауа ағынға шығуы мәселесінің мысалын пайдаланып, сандық модель тұжырымдалған. Әрі қарай, алынған нәтижелерді Samimmy және т.б. белгілі деректермен салыстыру арқылы сандық модельді тексеру жүзеге асырылады. Осы тарауда жүргізілген сандық эксперимент нәтижесінде бес есептеу торының тәжірибелік деректерімен салыстырылған орташаланған турбуленттік сипаттамаларға арналған графиктер алынды, нәтижесінде эксперименттік деректермен қанағаттанарлық сәйкестік анықталды, сонымен бірге есептеу торы үшін түйіндердің оңтайлы саны таңдалды. Әрі қарай таңдалған есептеу торы үшін және есептеу аймағының берілген өлшемдері үшін шешілетін турбулентті құйындылардың диапазонын көрсететін үш өлшемді энергияның турбулентті спектрі үшін графиктер алынды.

Төртінші тарауда мінсіз газдың дыбыстан жоғары сығылатын ағынын қосымша детерминирленген қоздыру қосу арқылы ко-то ауа ағынға айдау мәселесі үшін сандық модельдеу орындалады. Кіріс кезінде араластырғыш қабаттың қалыптасуы мен өсуіне олардың әсерін зерттеу мақсатында ағынға қосымша күшейткіштер енгізу үшін бастапқы шекаралық шарттар тұжырымдалады. Сандық модельдеу нәтижесінде алынған нәтижелерді салыстыру үшін қосымша күшейткіштерсіз ағынды ағып кету жағдайымен салыстырғанда қосымша қоздыруы бар ағынды айдау мәселесі үшін әртүрлі параметрлер бойынша графиктер алынды. Сондай-ақ детерминирленген қоздырудың амплитудалық-жиілік вариациясына талдау жүргізіледі, нәтижесінде ағынның ко-тока ауа ағынмен неғұрлым қарқынды араласуына әкелетін ең жақсы амплитудалар мен жиіліктерді таңдау бойынша ұсыныстар беріледі.

Бесінші тарауда қосымша күшейтулері бар изобарлық емес дыбыстан жоғары ағындар жүйесін дыбыстан жоғары ко-тока ауа ағына енгізу мәселесі үшін бірқатар сандық тәжірибелер жүргізілді, нәтижесінде пайда болатын соққы толқындарының құрылымдарының араласу аймақтарына әсер етуді көрсететін графиктер алынды, ағынның жылдамдығы өзгеру. Толық кеңеймеген ағындар жүйесінің ко-ток ауа ағынына шығу мәселелері де ағындар мен ағындардың Мах сандарын және детерминирленген қоздыру амплитудаларын өзгерту арқылы зерттеледі, соның нәтижесінде ағындар мен ағындар арасындағы араласуды жақсарту үшін ең оңтайлы жағдайларды (параметрлерді) таңдау туралы қорытындылар беріледі.

Қорытындыда диссертацияда алынған негізгі нәтижелер мен қорытындылар берілген.