

ҚР ҒЖБМ ҒК «Математика және математикалық моделдеу институты» РМК



ЖОБАНЫҢ АТАУЫ

«Екі жақты байланыс әдісімен қатты бөлшектермен жоғары жылдамдықты араласу қабатын сандық модельдеу»

ЖОБА ЖЕТЕКШІСІ

д.ф.-м.н., асс.профессор
Бекетаева Асель Орозалиевна

**ЖОБАНЫҢ ОРЫНДАЛУ
ЖЫЛДАРЫ**

2023 – 2025 (35 ай)

**ҚАРЖЫЛАНДЫРУ
СОМАСЫ**

88,5 млн. теңге:

2023 год – 27,2 млн. теңге; 2024 год – 30,0 млн. теңге; 2025 год – 31,3 млн. теңге.

**ЖОБАНЫҢ РЕФЕРАТЫ
(АБСТРАКТ)**

Қазіргі уақытта жоғары жылдамдықты бөлшектерді араластыру қабаты газ-қатты бөлшектердің жылу беруі есебінен араластырғыш қабатта жануды жақсартудың перспективалы әдістерінің бірі ретінде қарастырылады. Мұндай ағындардың физикасы күрделі, өйткені олар құйынды құрылымдардың, соққы толқындарының және бөлшектердің өзара әрекеттесуімен сипатталады. Барлық осы фазааралық өзара әрекеттесулер араластыру тиімділігіне қатты әсер етеді және әлі де аз зерттелген болып табылады. Бөлшектермен араласу қабатын зерттеу бойынша әдебиеттерге шолу көрсеткендей, зерттеулер әдетте тасымалдағыш газ ағыны мен бөлшектер арасындағы бір жақты байланыс әдісімен модельдеумен, сондай-ақ төмен конвективті Мах санымен шектеледі. Жоғары жылдамдықты сығылатын сұйықтық ағындарын сандық модельдеудің сәтті әдістерінің бірі Навье-Стокс теңдеулерін шешу үшін мәні бойынша тербелмейтін ENO схемасын санау және оның әртүрлі вариацияларын пайдалану болып табылады. Бұл сұлбалардың соңғы көлемді әдістермен және жоғары дәрежелі дәлдіктегі Галеркин әдістерімен салыстырғандағы басты артықшылығы көпөлшемді есептерді шешудің қарапайымдылығында және компьютерлік уақыттың арзандығында. Дегенмен, олар негізінен күрделі аумақтар үшін пайдасы болатын құрылымдық тегіс қисық сызықты торларға салынып, жүзеге асырылады. Осылайша, осындай артықшылықтары бар күрделі геометриялы есептер үшін біркелкі емес торда ақырлы-айырымдылық сандық сұлбаларын жасау өзекті және тартымды міндет болып табылады.

Жобада екі жақты байланыс әдісімен газ және қатты бөлшектердің фазааралық әрекеттесуіне байланысты жоғары жылдамдықты араласу қабатында араласу сипаттамаларын анықтау және күрделі геометриялық есептерді шешуге арналған біркелкі емес торда есептеу арқылы жаңа жоғары ретті дәлдіктің соңғы айырмашылық сұлбасын құру ұсынылады.

КҮТІЛЕТІН НӘТИЖЕЛЕР

. 1 тапсырма:

Егжей-тегжейлі талдау арқылы кеңістіктік жоғары жылдамдықты бөлшектермен араласу қабатының физикалық құбылыстары туралы жаңа білім алынады. Сондай-ақ:

- құйындар мен соққы толқындарының өзара әрекеттесуі, құйынды соққылардың бөлшектер дисперсиясының әрекетіне әсері; әртүрлі газ параметрлерінің (массалық концентрациялар, тұрақсыздық параметрі, конвективті Мах саны) газ-бөлшекаралық фаза аралық алмасуға әсері;
- бөлшектердің кіріс параметрлерінің, оның ішінде жылдамдық пен температураның релаксация уақытының турбулентті жылу ағыны мен ағын құрылымына әсері анықталады.

Фазааралық жылу алмасуды, балқуды, булануды, гетерогенді (беттік) және біртекті реакцияларды ескере отырып, жоғары жылдамдықты көпкомпонентті араластырғыш қабатта газ бөлшектерінің жануының сандық моделі құрылады.

2 тапсырма:

Үзілісті бастапқы-шекаралық шарттары бар теңдеулер гиперболалық жүйелері үшін біркелкі емес тордағы дәлдіктің жоғары ретті мәні бойынша тербеліссіз схемасының тиімді жаңа нұсқасы құрастырылады. ENO қасиеті бар біркелкі емес тордағы модификацияланған ағын сызықты емес жүйелер үшін жүзеге асырылады. Ағын векторын бөлуге негізделген жартылай жасырын әдістің жаңа нұсқасы әзірленеді және Навье-Стокс теңдеулерінің сандық шешіміне қолданылады.

ҚОЛ ЖЕТКІЗІЛГЕН НӘТИЖЕЛЕР

1. Қатты бөлшектермен кеңістіктік жоғары жылдамдықты сығылатын араластырғыш қабаттың сандық моделі Эйлер-Лагранж тәсілі негізінде келесі гипотезаларды пайдалана отырып тұжырымдалған: бөлшектер бірдей көлемдегі шарлар; бөлшектердің бір-бірімен әрекеттесуі ескерілмейді; әрбір бөлшек үшін ішкі температураның таралуы біркелкі болып қалады; Саффман мен Магнустың өкілеттіктері есепке алынбайды. Тасымалдаушы газ фазасы үшін Навье-Стокс теңдеулер жүйесі және бөлшектер үшін қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесі жазылған. Содан кейін шекаралық және бастапқы шарттар орнатылады. Үшінші ретті дәлдіктің елеулі тербеліссіз сызбасын қолдану арқылы анықталмаған мүшелер жуықталатын авторлардың сандық алгоритмі бөлшектерге арналған кәдімгі теңдеулер жүйесін шешуге арналған қосалқы бағдарламаны қосу арқылы өзгертілді (екінші ретті дәлдіктің Эйлер әдісімен) . Сандық тәжірибелерді пайдалана отырып, әртүрлі газ режимдеріндегі ағынның негізгі сипаттамаларының (газ қоспасының құрамы, конвективті Мах саны, газ температурасы) тәртібіне егжей-тегжейлі талдау жасалды. Осы параметрлерді өзгерту арқылы олардың ауқымды құйындылардың өсуіне әсер ету заңдылықтары, жоғары жылдамдықты араластырғыш қабаттағы соққылардың пайда болуы, сонымен қатар бөлшектердің таралу заңдылығы анықталды және орнатылды.
2. Бастапқы және шекаралық шарттары берілген скалярлық гиперболалық жүйелер үшін бір өлшемді бастапқы-шектік есеп тұжырымдалған. Содан кейін бұл есептің нақты шешімі біркелкі емес тордағы бөліктік көпмүшелік функция арқылы жуықталатын түйіндік мәндердің ұяшығы бойынша оларды орташалау арқылы шағын уақыт аралығы үшін ұсынылады. Бөлшектік көпмүшелік функция біркелкі емес тордағы теңдеудің меншікті мәндерінің таңбасын ескере отырып, Лагранж интерполяция формуласы арқылы құрастырылады. Содан кейін жоғарыда құрастырылған Лагранж интерполяция формуласы негізінде бір өлшемді скаляр ағынның жуықтаулары жасалады. Содан кейін сандық ағын біркелкі емес торда қарабайыр функцияларды қайта құру (RP) арқылы түрлендіріледі. Нәтижесінде, скалярлық сақталу заңдарының жағдайы үшін біркелкі емес тордағы жаңа мәні бойынша тербелмелі емес жоғары ретті дәл ұшты-ұшты есептеу схемасы әзірленді. Құрылған схема жаңа жоғары ретті жуықтау схемасының тербелмелі емес әрекетін қамтамасыз ету үшін барлық үміткерлер арасында ең тегіс есептеу торының үлгісін таңдаудың әртүрлі әдістерін қамтиды.

ЖОБАНЫҢ МАҚСАТЫ

1. Тікелей сандық модельдеу арқылы әртүрлі ағын режимдеріндегі қатты бөлшектермен изотермиялық емес жоғары жылдамдықты сығылатын араласу қабатындағы негізгі ағын үлгілерін сандық түрде анықтау.
2. Жоғары жылдамдықты ағындарды модельдеу үшін біркелкі емес торда жоғары тиімді, қатты тербеліссіз санау бойынша сұлбаның жаңа нұсқасын әзірлеу

ЖОБАНЫҢ НЕГІЗГІ ЕСЕПТЕРІ

1. Екі жақты байланыс әдісіне негізделген қатты бөлшектермен үш өлшемді турбулентті жоғары жылдамдықты араласу қабатының араласу тиімділігін егжей-тегжейлі талдау.
2. Біркелкі емес торда дәлдіктің жоғары ретті мәні бойынша тербеліссіз сұлбасының (ENO) жаңа, түпкілікті есебін құру.

ТҮЙІНДІ СӨЗДЕР

тікелей сандық модельдеу, жоғары жылдамдықты араластыру қабаты, қатты бөлшектер, екі фазалы ағын, Эйлер-Лагранж тәсілі, мәні бойынша тербеліссіз (ENO) схемасы, біркелкі емес торлар.

ЗЕРТТЕУ ТОБЫНЫҢ МҮШЕЛЕРІ

№	ТАӨ	Лауазымы	Researcher ID	Scopus Author ID	ORCID
1	Бекетаева Асель Орозалиевна	Жоба жетекшісі	N-4307-2014	54408112600	0000-0003-4360-3728
2	Найманова Алтыншаш Жамаевна	ЖҒҚ 0.5 ст.	O-8698-2017	6506538368	0000-0001-5722-6367
3	Задаулы Аерке Еркиновна	БҒҚ 0.5 ст.	EIL-7348-2022	57210285722	0000-0001-6517-9230
4	Аширова Гульзана Адилжановна	КҒК 0.75 ст.	AFU-5658-2022	57859028000	0000-0001-7301-2035
5	Манапова Айну р Қабдешқызы	КҒК 0.25 ст.	AFU-6624-2022	57560843100	0000-0003-1548-7061

ЖОБА БОЙЫНША ЖАРИЯЛАНЫМДАР САНЫ

Зерттеу нәтижелері бойынша 3 ғылыми мақала жарияланды, оның ішінде:

- Web of Science Clarivate Analytics деректер базасына және импакт-факторы бар Scopus деректер базасына енгізілген халықаралық рейтингтік журналдардағы 2 мақала (Article);
- ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған қазақстандық журналдарда 1 мақала.

**ЖОБА БОЙЫНША
ЖАРИЯЛАНЫМДАР ТІЗІМІ**

**АҚПАРАТТЫ ЖАҢАРТУ
КҮНІ**

Импакт-факторы бар халықаралық рейтингтік журналдардағы 2 мақала (Web of Science Clarivate Analytics дерекқорына және/немесе Scopus дерекқорына енгізілген):

1. Beketaeva, A.O., Naimanova, A.Z., Shakhan, N., Zadauly, A. Simulation of the shock wave boundary layer interaction in flat channel with jet injection. // ZAMM Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik – 2023. – Vol. 103.- № 8. –P. 1–19. DOI:10.1002/zamm.202200375 (Scopus SJR(2023)=0.378, Квартиль **Q2** в категории Applied Mathematics, Процентиль 68 в категории Applied Mathematics)
2. Beketaeva A.O., Naimanova A. Zh., Ashirova G.A. Numerical analysis of vortex formation and particle dispersion in a supersonic compressible particle-laden mixing layer. // Computational Particle Mechanics – 2023. – Vol. 10, № 5. –P. 1411–1429 DOI: 10.1007/s40571-023-00563-4 (Scopus SJR(2023)= 0.845, Квартиль **Q1** в категории Numerical Analysis, Процентиль 86 в категории Numerical Analysis; Квартиль **Q1** в категории Computational Mathematics, Процентиль 84 в категории Computational Mathematics)

ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК ті ұсынған журналдардағы мақала:

1. Ashirova G.A., Beketaeva A.O., Naimanova A. Zh., Bykov V. V. Numerical study of flow structure (mixing process and reactivity) of diluted hydrogen non-premixed supersonic combustion system // International Journal of Mathematics and Physics. – 2023. – Vol. 14. - № 1. –P. 32–44 (КОКСОН) DOI:10.26577/10.26577/ijmph.2023.v14.i1.05

02 тамыз 2024 жыл