

Тамабай Динара Оразбекқызының
«8D05405 –Есептеу ғылымдары және статистика» білім беру бағдарламасы
бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін «Атмосфераның
шекаралық қабатының теңдеулерін шешудің сандық әдістерінің математикалық
негідемесі» тақырыбындағы диссертациясына

АНДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Осы диссертацияда қысым үшін шекаралық шарттарды дұрыс аппроксимациялайтын, Навье–Стокс теңдеулеріне арналған модификацияланған, айқан емес үшқадамды MAC-схемасы ұсынылады; ол сандық әдістің орнықтылығы мен дәлдігін арттырады және атмосфералық есептер үшін қатаң түрде негізделеді.

Зерттеу жұмысының мақсаты мен міндеттері. Диссертациялық жұмыстың мақсаты – атмосфераның шекаралық қабаты моделіне және Навье–Стокс теңдеулеріне арналған тиімді айырма схемаларын құру, олардың аппроксимациялық қасиеттерін, орнықтылығын және жинақтылығын зерттеу, сондай-ақ ұсынылған схеманы қолдана отырып сандық эксперименттер жүргізу.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

1. Навье–Стокс теңдеулерін және атмосфераның шекаралық қабаты теңдеулерін сандық шешу есептерін құру және олардың аппроксимациясы;
2. Навье–Стокс теңдеулерін шешу үшін физикалық үдерістер бойынша модификацияланған үшқадамды жіктелу схемасының алгоритмін әзірлеу;
3. Қысымға арналған эллиптикалық теңдеу үшін Нейман шекаралық шарттарын аппроксимациялау;
4. Навье–Стокс теңдеулері үшін ұсынылған модификацияланған үшқадамды схеманың орнықтылығы мен жинақтылығын зерттеу;
5. Атмосфераның шекаралық қабатының есептерін сандық шешу үшін модификацияланған үшқадамды схеманы қолдану;
6. Шекаралық қабат теңдеулері үшін әзірленген схеманың орнықтылығы мен жинақтылығын зерттеу;
7. Сандық эксперименттер жүргізу және бағдарламалық код әзірлеу;
8. Бағдарламалық кодты ақпараттық-талдамалық платформа картасын құруда қолдану.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыста келесі әдістер қолданылды: ақырлы айырмалар әдісі, маркер мен ұяшықтар әдісі, физикалық үдерістер бойынша жіктелу әдісі, дифференциалдық теңдеудің дәл шешіміне жуықтайтын айырмалық есептің орнықтылығы мен жинақтылығын дәлелдеуге арналған априорлық бағалар әдісі, априорлық бағаларды алу үшін интегро-интерполяциялық әдіс, сандық алгоритмді жүзеге асыру үшін прогонка әдісі, сондай-ақ бағдарламалық код жазу және модельдеу үшін Python жоғары деңгейлі бағдарламалау тілі мен оның модульдері мен кітапханалары.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы. Диссертациялық жұмыста Навье–Стокс теңдеулерін сандық шешуге арналған физикалық үдерістер бойынша модификацияланған үшқадамды жіктелу схемасы жасалып, оның алгоритмі жүзеге асырылды. Классикалық схемалардан айырмашылығы – бұл әдіс Навье–Стокс теңдеулері мен атмосфераның шекаралық қабат теңдеулері үшін жылдамдық векторының екінші туындысы мен қысым градиентінің априорлық бағаларын алуға мүмкіндік береді және үлкен уақыт қадамдарында есептеулер жүргізе алады.

Ғылыми жаңалықтың маңызды элементі – қысым үшін шекаралық шарттардың аппроксимациялық қасиеттерін зерттеу, бұл сандық шешімнің дәлдігін арттырып, жасалған схеманы қолданудың дұрыстығын қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. Жасалған схеманың аппроксимация, орнықтылық және жинақтылық мәселелері теориялық тұрғыда зерттеліп, әзірленген әдістің қатаң математикалық негізі қамтамасыз етілді. Сонымен қатар, жаңа схеманың тиімділігіне есептік талдау жүргізіліп, оның дәлдік, сходимость жылдамдығы және есептеу уақыты бойынша артықшылықтары бағаланды. Сандық есептеулер теориялық түрде алынған айырма схемасының дұрыстығын растады.

Қорғауға ұсынылатын ғылыми тұжырымдар:

1. Навье–Стокс теңдеулерін сандық шешу үшін физикалық үдерістер бойынша модификацияланған үшқадамды жіктелу схемасының алгоритмі жасалды;
2. Қысымға арналған эллиптикалық теңдеуді сандық шешуге арналған шекаралық шарттардың аппроксимациялық қасиеттері зерттелді;
3. Навье–Стокс теңдеулері үшін жасалған модификацияланған үшқадамды жіктелу схемасының орнықтылығы мен жинақтылығы зерттеліп, дәлелденді;
4. Жасалған схеманың классикалық тәсілдермен салыстырғанда тиімділігіне есептік талдау жүргізіліп, сандық шешімнің дәлдігі мен орнықтылығы тұрғысынан артықшылықтары анықталды;
5. Модификацияланған үшқадамды жіктелу схемасы атмосфераның шекаралық қабат есептерін сандық шешу үшін қолданылды;
6. Атмосфералық шекаралық қабат теңдеулері үшін жасалған схеманың орнықтылығы мен жинақтылығы зерттеліп, дәлелденді;
7. Сандық эксперименттер жүргізіліп, бағдарламалық код әзірленді;
8. Бағдарламалық код Қазақстан қалалары атмосферасында ластанушы заттардың таралу карталарын жасау үшін ақпараттық-талдамалық платформада қолданылды.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы. Теориялық жағынан – атмосфераның шекаралық қабаты теңдеулері мен Навье–Стокс теңдеулерін шешуге арналған тиімді сандық әдістер, соның ішінде үшқадамды жіктелу схемасы және ластанушы заттардың шығарындыларын нақтылау әдістері

әзірленіп, ғылыми негізделген. Ұсынылған сандық алгоритмдердің аппроксимация, орнықтылық және жинақтылық мәселелері зерттелді.

Практикалық жағынан – өнеркәсіптік қалалар атмосферасында қоспалардың таралуын модельдеуге арналған сандық алгоритм әзірленіп, Усть-Каменогорск мысалында сынақтан өткізілді. Python тілінде бағдарламалық кешен әзірленіп, ол экологиялық саясат саласындағы шешімдерді қолдау үшін ақпараттық-талдамалық платформаға енгізілді.

Жұмыстың апробациясы.

Зерттеудің негізгі нәтижелері келесі конференцияларда ұсынылды:

- 6th International Conference of Mathematical Sciences (ICMS 2022), 2022 жылғы 20–24 шілде, Maltepe University, Ыстамбұл, Түркия;
- Sixth International Conference on Analysis and Applied Mathematics (ICAAAM 2022), 2022 жылғы 31 қазан – 6 қараша, Анталия, Түркия;
- Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education (CITech-2022), 2022 жылғы 12–15 қазан, Алматы, Қазақстан;
- VII Дүниежүзілік Түркі әлемі математиктер конгресі (TWMS Congress-2023), 2023 жылғы 20–23 қыркүйек, Түркістан, Қазақстан;
- Жаратылыстану ғылымдарындағы кері және дұрыс қойылмаған есептер және жасанды интеллект, 2024 жылғы 16–20 сәуір, Алматы, Қазақстан;
- "Analysis and Applied Mathematics" апталық семинары, ұйымдастырушылар: Bahçeşehir University (Түркия), Ghent University (Бельгия), Institute of Mathematics and Mathematical Modeling (Қазақстан), 2023 жылғы 13 маусым, Стамбұл, Түркия;
- "Қолданбалы және есептеу математикасының заманауи мәселелері" семинары, 2025 жылғы 5 қаңтар, Алматы, Қазақстан.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша келесі ғылыми мақалалар жарияланды:

1. Temirbekov, N., Malgazhdarov, Y., Tamabay, D., Temirbekov, A. Mathematical and computer modeling of atmospheric air pollutants transformation with input data refinement. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.-2023. Vol.32, No.3.-P. 1405-1416. (DOI: 10.11591/ijeecs.v32.i3.pp1405-1416, (Scopus percentile– 61, SJR= 0.272, Scopus quartile – Q3)

2. Temirbekov, N., Malgazhdarov, Y., Tamabay, D., Temirbekov, A. Atmospheric modelling of photochemical transformations of pollutants: Impact of weather conditions and diurnal cycle (Case study: Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan). Mathematical Modelling of Engineering Problems, –2023. Vol. 10, No. 5. – P. 1699-1705. (<https://doi.org/10.18280/mmep.100520>, Scopus percentile– 47, quartile – Q3)

3. Temirbekov, N. Tamabay, D., Tanashova, M. Spread of harmful substances in the atmosphere of industrial cities of Kazakhstan: modeling and data refinement. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. —2025, Vol. 37(1), pp.636-647; [https://doi.org/ 10.11591/ijeecs.v37.i1.pp636-647](https://doi.org/10.11591/ijeecs.v37.i1.pp636-647). (Scopus percentile – 55, quartile – Q2)

4. Temirbekov, N., Temirbekov, A., Kasenov, S., Tamabay, D. Numerical Modeling for Enhanced Pollutant Transport Prediction in Industrial Atmospheric Air. International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. —2024, Vol. 19(3), pp. 917–926; <https://doi.org/10.18280/ijdne.190321>. (Scopus percentile – 54, quartile – Q2)

ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған тізімге енгізілген мақалалар жарияланды:

Тамабай Д., Жумагулов Б. Навье–Стокс теңдеулері үшін ірі бөлшектер әдісінің контекстінде ұшқадамды жіктелу сұлбасының орнықтылығы. Абай атындағы ҚазҰПУ Хабаршысы, «Физика-математика ғылымдары» сериясы, 2024, №1 (85), 51–62 бет. DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.85.1.005>.

Жарияланған монография:

Темірбеков Н.М., Мадияров М.Н., Түкенова З.А., Малгаждаров Е.А., Касенов С.Е., Байгереев Д.Р., Темірбеков А.Н., Тамабай Д.О., Темірбекова М.Н., Абдолдина Ф.Н., Дедова Т.В., Насырова М.С. Өнеркәсіптік қалалардың атмосфералық ауасын мониторингілеу бойынша деректерді жинау мен өңдеудің бірыңғай экожүйесі: монография. / Жалпы редакциясын басқарған Н.М. Темірбеков – Алматы: Everest, 2024 ж. – 330 бет.

Жарияланған монография тарауы:

Tamabay, D., Zhumagulov, B., Temirbekov, A. (2024). Mathematical Issues of Difference Schemes for Atmospheric Boundary Layer Equations. Trends in Mathematics, Vol. 6, 185–196 бет. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62668-5_18

Пайдалы модельге алынған патенттер:

1. «Атмосфералық ауаны қашықтықтан бақылау тәсілі» (өтінім №2024/0192.2), № 9055, берілген күні – 2024 жылғы 12 ақпан. ҚР ӘМ «Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК.

2. «Атмосфералық ауаны қашықтықтан бақылауға арналған құрылғы» (өтінім №2023/0409.2), № 8629, берілген күні – 2023 жылғы 27 қазан. ҚР ӘМ «Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК.

Авторлық құқық объектісіне алынған куәліктер:

1. «Фотохимиялық түрленулерді ескеретін өнеркәсіптік нысандар атмосфералық ауасын мониторингілеуге арналған геоақпараттық жүйе» №32823, берілген күні – 2023 жылғы 20 ақпан. ҚР ӘМ «Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК.

2. «Ауа сапасының халық денсаулығына кері әсерін бағалауға арналған машиналық оқыту әдістеріне негізделген бағдарлама әзірлеу» №42532, берілген күні – 2024 жылғы 31 қаңтар. ҚР ӘМ «Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі.

Диссертация орыс тілінде жазылып, қолжазба түрінде ұсынылған. Ол титул беті, мазмұны, кіріспе, үш негізгі бөлім, қорытынды және пайдаланылған

әдебиеттер тізімінен (200 дереккөз) тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі – 124 бет, оның ішінде 9 сурет, 1 кесте және 4 қосымша бар.

Диссертацияның негізгі мазмұны. Диссертация тұтқыр сығылмайтын гидродинамиканы және қалалық атмосферада ластаушылар тасымалын сандық модельдеуге арналған; негізгі назар – Навье–Стокс теңдеулері үшін орнықты әрі жинақталатын айырмалық схемалар және олардың қолданбалы іске асырылулары.

1-бөлімде қозғалып тұрған қақпағы бар каверна есебі қарастырылады. Уақыт бойынша ірі қадамдармен жұмыс істеуге мүмкіндік беретін физикалық процестер бойынша модификацияланған үшқадамды жіктеуі бар айырмалық аппроксимация ұсынылады; шекаралық шарттар (соның ішінде қысым) дұрыс аппроксимацияланады. Схеманың орнықтылығы мен жинақталуы дәлелденеді.

2-бөлімде өнеркәсіптік қала үстіндегі атмосфералық шекаралық қабат моделі құрылады; турбуленттік, әртекті төсеніш беттік және локалдық көздер ескеріледі; айырмалық схема жасалып, оның орнықтылығы мен жинақталуы негізделеді. Модель экологиялық болжау және ауа сапасын бақылауға бағытталған.

3-бөлімде сандық эксперименттер берілген: ағындағы көріністерді визуализациялау, классикалық екіқадамды жіктеу схемасымен салыстыру (ұсынылған тәсілдің артықшылығы көрсетілген), сондай-ақ қоспалардың таралуын есептеу.

Қорытындыда қалалардың ауа сапасын мониторингтеуге арналған ақпараттық-талдамалық жүйе әзірленген; онда модельдеу нәтижелері талдау және визуализация құралдарымен біріктірілген.