

**Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын  
Машинатаануу жана автоматика институту**

**Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян университети**

Диссертациялык кеңеши Д 05.21.631

Кол жазма укугунда

УДК:519.6:004(575.2) (043)

**Турганбаева Акпари Балтабаевна**

**«Татаал беттин үстүндөгү агымдарды математикалык моделдөөнүн  
алгоритмин түзүү»**

05.13.18– математикалык моделдөө, сандык ыкмалар жана программалар  
комплекси

физика-математика илимдеринин кандидаты илимий даражасын  
изденип алуу үчүн диссертациянын

Авторефераты

Бишкек – 2022

**Иш Ош мамлекеттик университетинин маалыматтык системалар жана программалоо кафедрасында аткарылган.**

**Илимий жетекчи:** Курбаналиев Абдикерим  
Ырысбаевич, физика-математика  
илимдеринин доктору, доцент, Ош  
мамлекеттик университетинин  
табигый илимдер жана математика  
кафедрасынын башчысы

**Расмий оппоненттери:** \_\_\_\_\_,  
профессор, \_\_\_\_\_  
университетинин профессору  
  
\_\_\_\_\_  
физика-математика илимдеринин  
доктору, профессор, \_\_\_\_\_  
университетинин кафедра башчысы

**Жетектөөчү уюм:** Кафедра  
\_\_\_\_\_ - жана  
\_\_\_\_\_  
университет

Диссертацияны коргоо 202\_\_-жылдын \_\_\_\_\_ саат \_\_\_\_ Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын машинатаануу жана автоматика Институтунун жана Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян Университетинин алдындагы физика-математика жана техника илимдеринин доктору (кандидаты) окумуштуулук даражасын изденип алуу боюнча диссертацияларды коргоо **Д 05.21.631** диссертациялык кеңештин отурумунда болот. Дареги: 720071, Бишкек ш., Чуй пр., 265, 349-б. Диссертацияны коргоонун онлайн трансляциясынын идентификациялык коду <https://vc.vak.kg/b/052-dry-zfv-dd6>.

Диссертация менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын (720071, Бишкек ш., Чуй пр., 265а), Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян Университетинин (720000, Бишкек ш., Киев көч., 44), Ош мамлекеттик университетинин (723500, Ош ш., Ленин көч.331) китепканасынан жана <https://imash.kg/> расмий сайтында таанышууга болот, email: [diss\\_ima@mail.ru](mailto:diss_ima@mail.ru).

Автореферат \_\_\_\_\_ жөнөтүлдү

Диссертациялык кеңештин  
окумуштуу катчысы  
ф.-м.и.к, у.и.к.

Керимкулова Г.К.

## ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

**Диссертациянын темасынын актуалдуулугу.** Табигый татаал рельефтин үстүндө шамалдын агымын заманбап гидродинамиканын эсептөө шаймандары менен так жана ишенимдүү моделдөө булгоочу заттарды ташуу жана чачуу, шамалдын энергетикалык ресурстарын баалоо сыяктуу колдонмолордун кеңири спектри үчүн маанилүү. Кыргыз Республикасынын тоолуу аймактарында электр линияларынын туруктуулугун камсыз кылуу маанилүү жана актуалдуу маселе болуп саналат. Белгилүү болгондой, жогорку чыңалуудагы линияларды электр өткөргүчтөрдүн изоляциясынын жагымсыз булганышына алып келүүчү чаң бөлүкчөлөрүнөн коргоо үчүн, көбүнчө коргоочу экрандар курулат же рельефтин табигый өзгөчөлүктөрү колдонулат. Дагы бир орчундуу маселе болуп, зыяндуу аралашмалардын аныктоочу булактары болуп автоунаалардан чыккан газдар жана шамалдын күчүн эсепке албастан курулган жылытуу тутумдарынан чыккан эмиссиялар эсептелген шаарларда калк үчүн ыңгайлуу жашоо шарттарын камсыз кылуу саналат.

Үч өлчөмдүү турбуленттүү бөлүнгөн агымдарды моделдөө жана экологияга зыяндуу аралашмаларды өткөрүү ыкмаларын өркүндөтүүнүн чукул зарылдыгы изилдөө темасынын актуалдуулугун аныктайт.

Акыркы 50 жылдын ичинде тоолордун үстүндөгү шамалдын агымы боюнча CFD изилдөөлөрүнүн абдан көп саны жүргүзүлгөн. Экологиялык зыяндуу аралашмалардын таралуу көйгөйлөрү Г.И.Марчуктун (1982), Truppi, L. E., Holzworth, G. C. (1984), В.В.Пененконун (1985), О.М.Белоцерковскийдин (2000), Каменецкийдин Е. С. (2009), Paraggio F., G.Crasto (2015) эмгектеринде каралган.

**Диссертациянын темасынын артыкчылыктуу илимий багыттары, ири илимий программалар (долбоорлор), билим берүү жана илимий мекемелер тарабынан жүргүзүлүүчү фундаменталдык изилдөө иштери менен байланышы.** Иштин бир бөлүгү 2018-жылы Кыргыз Республикасынын Билим берүү жана илим министрлиги тарабынан каржыланган «Шаардын географиялык маалымат тутуму үчүн программалык камсыздоону түзүү жана экологиялык зыяндуу аралашмалардын таралышына табигый тоскоолдуктун таасирин математикалык моделдөө (Ош шаарындагы Сулайман тоонун мисалында)» илимий-изилдөө долбоорунун алкагында жүргүзүлдү.

**Изилдөөнүн максаты катары** OpenFOAM пакетинин алкагында Ош шаарындагы Сулайман тоосунун айланасындагы агымдын мисалын колдонуу менен астыңкы беттин үстүндөгү структураланбаган торлордо татаал үч өлчөмдүү турбуленттүү агымдарды моделдөө үчүн эсептөө алгоритмдерин жана технологияларын иштеп чыгуу болуп саналат.

Бул максатка жетүү үчүн төмөнкү маселелер чечилди:

1. Агымдын орточо мүнөздөмөлөрүн жана тегиз эмес беттердин айланасындагы агымдагы пассивдүү аралашмалардын концентрациясын болжолдоо маселелери үчүн OpenFOAMда турбуленттүүлүктүн эки параметрлүү моделдердин эң мыкты стандарттуу алгоритмдерин жана ыкмаларын аныктоо.
2. OpenFOAMда ишке ашырылган эсептөө алгоритмдеринин жана методдорунун агымдын орточо мүнөздөмөлөрүн жана тегиз эмес беттердин айланасындагы агымдагы пассивдүү аралашмалардын концентрациясын болжолдоо үчүн практикалык инструмент катары учурдагы абалын баалоо.
3. Сулайман тоосунун айланасындагы аба агымынын көйгөйү үчүн GRASS GIS8 географиялык маалымат тутумун жана OpenFOAM пакетинин snappyHexMesh утилитасын колдонуу менен үч өлчөмдүү структураланбаган эсептөөчү торду автоматтык түрдө куруунун алгоритмин жана ыкмасын иштеп чыгуу, Ош ш., Кыргызстан.
4. Экологиялык зыяндуу аралашмалардын таралышын эске алуу менен табигый тоскоолдуктун айланасындагы агымды моделдөө маселесин сандык ишке ашырууга багытталган программалык пакетти түзүү (passiveScalarPimpleFoam, Ubuntu 20.04 LTS, GRASS GIS8, Python, Gnuplot).
5. Пассивдүү аралашманын таралуу теңдемесинде конвективдик мүчөсүнүн ар кандай дискреттөө схемаларынын итерациялык процесстин жыйналышына тийгизген таасирин изилдөө (Ош, Сулайман тоосунун мисалында).

#### **Алынган натыйжалардын илимий жанылыгы.**

1. Агымдын орточо мүнөздөмөлөрүн жана тегиз эмес беттердин айланасындагы агымдагы пассивдүү аралашмалардын концентрациясын болжолдоо маселелери үчүн OpenFOAMда эки параметрдүү турбуленттүү моделдердин эң мыкты стандарттуу алгоритмдери жана ыкмалары изилденген. RNGkEpsilon жана kEpsilonLopesdaCosta турбуленттик моделдерин табигый тоскоолдук - Сулайман тоосунун айланасындагы агымды моделдөө маселесинде колдонбоо боюнча практикалык сунуш берилди.
2. 5 турбуленттик моделди колдонуу менен үч өлчөмдүү осесимметриялык дөңсөөнүн айланасындагы агымды сандык моделдөөдө, эсептөөлөр көрсөткөндөй, дөңсөөнүн чокусуна жакындаган сайын келе жаткан агымдын ылдамдыгы өсүп, 39 м/с максималдуу мааниге жетет, бул максималдуу киргизүү  $u_{max} = 27.5$  м/с ылдамдыгынан болжол менен 42% га чоңураак. Башкача айтканда, дөңсөөнүн чокусунда шамалдын ылдамдашы байкалат, ошондуктан шамалдын тийгизген чоң таасирин азайтуу үчүн бул жерлерге электр линияларын коюуга болбойт.
3. Ош шаарынын Сулайман тоосундагы табигый тоскоолдуктун айланасындагы агымдын көйгөйлөрү үчүн үч өлчөмдүү структураланбаган эсептөөчү торду автоматтык түрдө түзүүнүн алгоритми жана ыкмасы сунушталды.

4. Курчап турган чөйрөгө зыяндуу аралашмалардын таралышына табигый тоскоолдуктун таасири проблемасын сандык ишке ашырууга багытталган программалык каражаттардын комплекси (passiveScalarPimpleFoam, GRASS GIS8, Python, Gnuplot) негизделди жана сунушталды. Мезгилдүү дөңсөөнүн айланасындагы стационардык эмес аба агымын сандык моделдөө учурунда пассивдүү аралашма концентрациясы биринчи дөңсөөнүн шамалдаган тарабына салыштырмалуу экинчи дөңсөөнүн шамалдаган тарабында 4.5% га төмөн экендиги аныкталды.

5. Биринчи жолу пассивдүү аралашманын таралышын эске алуу менен Ош шаарынын Сулайман тоосу табигый тоскоолдуктун айланасындагы стационардык агымдын сандык эсеби жүргүзүлдү. Колдонулган ар кандай 17 схемалардын ичинен VanLeer жана LimitedVanLeer үч таяныч чекиттеринде пассивдүү аралашманын концентрациясынын так бирдей маанилерин берери аныкталды. Каралган төрт NVD схемалардын ичинен бир итерацияга кеткен убакыт боюнча SFCD схемасы эң найтыйжалуу болуп чыкты – бул убакыт Mesh1, Mesh2 жана Mesh3 үч эсептөө торлорунда тиешелүүлү түрдө 0.553с, 2.294с жана 3.799с га барабар болгон. Эсептөөлөр көрсөткөндөй, үч таяныч пунктунун P2 жана P3 чекиттериндеги пассивдүү аралашманын концентрациясы P1 чекитиндеги концентрациядан болжолдуу түрдө төмөн. Демек, экологиялык комфорттун даражасы P1 чекитине караганда бир тартипке жогору деп айтууга болот.

#### **Алынган натыйжалардын практикалык мааниси.**

Диссертациялык иштин натыйжалары айлана-чөйрөнүн метеорологиялык параметрлери боюнча актуалдуу маалыматтар болгон учурда атмосферага булгоочу заттардын эмиссиясын көзөмөлдөөнүн аймактык автоматташтырылган системасын иштеп чыгууда колдонулушу мүмкүн жана экологиялык зыяндуу аралашмалардын өтүшүн эске алуу менен үч өлчөмдүү атмосфералык агымдарды математикалык моделдөөгө олуттуу салым кошо алат. Атмосфералык агымдарды моделдештирүүнүн ар кандай көйгөйлөрү боюнча OpenFOAM пакетин текшерүү жана пакеттин деталдуу документтерин иштеп чыгуу өзгөчө белгилениши керек.

#### **Коргоо үчүн берилген диссертациянын негизги жоболору.**

1. Айлана-чөйрөгө зыяндуу аралашмалардын таралышын эске алуу менен табигый тоскоолдуктун айланасындагы агымды моделдөө маселесин сандык түрдө ишке ашырууга мүмкүндүк берүүчү сунуш кылынган программалык пакетти (passiveScalarPimpleFoam, Ubuntu 20.04 LTS, GRASS GIS8, Python, Gnuplot) эсептөөнүн натыйжаларын андан ары визуализациялоо менен пайдалануунун натыйжалары.

2. Кыргызстандын Ош шаарындагы Сулайман тоосунун айланасындагы аба агымынын маселелери үчүн snappyHexMesh жардамы аркылуу үч өлчөмдүү эсептөөчү торду автоматтык түрдө куруунун алгоритми жана ыкмасы.

3. Итерация процессинин жыйналышына пассивдүү кошулмалардын таралуу теңдемесинде конвективдик мүчөнү ар кандай дискреттөө схемаларынын тийгизген таасирин моделдөөнүн натыйжалары (Ош шаарындагы Сулайман тоосунун мисалында).

**Илимий жоболордун, корутундулардын жана сунуштардын ишенимдүүлүгү** маселенин туура коюлушу, математикалык моделдөө жана программалоо ыкмаларын, сандык ыкмаларды негиздүү пайдалануу, заманбап эсептөө системасынын жетишкендиктери, жетиштүү сандагы эсептөө эксперименттери жана алынган сандык натыйжаларды жана тиешелүү эксперименталдык жана эсептелинген маалыматтар менен салыштыруу аркылуу камсыз кылынат.

**Эмгектин эсинин жеке салымы.** Диссертация автор тарабынан жүргүзүлгөн өз алдынча изилдөөнүн натыйжасы болуп саналат. Автордун жеке салымы эмгектин максатын коюу жана аны аныктоо, максатка жетүү ыкмаларын тандоо, изилдөө жүргүзүү, натыйжаларды талдоо жана корутундуларды түзүү, макалаларды жарыялоо болуп саналат. Алынган жыйынтыктарды талкуулоого физика-математика илимдеринин доктору, профессор, КР УИА академиги Жайнаков А. Ж., илимий жетекчиси, физика-математика илимдеринин доктору, доцент Курбаналиев А.Б., физика-математика илимдеринин доктору, профессор Сатыбаев А.Ж., п.и.к., доцент Мадраимов С.М. катышты.

**Изилдөө натыйжаларын апробациялоо.** Бул диссертациялык ишти аткарууда алынган натыйжалар төмөнкү эл аралык, республикалык конференцияларда жана семинарларда баяндалган:

- III International Scientific Conference. APITECH-III 2021: Applied Physics, Information Technologies and Engineering. 24 September - 3 October 2021, Krasnoyarsk, Russia.
- 5<sup>th</sup> International Conference on Advances in Natural and Applied Sciences-ICANAS-2021, Ibrahim Chechen University, Turkey, Agri, 21-23 September 2021.
- XIV -XV Эл аралык Азия мектеби-семинарда: "Татаал системаларды оптималдаштыруу маселелери". РИА СБ Эсептөө математикасы жана математикалык геофизика институту (Россия, Новосибирск), Новосибирск мамлекеттик университети (Россия, Новосибирск), Казакстан Республикасынын Билим берүү жана илим министрлигинин Маалыматтык жана эсептөө технологиялары институту (Казакстан Республикасы, Алматы) R8 IEEE Сибирь Россия секциясынын колдоосу менен (Россия, Новосибирск), Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Математика институту (Кыргызстан, Бишкек ш.), 20-июль-31-июль 2018-жыл, "Отель Евразия" пансионаты, Иссык-Көл, Кыргыз Республикасы, Академгородок, Новосибирск, Россия, 26-30-август, 2019-жыл.

- Кыргыз Республикасынын Геологиялык кызматынын 80 жылдыгына арналган "Геологиянын, тоо-кен өндүрүшүнүн жана билим берүүнүн актуалдуу көйгөйлөрү жана келечеги" эл аралык илимий конференциясы Бишкек, Кыргызстан, 04-06-октябрь 2018-жыл.

**Диссертациянын жыйынтыктарынын басылмаларда чагылдырылышынын толуктугу.**

Негизги изилдөө натыйжалары 11 илимий макалада жана 1 автордук күбөлүктө жарыяланган, анын ичинде Скопус (1), РИНЦ (2) маалымат базаларына кирген Кыргыз Республикасынан тышкары илимий журналдарда басылып чыккан.

**Диссертациянын структурасы жана көлөмү.** Диссертация киришүүдөн, 3 бөлүмдөн, корутундудан, практикалык сунуштардан, библиографиядан жана тиркемелерден турат. Эмгекте 145 барак текст, 50 сүрөт, 22 таблица, 134 библиографиялык шилтеме жана 5 тиркеме бар.

## **ИШТИН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ**

Киришүүдө теманын актуалдуулугу негизделген, изилдөөнүн максаттарын жана маселелери көрсөтүлөт, иштин илимий жаңылыгы жана практикалык маанисин келтирилген. Атмосфералык турбуленттүү агымдарды моделдөөнүн заманбап ыкмалары, алардын артыкчылыктары жана кемчиликтери талданат. Диссертациянын түзүлүшү жана негизги мазмуну бөлүмдөр боюнча кыскача баяндалат.

**1-бөлүм — Адабияттарды талдоо.** Турбуленттүү атмосфералык агымдарды моделдештирүүнүн заманбап ыкмалары боюнча адабияттарды карап чыгуу жүргүзүлдү. Каралып жаткан диссертациянын темасы боюнча жеткиликтүү болгон илимий адабияттарга талдоо жүргүзүлдү. Рейнольдс боюнча орточо алынган Навье-Стокс теңдемелерин толуктоо үчүн колдонулган атмосфералык турбуленттүүлүктүн кеңири таралган моделдери келтирилген.

Каралып жаткан маселелерди математикалык моделдөө үзгүлтүксүздүктүн, импульстун жана пассивдүү аралашманын таралуу теңдемелерине негизделген, алар чогуу Рейнольдс боюнча орточо алынган Навье-Стокс теңдемелеринин системасын түзүшөт. Бул система кысылбаган агым үчүн массалык күчтөр жок учурда төмөнкү формага ээ Ferziger JH, Peric (2002):

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) = 0; \frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j + \rho \overline{u_i' u_j'}) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial (T \bar{u}_i)}{\partial x_i} = 0, \quad (2)$$

мында  $\bar{u}_i$  - орточо ылдамдыктын компоненттери,  $\rho$  - тыгыздык,  $T$  - пассивдүү аралашманын концентрациясы,  $\bar{p}$  - орточо басым,  $\bar{\tau}_{ij} = \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$  -

молекулярдык илешкектүүлүк  $\mu$  менен байланышкан илешкектүү чыңалуу тензору,  $\overline{\rho u_i' u_j'}$  – моделдештирүүнү талап кылган Рейнольдс чыңалуусу. Тышкы күчтөр таасири болгон учурда бул теңдемелерди тиешелүү мүчөлөр менен толуктоо керек.

Турбуленттик термелүүлөрдүн агымдын гидродинамикасына тийгизген таасирин эсепке алуу турбуленттүүлүктүн эки параметрлүү моделдерине негизделген.

**2-глава — Изилдөөнүн ыкмалары жана методологиясы.** OpenFOAM пакетинин алкагында жалпыланган өзгөрмө үчүн жалпыланган таралуу теңдемесин контролдук көлөмдөр ыкмасына негизделген дискреттөө ыкмалары каралат.

**Изилдөө объектиси** катары үч өлчөмдүү атмосфералык турбуленттүү агымдар болуп саналат.

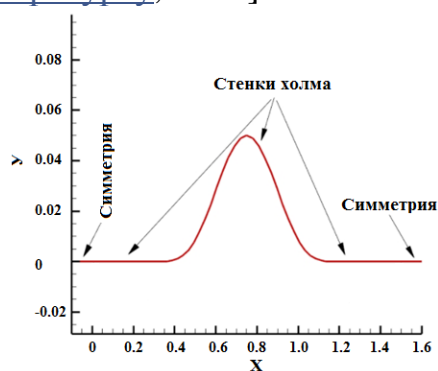
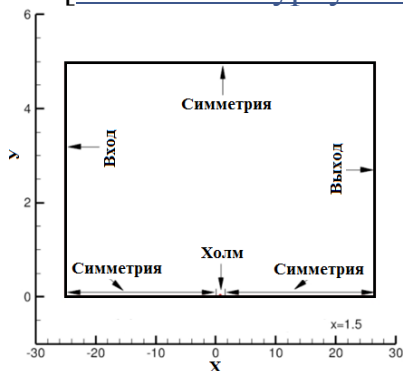
**Изилдөө предмети** катары экологиялык зыяндуу аралашмалардын таралышына табигый тоскоолдуктун тийгизген таасирин сандык изилдөө болуп саналат.

Учурдагы программалык куралдардын кыскача баяндамасы берилген, OpenFOAM моделдөө үчүн тандалган пакетти тандоонун негизги критерийлери берилген, OpenFOAM пакетинин идеологиясына ылайык маселелерди түзүү принциптери баса белгиленет.

Адабияттарды талдап чыгуу жана методологияны жана изилдөө ыкмасын карап чыгуу, F. Paraggio, G.Crasto (2015) эмгектерине ылайык, OpenFOAM пакетинин алкагында Ош шаарындагы Сулайман тоосунун айланасындагы агымдын мисалын колдонуу менен астыңкы беттин үстүндөгү структураланбаган торлордо татаал үч өлчөмдүү турбуленттүү агымдарды моделдөө үчүн эсептөө алгоритмдерин жана технологияларын ийгиликтүү иштеп чыгууга болорун көрсөттү.

**3-бөлүм – Татаал астыңкы беттин үстүндөгү агымдарды математикалык моделдөө** экологиялык зыяндуу аралашмалардын таралышын эсепке алуу менен тегиз эмес беттердин айланасындагы агымдын эсептөө аэродинамикасынын маселелери каралат.

**№1 -маселе. Жалгыз дөңсөөнүн айланасындагы агым.** Биз жалгыз дөңсөөнүн үстүндө кысылбаган абанын турбуленттүү агымын карайбыз (3.4-сүрөттү караңыз), ал эсептөө аянтына сол жактан кирип, андан оң тараптан чыгат [[НАСАнын турбуленттүүлүктү моделдөө ресурсу, 2021](#)].





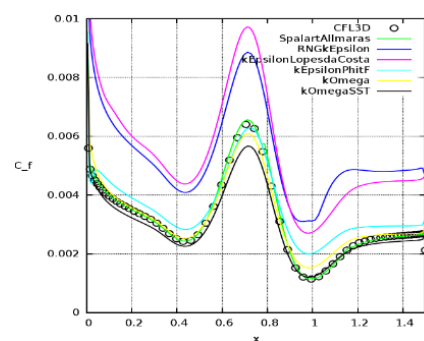
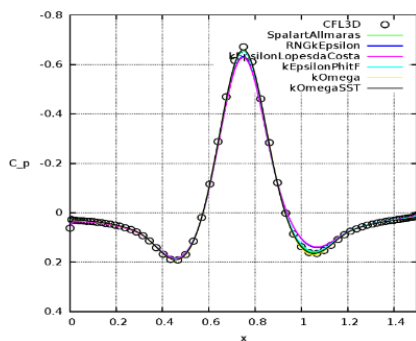
3.4-сүрөт. – Маселенин геометриясы жана чек ара шарттары

3.5-сүрөт – Дөңсөөнүн айланасынын чоңойтулганы

Бул маселени карап чыгуунун максаты – ылайыктуу турбуленттик моделин, эффективдүү алгоритми жана дөңсөөнүн айланасындагы агымды моделдөө ыкмасын тандоо. Алынган сандык натыйжалардын ишенимдүүлүгү тиешелүү сандык маалыматтар менен салыштыруу жолу менен текшерилди.

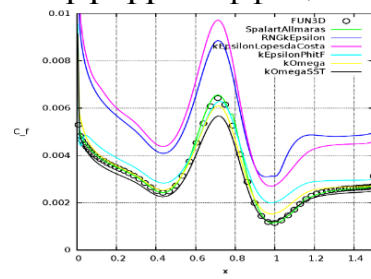
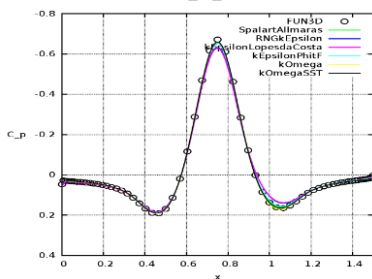
Мах саны  $M = 0.2$ , ал эми мүнөздүү ылдамдык аркылуу эсептелген Рейнольдс саны  $69.44$  м/с, кинематикалык илешкектүүлүк коэффициенти  $\nu = 2.31 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с жана эсептөө торунун узундугу  $1$  м ге  $3 \times 10^6$  барабар.

Сандык натыйжалар стандарттуу k-ε жана k-ω турбуленттик моделдердин ар кандай версиялары үчүн алынган, атап айтканда RNGkEpsilon, kEpsilonLopesdaCosta, kEpsilonPhitF, kOmega, kOmegaSST. Мындан тышкары, SpalartAllmaras модели да каралган. Сандык эсептөөлөрдүн натыйжаларын CFL3D жана FUN3D программаларынын тиешелүү маалыматтары менен салыштыруу 3.6–3.9-сүрөттөрүндө көрсөтүлгөн. Маркерлер CFL3D (3.6, 3.7-сүрөттөр) жана FUN3D (3.8, 3.9-сүрөттөр) пакеттерин колдонуу менен алынган сандык эсептөөлөрдүн натыйжаларын билдирет.



3.6 – сүрөт - CFL3D программасы үчүн басым коэффициенти

3.7-сүрөт - CFL3D программасы үчүн көтөрүлүү коэффициенти



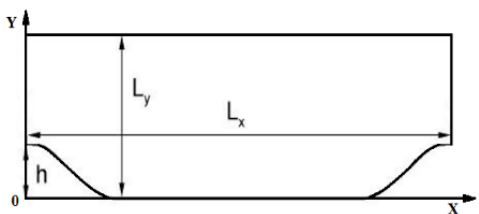
3.8-сүрөт - FUN3D программасы үчүн басым коэффициенти

3.9-сүрөт - FUN3D программасы үчүн көтөрүлүү коэффициенти

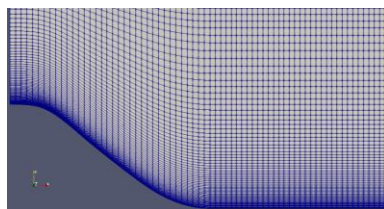
Жогорудагы сүрөттөрдө көрүнүп тургандай, OpenFOAM, CFL3D жана FUN3D пакеттерин колдонуу менен алынган сандык маалыматтар дөңсөөдөн

кийинки рециркуляция зонасында кичинекей айырмачылыктарды кошпогондо,  $C_p$  басым коэффициенти боюнча иш жүзүндө дал келет. Бирок,  $C_f$  көтөрүлүү коэффициенти боюнча айырмачылыктар RNGkEpsilon жана kEpsilonLopesdaCosta турбуленттүүлүк моделдери үчүн олуттуу болуп саналат - бул моделдердин экөө тең көтөрүлүү коэффициентинин ашыкча бааланган маанилерин тиешелүү түрдө 51.49% жана 38.15% ди берет. Ошондуктан, табигый тоскоолдук - Оштогу Сулайман тоосунун айланасындагы агымды моделдөөдө RNGkEpsilon жана kEpsilonLopesdaCosta турбуленттик моделдерин колдонбоо сунушталат.

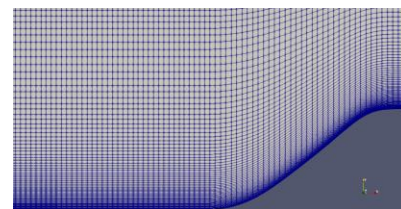
**№2-маселе. Мезгилдүү дөңсөөнүн тегерегиндеги агым.** Бул маселенин максаты ырааттуу жайгашкан бирдей эки өлчөмдүү дөңсөөлөрдүн пассивдүү аралашмалардын таралышына таасирин изилдөө. Эсептөө аймагынын геометриялык өлчөмдөрү 3.10-сүрөттө, дөңсөөлөрдүн жанындагы эсептөө торчосу 3.11 жана 3.12-сүрөттөрүндө көрсөтүлгөн, мында тиешелүү чек ара катмарын туура эсепке алуу үчүн тегиз эмес беттин жанында эсептөө торчосунун калыңдоосу даана көрүнүп турат.



3.10-сүрөт – Маселенин геометриясы жана координаттар системасы

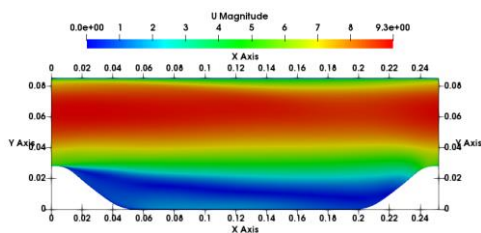


3.11-сүрөт – Биринчи дөңсөөнүн жанындагы эсептөө торчосу

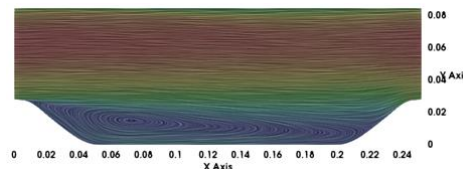


3.12-сүрөт - Экинчи дөңсөөнүн жанындагы эсептөө торчосу

Төмөндө дөңсөөлөрдүн ортосундагы рециркуляция зонасы даана көрүнүп турган ылдамдык модулуна талаасы (3.13-сүрөт) жана изосызыктары (3.14-сүрөт) көрсөтүлгөн.



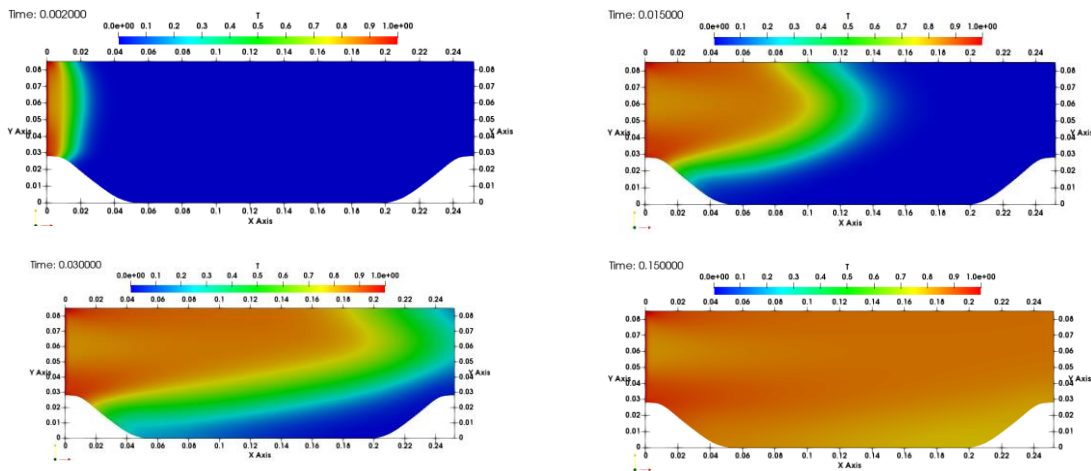
3.13-сүрөт– Ылдамдык модулуна талаасы



3.14-сүрөт – Ылдамдык модулуна изосызыктары

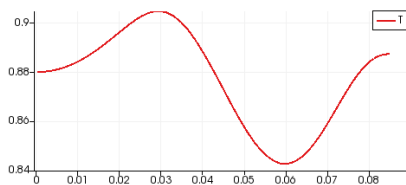
Мындан дөңсөөлөрдүн ортосунда рециркуляциялык зонанын пайда болгонун көрүүгө болот, анын борбору болжол менен координаттары (0.075, 0.012) чекитине жакын.

Экологиялык зыяндуу аралашманын таралуу концентрациясы убакыттын ар кандай моменттеринде 3.15-сүрөттө көрсөтүлгөн.

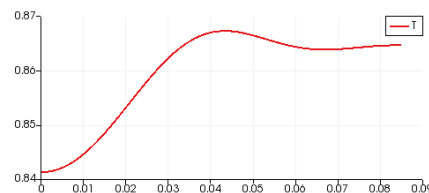


3.15-сүрөт – Аралашманын убакыттын ар кандай моменттериндеги бөлүштүрүлүшү

$X=0.05\text{м}$  (биринчи дөңсөөнүн артында) жана  $x=0.2\text{м}$  (экинчи дөңсөөнүн алдында) кесилиштердеги пассивдүү аралашманын туурасынан кеткен профили тиешелүү түрдө 3.16 жана 3.17-сүрөттөрдө көрсөтүлгөн.



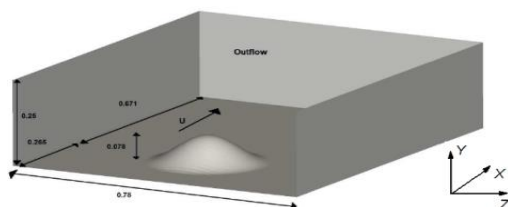
3.16-сүрөт –  $x=0.05\text{м}$  болгондо пассивдүү аралашма профили



3.17-сүрөт –  $x=0.2\text{м}$  болгондо пассивдүү аралашма профили

Бул сүрөттөрдөн көрүнүп тургандай, экинчи дөңсөөнүн шамал соккон тарабында зыяндуу аралашмалардын концентрациясы биринчи дөңсөөнүн шамал сокпогон тарабына салыштырмалуу 4.5% га аз. Ошондуктан, электр өткөргүч мунаралар пассивдүү аралашмалардын концентрациясы эң төмөнкү мааниге ээ болгон жерлерде орнотулушу керек.

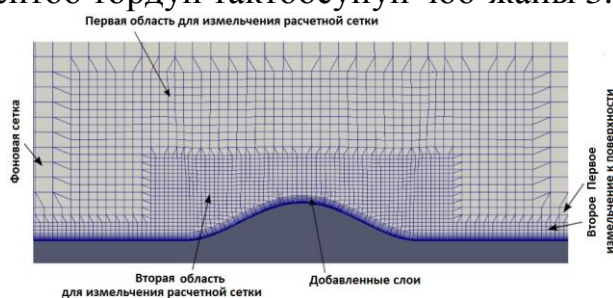
**№3 - маселе. Окко симметриялуу жалгыз дөңсөөдөгү агым.** Бул маселенин максаты – snappyHexMesh OpenFOAM утилитасын колдонуу менен үч өлчөмдүү эсептөө торлорун куруунун алгоритмин жана ыкмасын сыноо. Маселенин схемасы Yun G., Simpson R. L., (2005) эмгектен алынган жана 3.18-сүрөттө көрсөтүлгөн, координаталык системалардын башталышы дөңсөөнүн тегерек негизинин геометриялык борборунда жайгашкан.



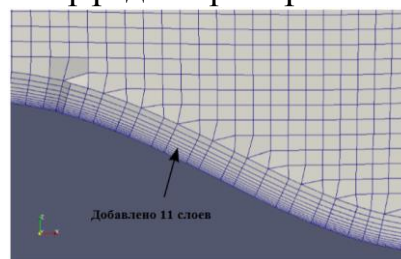
3.18-сүрөт – Маселенин геометриясы жана координата системасы

Үч өлчөмдүү эсептөө торчосун куруу үчүн бул иште сунушталган алгоритм жана ыкма төмөнкүдөй. Биз тарабынан Python тилинде жазылган программа жогорудагы формула боюнча дөңсөө бетинин баштапкы формасын ASCII текст форматында куруп, андан кийин GTIFF форматында сүрөт катары сактайт. Андан кийин, биз жазган python программасын колдонуп, бул чийме stl кеңейтүүсү менен стереолитографиялык форматтагы башка файлга айланат. Андан кийин биз constant папкада жайгашкан OpenFOAM пакетинин triSurface папкасына акыркы файлды жайгаштырабыз. Андан кийин биз C++ программасын snappyHexMeshDict даярдап, аны system папкага салабыз.

Кийинчерээк, blockMesh утилитасы тарабынан түзүлгөн гексаэдрдик фондук тор snappyHexMeshDict программасынын негизинде snappyHexMesh OpenFOAM утилитасын колдонуу менен үч өлчөмдүү эсептөө торуна айландырылат. Дөңсөөнүн жанындагы жана ылдыйкы дубалдын жанындагы эсептөө тордун тактоосунун чоо-жайы 3.19аб-сүрөттөрүндө көрсөтүлгөн.



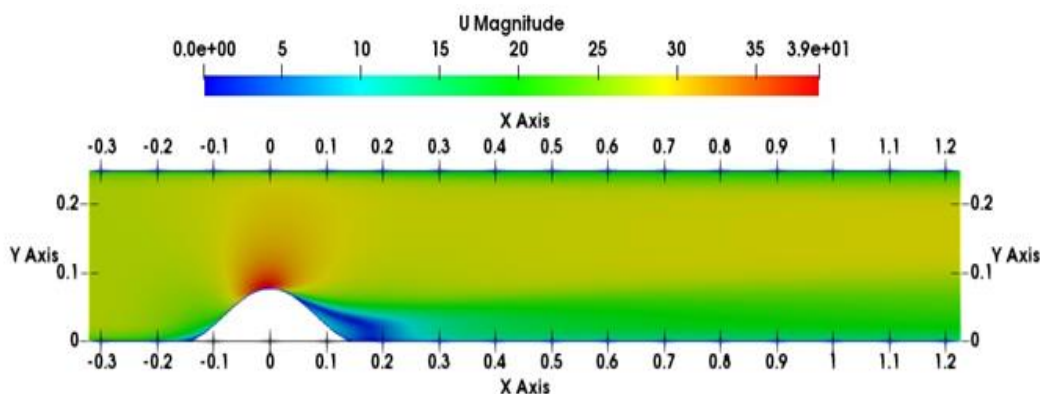
3.19а-сүрөт – Эсептөө торун майдалоо



3.19б-сүрөт – Дөңсөөнүн жанындагы эсептөө тору

Дөңсөөнүн жанындагы эсептөөчү торду майдалоо үчүн эки аймак колдонулган жана дөбөнүн бетине жакыныраак 11 жаңы катмар кошулган. Ошентип, ячейкалардын жалпы саны 1 636 480, жер бетине 2 майдалоо деңгээли, 2 майдалоочу област, 1.2 кеңейүү коэффициенти менен бетке жакын 11 кошумча катмар бар.

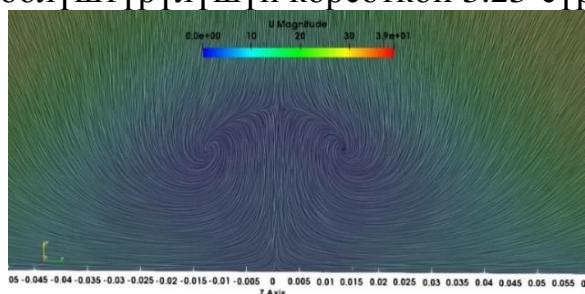
Эсептөөлөр көрсөткөндөй, келе жаткан агымдын ылдамдыгы дөңсөөнүн чокусуна жакындаган сайын көбөйөт жана максималдуу мааниси 39 м/сек жетет, бул максималдуу кирүү ылдамдыгы  $u_{max} = 27.5$  м/с нан болжол менен 42% га жогору (3.22г-сүрөттү караңыз).



3.22г-сүрөт – Симметрия тегиздигиндеги ылдамдык модулуунун талаасы,  $z=0$

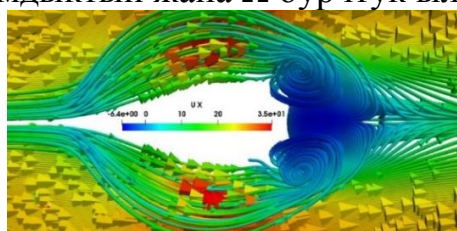
Башкача айтканда, дөңсөөнүн чокусуна жакындаган сайын шамалдын тездеши орун алат. Ошондуктан электр зымдары, катуу шамалдан сактануу үчүн дөңдүн чокусуна коюлбашы керек.

Жалпысынан алганда, дөбөнүн артында татаал үч өлчөмдүү рециркуляция аймагы бар агым пайда болот. Жогоруда айтылгандар  $x=0.12\text{м}$  чекит аркылуу өткөн  $yOz$  тегиздигинде ылдамдык модулуунун изосызыктарынын бөлүштүрүлүшүн көрсөткөн 3.23-сүрөттө ачык көрүнүп турат.

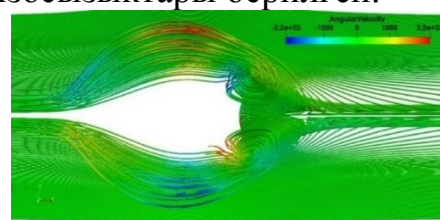


3.23-сүрөт  $-x=0.12\text{м}$  болгондо кесилиштеги ылдамдык модулуунун изосызыктары

Бул жерден  $z=0$  тегиздигине салыштырмалуу эки карама-каршы багытта айлануучу эки симметриялуу куюндун пайда болушун көрүүгө болот, бул төмөнкү 3.24аб-сүрөттөрүнөн ачык көрүнүп турат, мында  $U_x$  узунунан ылдамдыктын жана  $\Omega$  бурчтук ылдамдыктын изосызыктары берилген.

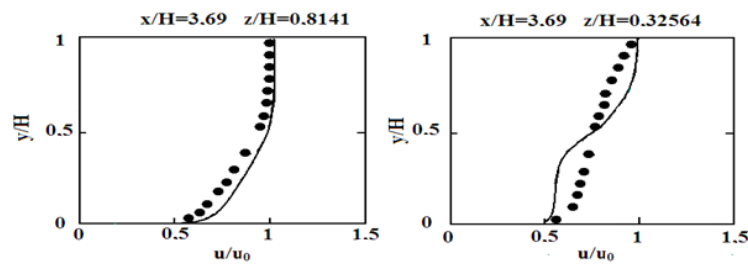


3.24а-сүрөт –  $U_x$  узунунан ылдамдыктын изосызыктары (жогортон көрүнүш)



3.24б-сүрөт– Бурчтук ылдамдыктын  $\Omega$  изосызыктары (жогортон көрүнүш)

Сандык натыйжаларды  $x/H=3.69$  тегиздигиндеги тиешелүү эксперименттик маалыматтар менен салыштыруу 3.25-сүрөттө көрсөтүлгөн. Маркерлер эксперименттик өлчөөлөрдү, ал эми сызык сандык натыйжаларды билдирет. Сандык маалыматтардын өзгөрүүсүнүн мүнөзү жалпысынан тиешелүү эксперименттик маалыматтардын өзгөрүүсүнүн мүнөзү менен дал келет.



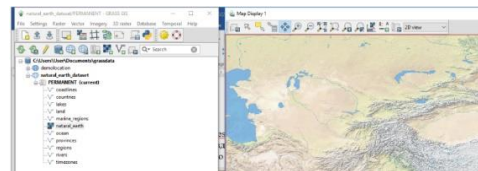
3.25-сүрөт – Узунунан кеткен ылдамдыктын профилдери

Алынган сандык маанилер каралган 5 турбуленттик моделдин ичинен RNG k-ε-модели гана агымдын ажыроо (6.25%) жана кайра кошулуу (4.76%) чекиттери боюнча эң жакшы натыйжаны берерин көрсөттү, ал эми эки (k-ε-модел, Спаларт-Аллмарас модели) моделдеринде  $z=0$  симметрия тегиздигинде агымдын ажыроосу жана кайра кошулуусу таптакыр жок.

**№4-маселе. Биринчи бөлүм. Үч өлчөмдүү эсептөө торчосун түзүү.** Маселенин биринчи бөлүгү аймактын татаал рельефин эске алуу менен үч өлчөмдүү эсептөөчү торду түзүү болуп саналат. Мисал катары Кыргызстандын Ош шаарындагы Сулайман тоосу каралат (3.1а-сүрөт).



3.1а-сүрөт – Сулайман тоосу, Ош ш., Кыргызстан



3.1б-сүрөт – GRASS GIS 8.0 программасынын чөйрөсү

**Үч өлчөмдүү структураланбаган торду түзүүнүн алгоритми жана ыкмасы.** Коюлган маселени чечүүнүн бүт алгоритми төмөнкү кадамдардан турат. 1. GRASS GIS программасынын чөйрөсүндө биз Оштун Сулайман тоосунун картасын тандайбыз (3.1б-сүрөт). 2. Андан кийин, бул программанын чөйрөсүндө Сулайман тоосунун жанындагы рельеф DEM - *digital elevation model* форматында сакталат. 3. Андан кийин Python тилинде жазылган программабыздын жардамы менен DEM форматындагы топографиялык маалыматтар STL-стереолитографиялык форматка которулат. STL форматындагы топографиялык маалыматтар ASCII текст форматы катары сакталат жана OpenFOAM 7.0 программасынын *constant/triSurface* папкасында сакталат. 4. Андан кийин, биздин *snappyHexMeshDict* программабызды колдонуп, *snappyHexMesh* утилитасы Сулайман тоосунун үч өлчөмдүү эсептөө торлорун түзөт.

Андан ары ушундай жол менен курулган эсептик торду колдонуу менен гидродинамикалык эсептөө методдору аркылуу Сулейман тоосунун тоого жакын жердеги экологиялык зыяндуу аралашмалардын таралуу процессине тийгизген таасирин изилдөөгө болот.

**Экинчи бөлүм. Сулайман тоосунун айланасындагы агымдын эсеби.** Илимий адабияттарда Сулайман тоосунун айланасындагы агым боюнча тиешелүү эксперименталдык жана сандык маалыматтар жок болгондуктан, алынган натыйжалардын ишенимдүүлүгү төмөндөгүдөй түз текшерилет.

Биринчиден, каныккандыктын эффекти үчүн эсептөөчү тор изилденген. Эсептөөдө 4 түрдүү эсептөө торчолору колдонулган. Сулайман тоосунун айланасындагы агымда колдонулган эсептөө торлору боюнча маалыматтар 3.14-табл.да келтирилген.

3.14- таблица – Колдонулган эсептөө торлору жөнүндө маалыматтар

Торчо	Гэксаэдр	Призма	Кына сымал тетраэдры	Полиэдр	Клеткалардын саны
Mesh1	154 111	1 475	22	21 164	176 772
Mesh2	415 421	3 312	59	47 610	466 402
Mesh3	906 465	5 936	73	84 895	997 369
Mesh4	2 664 824	7 587	62	271 102	2 943 575

Экинчиден, жүргүзүлгөн системалуу эсептөөлөр көрсөткөндөй, алынган сандык натыйжалар кээде таралуу теңдеменин (2-теңдемени караңыз) конвективдик мүчөсүн дискреттөөдө колдонулган ыкмасына олуттуу көз каранды болот. Ошондуктан, бул терс факторду болтурбоо үчүн 17 түрдүү дискреттөөдө схемалары колдонулуп, тигил же бул схеманын натыйжалуулугу текшерилген. Итерациялардын саны жана эсептөө убактысы боюнча маалыматтар 3.16 -табл.да келтирилген.

3.16 - таблица – Итерациялардын саны жана эсептөө убактысы

Дискреттөө схемалары	Эсептөө торчо	Mesh1		Mesh2		Mesh3	
		Итерациялар	Убакыт	Итерациялар	Убакыт	Итерациялар	Убакыт
Centred schemes	linear	231	224.9	243	430.6	304	1786
	midPoint	219	209.7	239	385.6	303	1836
limitedVanLeer		181	132.3	219	493.4	285	1570
NVD schemes	Gamma0	221	217.8	231	548.3	296	1818
	Gamma0.5	184	183	221	514	285	1751
	Gamma1	175	163.7	210	539.6	273	1023
	SFCD	174	96.14	205	470.3	264	1003
TVD shemes	limitedCubic	192	131.1	219	584.6	283	1459
	limitedLinear	179	178.9	217	361.5	280	1532
	Minmod	171	118.1	204	338.6	262	1008
	MUSCL01	195	117.5	229	378.7	297	1112

	SuperBee	2000 тактыкка жеткен жок	1137	2000 тактыкка жеткен жок	3317	2000 тактыкка жеткен жок	7608
		255 0.5 болгондо	137.8 0.5 болгондо	350 0.5 болгондо	560.3 0.5 болгондо	458 0.5 болгондо	1657 0.5 болгондо
	vanLeer	181	100.4	219	355.9	285	1051
Upwinded schemes	QUICK	182	184.6	218	364.1	284	1140
	filteredLine2	200	174.2	230	378.5	296	1811

### 3.16 – таблицанын уландысы

	linearUpwind	119	119.9	158	309.5	199	773.3
	Upwind	119	118	158	264.3	199	726.8

Белгилей кетсек, 3.16 – табл.а келтирилген дискреттөө схемаларын колдонуу менен бардык эсептөөлөр бирдей шарттарда (чек ара шарттары, дискреттөө ыкмалары жана SATC чыгаруу, төмөн релаксациянын коэффициенттери) жүргүзүлгөн. Мында SuperBee схемасы пассивдүү аралашма теңдемесин (2) чыгарууда релаксация коэффициентинин 0.7 мааниси SIMPLE итерация процесстин монотондуу жыйналуусуна алып келбейт. Эгерде төмөнкү релаксация коэффициентин 0.7ден 0.5ке өзгөртсөк, анда итерация процесстин жыйналуусу жакшырат.

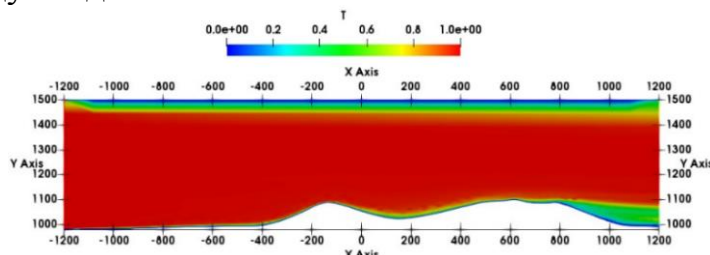
TVD схемаларынын ичинен Mesh1, Mesh2 жана Mesh3 үч сеткасындагы vanLeer жана limitedVanLeer схемалары бирдей сандагы итерацияларга алып келет - 181, 219 жана 285. Бирок, LimitedVanLeer схемасы үчүн эсептөө убактысы тиешелүү түрдө Mesh1, Mesh2 жана Mesh3 боюнча vanLeer схемасы үчүн эсептөө убактысынан 31.77%, 38.64% жана 49.38% га көп, башкача айтканда, LimitedVanLeer схемасы боюнча эсептөөлөрдүн натыйжалуулугу Mesh1, Mesh2 жана Mesh3 торлорундагы vanLeer схемасы боюнча эсептөөлөрдүн натыйжалуулугунан 31.77%, 38.64% жана 49.38% га аз.

Ушундай эле көрүнүш агымга каршы жана сызыктуу Upwind схемаларын колдонууда байкалат - Mesh1, Mesh2 жана Mesh3 үч тордогу итерациялардын саны, эки схема үчүн итерациялардын саны 119, 158 жана 199. Бирок, LinearUpwind схемасы үчүн Mesh1, Mesh2 жана Mesh3 торлорунда эсептөө убактысы шамалдан жогору турган схема үчүн эсептөө убактысынан тиешелүү түрдө 1.61%, 17.1% жана 6.4% га көбүрөөк. Каралган төрт NVD схемасынын ичинен, бир итерацияга сарпталган убакыт боюнча, SFCD схемасы эң натыйжалуу



болуп чыкты - бул жолу Mesh1, Mesh2 жана Mesh3 үч эсептөө торунда тиешелүү түрдө 0.553с, 2.294с жана 3.799с барабар болду.

Төмөндө  $z=-200\text{м}$  тегиздикте 3.31-сүрөттө пассивдүү скалярдын концентрация талаасын моделдөөнүн натыйжалары келтирилген. Шамалдын багыты солдон онду көздө багытталган.



3.31-сүрөт – Пассивдүү скалярдын концентрациясынын талаасы.

Пассивдүү аралашмалардын концентрациясы P1(-265 1058.57 -50), P2(550 1025.63 0) жана P3(120 1005.68 -280) үч таяныч чекиттерде тандалып алынган.

Андан ары 3.17-табл.да пассивдүү аралашманын таралуу теңдемесинде конвективдик терминдин дискреттөө схемасынын пассивдүү аралашманын P1, P2 жана P3 таяныч чекиттердеги концентрациясына тийгизген таасирин изилдөөнүн натыйжалары көрсөтүлгөн.

3.17-таблица – Пассивдүү аралашманын таяныч чекиттеринде концентрациясы

Чекиттер	P1	P2	P3
<b>Борборлоштурулган схемалар</b>			
linear	0.5322	0.01684	0.06456

3.17-таблицанын уландысы

midPoint	0.4491	0.02818	0.06286
<b>Агымга каршы схемалар</b>			
QUICK	0.4516	0.005418	0.05886
filteredLinare2	0.5165	0.01193	0.06092
linearUpwind	0.3626	0.313	0.06895
Upwind	0.6137	0.4438	0.1823
<b>TVD схема</b>			
limitedCubic	0.4931	0.05008	0.0713
limitedLinear1	0.5375	0.06958	0.08088
Minmod	0.5591	0.09488	0.09302
MUSCL01	0.4364	0.05804	0.06153
SuperBee	0.403	0.006198	0.04272
vanLeer	0.4913	0.04048	0.07086
limitedVanLeer	0.4913	0.04048	0.07086
<b>NVD схема</b>			

Gamma0	0.5011	0.0352	0.07188
Gamma0.5	0.5317	0.02615	0.07218
Gamma1	0.5571	0.03365	0.08224
SFCD	0.5654	0.04027	0.08548

Пассивдүү аралашмаларды ташуучу теңдемедеги конвективдик мүчөсүн дискреттөө натыйжасын изилдөө натыйжалары, жалпысынан эң жакшы натыйжаларды берген так сандык схеманын жоктугун көрсөтөт. VanLeer жана LimitedVanLeer үч таяныч чекиттеринде так бирдей пассивдүү аралашманын концентрациясынын маанилерин берери аныкталган. Эсептөөлөр көрсөткөндөй, үч таяныч пунктунун P2 жана P3 чекиттериндеги пассивдүү аралашманын концентрациясы P1 чекитиндеги концентрациядан болжолдуу түрдө төмөн. Демек, экологиялык комфорттун даражасы P1 чекитине караганда чоңураак тартип деп айтууга болот.

**КОРУТУНДУ** диссертациянын негизги жыйынтыктарын жана корутундуларын камтыйт.

5 **ТИРКЕМЕЛЕР** 2 ишке ашыруу актысын, Ош шаарындагы Сулайман тоосу үчүн үч өлчөмдүү эсептөө точосун түзүү үчүн иштелип чыккан snappyHexMeshDict программасынын текстин, пассивдүү аралашманын таралышын эсептөө үчүн passiveScalarPimpleFoam чыгаруучунун 7 программасынын комплексин, Кыргызстандын Ош шаарындагы Сулайман тоосунун айланасындагы турбуленттүү аба агымын математикалык моделдөө үчүн баштапкы маалыматтарды даярдоо боюнча программалардын комплексине Кыргызпатенттин 30.04.2022-жылдагы №743автордук укуктун күбөлүгүн жана 4 ар кандай конференцияларга катышуу сертификаттарын камтыйт.

## КОРУТУНДУ

Диссертациялык иштин негизги натыйжалары жана корутундулары болуп төмөнкүлөр саналат:

1. Агымдын орточо мүнөздөмөлөрүн жана тегиз эмес беттердин айланасындагы агымдагы пассивдүү аралашмалардын концентрациясын болжолдоо маселелери үчүн OpenFOAMда эки параметрдүү турбуленттүү моделдердин эң мыкты стандарттуу алгоритмдери жана ыкмалары изилденген. RNGkEpsilon жана kEpsilonLopesdaCosta турбуленттик моделдерин табигый тоскоолдук - Сулайман тоосунун айланасындагы агымды моделдөө маселесинде колдонбоо боюнча практикалык сунуштар берилди.

2. Беш турбуленттик моделди колдонуу менен үч өлчөмдүү оксисимметриялык дөңсөөнүн айланасындагы агымды сандык моделдөөдө, эсептөөлөр көрсөткөндөй, дөңсөөнүн чокусуна жакындаган сайын келе жаткан агымдын ылдамдыгы өсүп, 39 м/с максималдуу мааниге жетет, бул максималдуу киргизүү  $u_{max} = 27.5$  м/с ылдамдыгынан болжол менен 42% га чоңураак. Башкача

айтканда, дөңсөөнүн башында шамалдын ылдамдашы байкалат, ошондуктан чоң шамал жүктөрүн болтурбоо үчүн бул жерлерге электр линияларын коюуга болбойт.

3. Ош шаарынын Сулайман тоосундагы табигый тоскоолдуктун айланасындагы агымдын көйгөйлөрү үчүн үч өлчөмдүү структураланбаган эсептөөчү торду автоматтык түрдө түзүүнүн алгоритми жана ыкмасы сунушталды.

4. Курчап турган чөйрөгө зыяндуу аралашмалардын таралышына табигый тоскоолдуктун таасири проблемасын сандык ишке ашырууга багытталган программалык каражаттардын комплекси (passiveScalarPimpleFoam, GRASS GIS8, Python, Gnuplot) негизделди жана сунушталды. Мезгилдүү дөңсөөнүн айланасындагы туруксуз аба агымын сандык моделдөө учурунда пассивдүү аралашма концентрациясы биринчи дөңсөөнүн шамалдаган тарабына салыштырмалуу экинчи дөңсөөнүн шамалдаган тарабында 4.5% га төмөн экендиги аныкталган.

5. Биринчи жолу пассивдүү аралашманын таралышын эске алуу менен Ош шаарынын Сулайман тоосундагы табигый тоскоолдуктун айланасындагы агымдын стационардык процессинин сандык эсеби жүргүзүлдү. VanLeer жана LimitedVanLeer үч таяныч пункттарында пассивдүү аралашманын концентрациясынын так бирдей маанилерин берери аныкталды. Каралган төрт NVD схемалардын ичинен бир итерацияга кеткен убакыт боюнча SFCD схемасы эң эффективдүү болуп чыкты – бул убакыт Mesh1, Mesh2 жана Mesh3 үч эсептөө торлорунда тиешелүүлү түрдө 0.553с, 2.294с жана 3.799с га барабар болгон. Эсептөөлөр көрсөткөндөй, үч таяныч пунктунун P2 жана P3 чекиттериндеги пассивдүү аралашманын концентрациясы P1 чекитиндеги концентрациядан болжолдуу бир тартипке төмөн. Демек, экологиялык комфорттун даражасы P1 чекитине караганда бир тартипке чоңураак деп айтууга болот.

## ПРАКТИКАЛЫК СУНУШТАР

Бул илимий-изилдөө ишинин жүрүшүндө каралып жаткан агым классынын мүнөздүү белгилерин кандайдыр бир деңгээлде чагылдырган жетиштүү сандагы тесттик маселелер каралды. Салыштыруу үчүн тесттик тапшырмалар мүмкүн болушунча өз ара байланышта жана татаалдыгы жогорулоо менен тандалып алынган.

$C_p$  басым коэффициентинин үчүн OpenFOAM, CFL3D жана FUN3D пакеттерин колдонуу менен эки өлчөмдүү жакындоодо алынган сандык маалыматтар дөңсөөдөн кийинки рециркуляция зонасында кичинекей айырмачылыктарды кошпогондо, иш жүзүндө дал келет. Бирок,  $C_f$  көтөрүү коэффициенти боюнча айырмачылыктар RNGkEpsilon жана kEpsilonLopesdaCosta турбуленттик моделдери үчүн олуттуу болуп саналат - бул эки модель тең көтөрүү коэффициентинин ашыкча маанилерин берет. Ошондуктан Оштогу Сулайман

тоосунун табигый тоскоолдугунун айланасындагы агымды моделдөөдө RNGkEpsilon жана kEpsilonLopesdaCosta турбуленттүү моделдерин колдонбоо сунушталат.

Үч өлчөмдүү окко сисимметриялык дөңсөөнүн айланасындагы агымдын эсептөөлөрү көрсөткөндөй, келе жаткан агымдын ылдамдыгы дөңсөөнүн чокусунна жакындаган сайын көбөйөт жана 39 м/с максималдуу мааниге жетет, бул максималдуу кирүү ылдамдыгы  $u_{max} = 27.5$  м/с дан болжол менен 42% көбүрөөк. Башкача айтканда, дөңсөөнүн чокусунда шамалдын ылдамдашы байкалат, ошондуктан чоң шамал жүктөрүн болтурбоо үчүн бул жерлерге электр чубалгыларын орнотпоо сунушталат.

Сулайман тоосунун пассивдүү аралашмалардын таралышына тийгизген таасирин эсептөөлөрдүн жыйынтыгы көрсөткөндөй, үч таяныч чекитинин ичинен P2 жана P3 чекиттериндеги пассивдүү аралашмалардын концентрациясы P1 чекитиндеги концентрациядан болжол менен бир тартипке төмөн. Демек, экологиялык комфорттун даражасы P1 чекитине караганда бир тартипке жогору деп айтууга болот.

Диссертациялык иштин жыйынтыгы Кыргыз Республикасынын Жаратылыш ресурстары, экология жана техникалык көзөмөл министрлигинин Ош облустук башкармалыгынын ишмердүүлүгүнө киргизилген, ишке ашыруу боюнча акт түзүлгөн. Диссертациянын материалдарынын бир бөлүгү ОшМУнун маалыматтык системалар жана программалоо кафедрасынын семестрдик атайын курсуна киргизилген.

## **ДИССЕРТАЦИЯНЫН ТЕМАСЫ БОЮНЧА ЖАРЫК КӨРГӨН ЭМГЕКТЕРДИН ТИЗМЕСИ**

1. **Турганбаева А.Б.** Моделирование турбулентных течений в открытых разветвлённых каналах. [Текст] /Жайнаков А.Ж., Курбаналиев А.Ы., Турганбаева А. Б., Калеева А. К. // Вестник Кыргызского государственного технического университета им. И. Разакова, Бишкек, Кыргызстан, №34, 2015, с. 180-183. – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кирүү режими: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26455467>

2. **Турганбаева А.Б.** Адаптация и проверка решателей OpenFOAM для моделирования течений, связанных с экологической безопасностью. [Текст] /Жайнаков А.Ж., Курбаналиев А.Ы., Турганбаева А.Б., Калеева А. К.// Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Разакова. 2016. т. 39. № 1 с.324-328. – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кирүү режими: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27187847>

3. **Турганбаева А.Б.** Моделирование обтекания местности со сложным рельефом в пакете OpenFOAM. [Текст]/Курбаналиев А.Ы., Осмонбаев М.Ч., Турганбаева А.Б. // Известия Ошского технологического университета им.

академика М.М. Адышева. 2018г. №1-1 с.122-127. – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кируу режими: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37351803>

4. **Турганбаева А.Б.** Моделирование обтекания трёхмерного холма в пакете OPENFOAM. [Текст]/Жайнаков А.Ж., Курбаналиев А.Ы., Осмонбаев М.Ч., Турганбаева А.Б.//Известия Кыргызского государственного технического университета им.И.Разакова. 2018г. №3 (47) с.468-477. – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кируу режими: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36329025>

5. **Турганбаева А.Б.** Численное моделирование обтекания цилиндра вязким потоком. [Текст]/Урманбетов Р.Дж., Дыйканова А.Т., Турганбаева А.Б. //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. Учредители: ОО «Общественная Академия ученых Кыргызской Республики». Бишкек. 2018г. №2 с.16-19. – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кируу режими: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35203500>

6. **Турганбаева А.Б.** Использование утилиты snappyHexMesh для генерации расчетной сетки. [Текст]/Жайнаков А.Ж., Курбаналиев А.Ы., Осмонбаев М.Ч., Турганбаева А.Б. // в сборнике: Проблемы оптимизации сложных систем. Материалы XIV Международный Азиатской школы-семинар.2018г. Издательство: Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК 2018г. с.219-227. – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кируу режими: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37014651>

7. **Турганбаева А.Б.** Алгоритм моделирования обтекания двумерных отрывных течений в пакете OpenFOAM. [Текст]/Жайнаков А.Ж., Калмурзаева А.Т., Турганбаева А.Б. // Известия Кыргызского государственного технического университета им.И.Разакова. 2019г. №2-1(50) с.340-344. – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кируу режими: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39537360>

8. **Turganbaeva A. B.** Turbulent Flow Modelling using open source packages OpenFOAM and Paraview [Текст] /Kurbanaliev A.Y., Oichueva B. R., Kalmurzaeva A. T., Turganbaeva A. B. // 5<sup>th</sup> International Conference on Advances in Natural and Applied Sciences. September 21-23, Agri, Turkey. Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кируу режими: [https://drive.google.com/file/d/1AoYVR21NPQSyfHvnCILs2\\_Mb3048UBu7/view](https://drive.google.com/file/d/1AoYVR21NPQSyfHvnCILs2_Mb3048UBu7/view)

9. **Турганбаева А.Б.** Численное моделирование турбулентного обтекания горы Сулайман [Текст]/Осмонбаев М.Ч., Турганбаева А.Б. // в сборнике: Проблемы оптимизации сложных систем. Материалы XIV Международный Азиатской школы-семинар.2019г. Издательство: Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК 2019г. с.59-63. – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кируу режими: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41540170>

10. **Turganbaeva A. B.** Simulation of turbulent flow over the top of a hill [Текст]/Kurbanaliev A.Y., Turganbaeva A.B., Berdibekova K.T., Bokoev K.A. // Scopus: IOP Publishing Conference Series Journal of Physics: Conference APITECH III 2021, 2094(2), 022045 – Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кирүү режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47965948>

11. **Турганбаева А.Б.** Численное моделирование распространения вредных выбросов над двумерной модели местности [Текст]/ Курбаналиев А. Ы., Турганбаева А.Б., Бердибекова Т.К., Матисаков Ж.К.// Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. – 2021. – № 4 (74). – с. 564-569.– Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кирүү режими: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48073207>

12. **Турганбаева А.Б.** Набор программ подготовки начальных данных для математического моделирования турбулентным течения воздуха вокруг горы Сулайман г. Ош, Кыргызстан. [Текст] / Турганбаева А.Б., Курбаналиев А.Ы./ Кыргыз патент. Авторское свидетельство. Программа для ЭВМ. 2022г., №743, 30.04.2022. Ошол эле: [Электрондук ресурс]. – Кирүү режими: <http://new.patent.kg/wp-content/uploads/2022/08/%D0%98%D0%9C-7-2022.pdf>

**Турганбаева Акпари Балтабаевнанын 05.13.18-математикалык моделдөө, сандык ыкмалар жана программалык комплекстер адистиги боюнча физика-математика илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алуу үчүн «Татаал беттин үстүндөгү агымдарды математикалык моделдөөнүн алгоритмин түзүү» темасында диссертациясынын**

#### **РЕЗЮМЕСИ**

**Ачкыч сөздөр:** тоскоолдуктун айланасындагы агым, экологиялык жактан зыяндуу пассивдүү аралашма, OpenFOAM, GRASS GIS8, Python, snappyHexMeshDict.

**Изилдөө объектиси** болуп үч өлчөмдүү турбуленттүү атмосфералык агымдар саналат.

**Изилдөөнүн предмети** – экологиялык зыяндуу аралашмалардын таралышына табигый тоскоолдуктун тийгизген таасирин сандык изилдөө.

**Изилдөөнүн максаты** болуп OpenFOAM пакетинин алкагында Ош шаарындагы Сулайман тоосунун айланасындагы агымдын мисалын колдонуу менен астыңкы беттин үстүндөгү структураланбаган торлордо татаал үч өлчөмдүү турбуленттүү агымдарды моделдөө үчүн эсептөө алгоритмдерин жана технологияларын иштеп чыгуу саналат.

**Изилдөө ыкмалары жана жабдуулар.** Математикалык моделдөө, эсептөө гидродинамикалык теңдемелерин сандык чыгаруу, OpenFOAM программалык пакетинин алкагында персоналдык компьютерлерди колдонуу менен эсептөө эксперименти.

**Алынган натыйжалар жана алардын жанылыгы.**

○ Айлана-чөйрөгө зыяндуу аралашмалардын жайылышына табигый тоскоолдуктун таасири маселесин сандык түрдө ишке ашырууга багытталган программалык каражаттардын комплекси (passiveScalarPimpleFoam, GRASS GIS8, Python, Gnuplot) сунушталган жана негизделген. Мезгилдүү дөңсөөнүн айланасындагы стационардык эмес аба агымын сандык моделдөө учурунда пассивдүү аралашма концентрациясы биринчи дөңсөөнүн жээк тарабына салыштырмалуу экинчи дөңсөөнүн шамалдаган тарабында 4,5% га төмөн экендиги аныкталган.

○ Биринчи жолу пассивдүү аралашмалардын таралышын эсепке алуу менен Ош шаарынын Сулайман тоосундагы табигый тоскоолдуктун айланасындагы стационардык агымдын сандык эсеби жүргүзүлдү. Эсептөөлөр көрсөткөндөй, үч таяныч пунктунун P2 жана P3 чекиттериндеги пассивдүү аралашманын концентрациясы болжол менен P1 чекитиндеги концентрациядан төмөнкү даражага барабар. Демек, экологиялык комфорттун даражасы P1 чекитине караганда бир тартипке жогору деп айтууга болот.

**Колдонуу даражасы же колдонуу боюнча сунуштар.** Диссертациялык иштин натыйжалары шаар курууда далилдүү чараларды иштеп чыгуу үчүн пайдаланылышы мүмкүн.

**Колдонуу чөйрөсү:** Диссертациялык иштин натыйжалары айлана-чөйрөнүн метеорологиялык параметрлери боюнча фактылык маалыматтар болгон учурда атмосферага булгоочу заттардын чыгарылышын көзөмөлдөөнүн аймактык автоматташтырылган системасын иштеп чыгууда колдонулушу мүмкүн.

## РЕЗЮМЕ

**диссертации Турганбаева Акпари Балтабаевна на тему: «Создание алгоритма для математического моделирования течений над сложной подстилающей поверхностью» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18-математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.**

**Ключевые слова:** обтекание неровных поверхностей, экологически вредная пассивная примесь, OpenFOAM, GRASS GIS8, Python, snappyHexMeshDict.

**Объектом исследования** является трехмерный турбулентные атмосферные течения.

**Предметом исследования** является численное исследование влияния естественного препятствия на распространение экологически вредных примесей.

**Цель работы** заключается в разработке вычислительных алгоритмов и технологий для моделирования сложных трехмерных турбулентных течений на неструктурированных сетках над подстилающей поверхностью на примере обтекания горы Сулайман, г. Ош в рамках пакета OpenFOAM.

**Методы исследования и аппаратура.** Математическое моделирование, численное решение уравнений вычислительной гидродинамики, вычислительный эксперимент с применением персональных ЭВМ в рамках пакета программ OpenFOAM.

### **Полученные результаты и их новизна.**

○ Предложен и обоснован комплекс программных средств (passiveScalarPimpleFoam, GRASS GIS8, Python, Gnuplot), ориентированный на численную реализацию задачи влияния естественного препятствия на распространение экологически вредных примесей. Установлено, что концентрация пассивной примеси меньше на 4.5% в наветренной стороне второго холма по сравнению с подветренной стороной первого холма в случае численного моделирования нестационарного обтекания периодического холма воздушным потоком.

○ Впервые проведен численный расчет процесса стационарного обтекания естественного препятствия горы Сулайман, г. Ош с учетом распространения пассивной примеси. Расчеты показывают, что из трех реперных точек концентрация пассивной примеси в точках P2 и P3 примерно на порядок меньше значений концентрации в точке P1. Поэтому, можно утверждать, что степень экологической комфортности на порядок выше, чем в точке P1.

**Степень использования или рекомендации по использованию.** Результаты диссертационной работы могут быть использованы для разработки научно обоснованных мероприятий при градостроительстве.

**Область применения.** Результаты диссертационной работы при наличии фактической информации о метеорологических параметрах окружающей среды могут быть использованы в разработке территориальной автоматизированной системы контроля выбросов загрязнителей в атмосферу.

### **SUMMARY**

**of the dissertation of Turganbayeva Akpari Baltabayevna on the topic: "Creation of an algorithm for mathematical modeling of flows over a complex underlying surface" for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences, specialty 05.13.18-mathematical modeling, numerical methods and software packages.**

**Keywords:** flow around uneven surfaces, environmentally harmful passive scalar, OpenFOAM, GRASS GIS8, Python, snappyHexMeshDict.

**The object** of the study is a three-dimensional turbulent atmospheric flow.

**The subject** of the study is a numerical study of the effect of a natural obstacle on the spread of environmentally harmful impurities.

**The aim** of the work is to develop computational algorithms and technologies for modeling complex three-dimensional turbulent flows on unstructured grids above the underlying surface using the example of the flow around Mount Sulaiman, Osh in the frame of the OpenFOAM package.

**Research methods and equipment.** Mathematical modeling, numerical solution of computational fluid dynamics equations, computational experiment using personal computers within the OpenFOAM software package.

**The results obtained and their novelty.**



○ A set of software tools (passiveScalarPimpleFoam, GRASS GIS8, Python, Gnuplot) is proposed and justified, focused on the numerical implementation of the problem of the influence of a natural obstacle on the spread of environmentally harmful impurities. It was found that the concentration of passive impurity is 4.5% less in the windward side of the second hill compared to the leeward side of the first hill in the case of numerical simulation of non-stationary flow around a periodic hill by air flow.

○ For the first time, a numerical calculation of the process of stationary flow around the natural obstacle of Mount Sulaiman, Osh, taking into account the spread of passive admixture, was carried out. Calculations show that of the three reference points, the concentration of the passive impurity at points P2 and P3 is about an order of magnitude less than the concentration values at point P1. Therefore, it can be argued that the degree of environmental comfort is an order of magnitude higher than at point P1.

**Degree of use or recommendations for use.** The results of the dissertation work can be used to develop scientifically based measures in urban planning.

**Scope of application.** The results of the dissertation work, if there is actual information about the meteorological parameters of the environment, can be used in the development of a territorial automated system for controlling emissions of pollutants into the atmosphere.