И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалыкуниверситети
Б. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян университети

Д 01.22.652 Диссертациялык кеңеши

Кол жазма укугунда
УДК 51963

Калбекова Махбурат Жамшитбековна

Турбуленттик агымдарды калкымалуулук эффектин эске алуу менен сандык моделдештирүү

01.02.05 – суюктуктун, газдын жана плазманын механикасы адистиги

физика-математика илимдеринин кандидаты
окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн
жазылган диссертациянын
автореферати

Бишкек - 2023

Диссертациялык иш Ош мамлекеттик университетинин Жалпы физика жана физиканы окутуунун усулдугу кафедрасында аткарылды

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

Расмий оппоненттери: Физика-математика илимдеринин доктору, Аль-Фараби атындагы КазУУнин "Математикалык жана копьютердик моделдөө" кафедрасынын доценти Бекетаева Асель Орозалиевна

Физика-математика илимдеринин кандидаты, К.Тыныстанов атындагы Ысык-Көл мамлекеттик университетинин Маалыматтык системалар жана технологиялар кафедрасынын башчысы, Байболотов Бакытбек Андабекович

Жетектөөчү мекеме: "К.И.Сатпаев атындагы Казак улуттук изилдөө техникалык университети", Казакстан Республикасы, 050043, Алмата ш., көч. Сатпаева 22.

Диссертацияны коргоо 2023-жылдын ...-..... саат ..... Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинде илимдин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн диссертацияларды коргоо боюнча Д 01.22.652 диссертациялык кеңешинин отурумунда болот. И.Раззакова жана Кыргыз-Орус Славян университети. Б.Ельцин дареги боюнча: 720044, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, Ч.Айтматов пр., 66, КМТУ. И.Раззакова, (КАЗ, кабинет 1/257).

Диссертация менен Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин китепканаларынан таанышууга болот. И.Раззаков 720044, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, Ч.Айтматов пр., 66 жана КРСУ дареги боюнча. Б. Ельцин дареги боюнча: 720000, Кыргыз Республикасы, Бишкекш., көч. Киев 44 жана www.vak.kg.

Автореферат тийиштүү тараптарга 2023-жылдын -....нде таратылып берилген.

Диссертациялык кеңештин окумуштуу катчысы, физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент Кожошов Т.Т.

ИЗИЛДӨӨНҮНҮН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу. Экологиянын азыркы проблемаларына болгон кызыгуунун улам өсүп жаткандыгынын натыйжасында курчап турган чөйрөдөгү жылуулук жана массалык ташуу механизмдерин изилдөөгө күчөтүлгөн көңүл бурулууда.

Атмосферанын чек аралык катмарындагы жана суу, чөйрөсүндөгү агымдар тыгыздыгы боюнча (температурасы) көбүнесе стратификацияланган чоңдуктардын ташылуусуна калкымалуулук олтуттуу таасир этет.

Курчап турган чөйрөнүн проблемаларынан сырткары, индустриалдык жылуулук жана масса алмашуу жабдууларын конструкциялоонун практикалык маселелерди чечүүдө, калкымалуулук эффектиси маанилүү болуп эсептелген жерде бул эффекттердин таасирин түшүнүү жана түшүндүрүү эң зарыл болуп чыга келет.

Курчап турган чөйрөдө жылуулукту жана массаны ташууну жайылтуу проблемалары С. В. Патанкардын (1984), С. С. Кутателадзенин (1962), И. А. Белов, С. А. Исаевдин (2001), С. В.Патанкардын (2003), Ю. А. Быстров, С. А. Исаев, Н. А. Кудрявцев, А. И. Леонтьевдин (2005), А. А. Горбунов, С. А. Никитин, В. И. Полежаевдин (2007) жана башкалардын эмгектеринде каралган.

Жабык имараттардын ичиндеги табигый конвекциялык (жеткирилүүчү) агымдар күн коллекторундагы теле берүү, имараттардагы абанын агымы, электрондук түзүлүштөрдөгү муздап калуучу сыяктуу инженерлер үчүн кызыгууну жаратуучу көп сандаган тиркемелерди моделдөө үчүн анын потенциалынын айынан көптөгөн изилдөөчүлөрдүн көңүлүн өзүнө бурган.

Диссертациянын темасынын илимий программалар менен же илимий изилдөө иштери менен байланышы. Иш, изилдөөчүнүн өздүк жекече демилгесинин негизинде аткарылган.

Изилдөөнүн максаты - OpenFOAM пакетинин алкагында калкымалуулук жана радиациялык жылуулук өткөрүмдүүлүктүн таасирин эске алуу менен изотермикалык эмес турбуленттүү газ агымдарын моделдөөчү моделди өркүндөтүү.

Коюлган максатка жетүү үчүн төмөнкү маселелер чечилди:

1. Колдонулуп жаткан пакеттин мүмкүнчүлүктөрүн текшерип көрүү аркылуу калкыма, вентиляция жана радиациялык жылуулук өткөрүү процесстерин моделдештирүү.
2. Калкымалуулуктун эффектин эске алуу менен ар түрдүү аспектик (салыштыруу) катыштар менен кавернадагы турбуленттик агымдарды моделдештирүү.
3. Радиациялык жылуулук алмашууну эске алуу менен бөлмөнүн моделиндеги турбуленттик агымдарды моделдештирүү.
4. Жылуулук алмашууну жана вентиляцияны эске алуу менен Жалпы физика жана физиканы окутуунун усулу кафедрасынын имаратындагы

жылуулук комфортун эсептеп чыгуу.

Иштин алынган натыйжаларынын илимий жаңылыгы.

- Температуралык профилдердин эсептелген маалыматтары менен ылдамдыктын вертикалдык компонентинин ортосунда 28.6:1 аспектин катышы, кавернаны моделдөө эксперименти менен канааттандырарлык макулдашуу түзүлдү. Бирок, Рэлейдин санынын $Ra=8.6\times10^5$ тен $Ra=1.43\times10^6$ га чейин өсүүсү туура тактыгынын 0.6% начарлашына алып келет.
- Кавернадагы конвекцияны 5:1 аспекттин катышы менен моделдөө, муздак жана ысык дубалдардын жанындагы эксперимент менен орточо агымдын мүнөздөмөлөрүнүн профилдерин салыштырып, 1.9%, 3.5%, 2.6% жана 1.3%, 2.2%, 1.7% чегинде максималдуу четтөө каталарын берери көрсөтүлгөн.
- Бөлмөнү пол аркылуу жылытуу моделин практикалык колдонуу сан жагынан негизделген. Орточо узундугуна карата эки симметриялык куюндун пайда болушу аныкталды. Координаттары (x=3,69, y=3, z=1) жана (x=6,31, y=3, z=1) бир чекитте жайгашкан карама-каршы багытта айлануу болгон.
- Биринчи жолу жалпы физика жана ФОУ кафедрасынын имараттарында жылуулук комфортунун сандык эсеби жүргүзүлдү. Кирүүчү чектин вертикалдык координатасынын z=0.5мге чейин төмөндөшү (x=2, y=1.5, z=1м) чекиттеги абанын жашынын эки эседен ашык жогорулашына алып келери аныкталган.

Алынган жыйынтыктардын практикалык баалуулугу. Берилген диссертациялык ишти аткарууда алынган натыйжалар вентиляциянын, байланышкан жылуулук алмашуунун жана радиациянын, калкымалуулук эффекттерин эске алуу менен турбуленттик ички агымдарды математикалык моделдөө методуна белгилүү өлчөмдө салым кошушат.

Жылуулук алмашуунун жана радиациянын түрдүү тапшырмаларында OpenFOAM пайдаланылган ачык пакетин моделдөөнүн бардык алгоритмин толугу менен так документтештирүүнү өзгөчө белгилей кетүү абзел. Ошондой эле аларды магистранттар, жогорку курстун студенттери жана тийиштүү адистиктердин аспиранттары үчүн атайын курс катары окуу процессинде пайдаланууга мүмкүн болот.

Диссертациянын коргоого коюлуучу негизги жоболору:

- Вентиляция, жылуулук алмашуу жана радиация процесстерин эске алуу менен газдын стационардык турбуленттүү агымдарын моделдөө үчүн buoyantSimpleFOAM стандарттык чечүүчүсүнүн мыктыланган варианты менен моделдөөнүн натыйжалары.
- Имараттын жылуулук абалынын - ылдамдык талааларынын жана температуранын бөлүштүрүлгөн параметрлеринин негизинде имараттын жылуулук режимин баалоонун иштелип чыккан методу.

Илимий жоболордун, натыйжалардын (тыянактардын) жана рекомендациялардын ырастыгы (төмөндөгүлөр менен) тастыкталат(камсыздалат): тапшырманын корректүү коюлушу, азыркы(заманбап) эсептөө системасынын жетишкендиктери, сандык методдордун, математикалык моделдөөнүн жана программалоонун

методдорун негиздүү пайдалануу, өткөрүлгөн эсептик эксперименттердин жетиштүү көлөмү жана алынган сандык натыйжаларды салыштыруу жана ылайыктуу эксперименттик жана эсептик берилгендер менен камсыздалат.

Изденүүчүнүн жеке салымы. Диссертация автор тарабынан жүргүзүлгөн өз алдынча изилдөөнүн натыйжасы болуп саналат. Автордун жеке салымы жумушту аныктоодо жана анын максатын коюуда, максатка жетүү ыкмаларын тандоодо, изилдөө жүргүзүүгө, алынган натыйжаларды талдоо жана корутундуларды түзүүдө, макалаларды жарыялоодо аныкталган. Жыйынтыгын талкуулоого, илимий жетекчи ф-м.и.д, доцент Курбаналиев А.Ы., ф-м.и.д, профессор И. Ташполотов, профессор Сопуев А. катышышты.

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

- Профессор С.А.Абдрахмановдун 80 жылдыгына арналган «Колдонмо механика жана инновациялык технологиялар» Эл аралык илимий конференциясы, 12-январь 2023-жыл, КМТУ. И.Раззакова, Бишкек, Кыргыз Республикасы.
- III Эл аралык илимий конференция MIP: Engineering-III 2021: Модернизация, Инновация, Прогресс: Материал таануу, Механика жана автоматташтыруу инженериясындагы алдыңкы технологиялар. 29-30-апрель, 2021-жыл, Красноярск, Россия.
- Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын академиги, физика-математика илимдеринин доктору, профессор Жайнаков Аманбектин 80 жылдыгына арналган “Илимдеги жана тоо-кен, техникалык билим берүүдөгү маалыматтык технологиялар жана математикалык моделдөө” эл аралык илимий конференциясы, Кыргызстан, Бишкек, 06-08-октябрь, 2021-жыл.
- XIV, XV Эл аралык Азия мектеби-семинар «Татаал системаларды оптималдаштыруу маселелери». «Отел Евразия» пансионаты, Ысык-Көл, Кыргыз Республикасы, 2018-жылдын 20-июлунан 31-июлуна чейин, Академгородок, Новосибирск, Россия, 26-30-август 2019-жыл.
- Кыргыз Республикасынын Геологиялык кызматынын 80-жылдыгына арналган “Геологиянын, тоо ишинин жана билим берүүнүн актуалдуу проблемалары жана перспективалары” Бишкек, 2018-ж.
- Республикалык илимий-практикалык конференция «Билим берүү жана илимдеги физика-техникалык проблемалар», М.М.Адышев атындагы Ош технологиялык университети, Ош, Кыргызстан, 18-19-май, 2018-жыл.

Диссертациянын жыйынтыктарынын басылмаларда чагылдырылышынын толуктугу.

Изилдөөнүн негизги жыйынтыктары 11 илимий макалада жана 3 автордук күбөлүктө, анын ичинде Скопус (2), РИНЦ (3) маалымат базасына кирген Кыргыз Республикасынан тышкары илимий журналдарда басылып чыккан.

Диссертациянын структурасы жана көлөмү. Диссертация киришүүдөн, 3 баптан, корутундудан, практикалык рекомендациялардан, библиографиядан жана тиркемелерден турат. Эмгекте 135 барак текст, 61 сүрөт, 23 таблица, 88 библиографиялык шилтеме жана 4 колдонмолор бар.

Эмгек Ош мамлекеттик университетинде аткарылды. Автор өзүнүн жетекчиси ф.-м.и.д., доцент А.Ы.Курбаналиевге, Жалпы физика жана физиканы окутуунун усулу кафедрасынын башчысы, п.и.к., доцент М.М.Жумановага жана Ош мамлекеттик университетинин ректору ф.-м.и.д., профессор К.Г.Кожобековго бул иштин ийгиликтүү аткарылышы үчүн жагымдуу шарттарды түзүп беришкендиктери үчүн жана ар тараптуу колдоо көрсөткөндүктөрү үчүн ыраазычылык билдирүүнү өзүнүн оңтойлүү милдети деп эсептейт.

Ар кандай конференцияларда жана семинарларда диссертант, физика-математика илимдеринин доктору, профессор М.Ж.Жаманбаев менен баарлашууга мүмкүнчүлүк алды жана бир катар сын-пикирлери жана көптөгөн пайдалуу кеңештерине ыраазычылык билдирет.

Автор электрондук дарек боюнча mkalbekova@list.ru, айтылган ар кандай каалоолорду жана пикирлерди туура түшүнүү менен кабыл алат.

ДИССЕРТАЦИЯНЫН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

Киришүүдө теманын актуалдуулугу негизделип, изилденип жаткан маселенин коюлушу, изилдөөнүн максаттары жана милдеттери формулировкаланып, эмгектин илимий жаңылыгы жана практикалык мааниси көрсөтүлдү. Кысылбоочу суюктуктун агымдарын, алардын артыкчылыктарын жана кемчиликтерин моделдөөдө азыркы мамилелер талкууланат. Диссертациянын түзүлүшү жана негизги мазмуну, бөлүмдөр боюнча кыскача баяндалды.

Биринчи бап – Адабияттарды карап чыгуу каверналардагы калкымалуулуктун эффектин эске алуу менен кысылбоочу суюктуктардын турбуленттүү агымдарын моделдөөнүн заманбап усулдары боюнча кароо болуп өткөн. Диссертациянын темасы менен байланышкан башка авторлордун натыйжалардын жана жеткиликтүү илимий адабияттын анализи өткөрүлдү.

Экинчи бап «Методология жана изилдөө ыкмалары» OpenFOAM пакетинин чектеринде контролдук көлөмдөрдүн ыкмаларынын негизинде жалпыланган өзгөрмөлүүлүк үчүн ташуунун жалпыланган теңдемесин дискретизациялоо ыкмалары каралып чыкты.

Калкымалуулуктун эффекттерин жана радиациялык жылуулук өткөрүмдүүлүктүн таасирин эске алуу менен рециркуляция зоналары менен мейкиндиктеги турбуленттүү туруксуз ички агымдар **изилдөөнүн обьектиси** болуп саналат.

Калкуучулуктун эффектин эске алуу менен турбуленттүү стационардык эмес агымдарды сан жагынан моделдөө **изилдөөнүн предмети** болуп саналат.

Бөлмөнүн жылуулук чөйрөсүнүн эргономикасына калкымалуулук эффектинин таасирин сан жагынан моделдөө **изилдөөнүн предмети** болуп саналат

Каралуучу стационардык тапшырманын математикалык модели Навье-Стокстун теңдемелеринин системасында негизделген, ага импульсту жана энтальпияны которуштуруунун үзгүлтүксүздүк теңдемеси кирет.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \boldsymbol{u}) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho \boldsymbol{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \boldsymbol{u}\boldsymbol{u}) = -\nabla p + \rho \vec{\boldsymbol{g}} \beta \left(T - T_{ref}\right) + \nabla \cdot \left(2\mu_{eff} D(\boldsymbol{u})\right) - \nabla\left(\frac{2}{3}\mu_{eff}(\nabla \cdot \boldsymbol{u})\right) \tag{2}$$

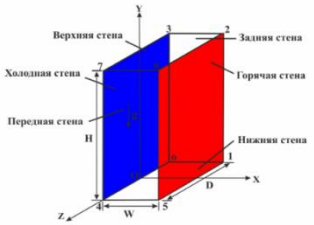
$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \boldsymbol{u} h) + \nabla \cdot (\rho \boldsymbol{u} k) = \nabla \cdot \left(\alpha_{eff} \nabla h\right) + \rho \boldsymbol{u} \cdot \boldsymbol{g} + h_R \tag{3}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \tau) + \nabla(\rho \boldsymbol{u} \tau) - \nabla \cdot \left(\frac{\rho \mu_{eff}}{\sigma_{eff}} \nabla \tau\right) = 1 \tag{4}$$

Агымдын турбуленттүүлүгүн эсепке алуу OpenFOAM пакетине кирген ар кандай турбуленттик моделдерге негизделген.

Үчүнчү бап – “Турбуленттик агымдарды калкымалуулуктун эффектин эске алуу менен сандык моделдөө” OpenFOAM программалык пакетинин алкагында изилдөөлөрдүн натыйжалары келтирилген.

1 - Маселе. Open FOAM пакетинин чечүүчүсүн сын көз менен кайрадан карап чыгуу. Кавернанын бийиктиги боюнча созулган кадимки стационардык конвенцияны сандык моделдөө каралып чыккан Betts, P.L., Bokhari I.H., (2000). Кавернанын бийиктиги H =2.18м, кеңдиги (туурасы) W=0.076м, ал эми тереңдиги D=0.52м ге барабар, (3.1-сүрөттү караңыз).



3.1-сүрөт. Кавернанын схемасы, эсептик тармактын чокулары жана координаталардын системасы

Чек ара жана баштапкы шарттар. Оңдогу ыссык жана солдогу муздак капталдык дубалчалардын айырмасы 19.6 ˚C жана 39.9 ˚C га барабар болуп, W кавернанын кеңдиги боюнча эсептелген Рэлейдин сандарына шайкеш келишет, алар Ra=8.6×10^5 жана Ra=1.43×10^6 барабар болот.

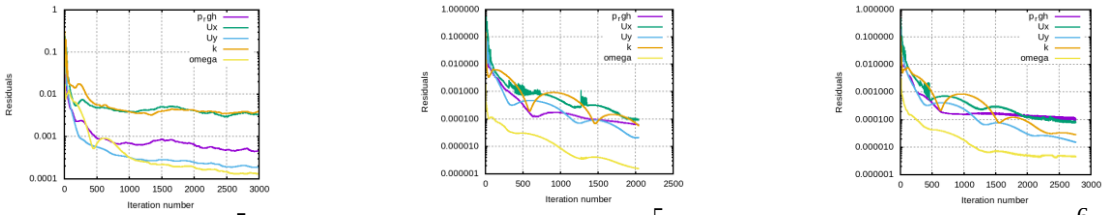
Кавернанын капталдарында U ылдамдыгынын вектору үчүн – noslip жабышуусунун шарты берилген. Алдыңкы, арткы, жогорку жана төмөнкү капталдарындагы температура үчүн zeroGradient – нормалы боюнча нөлдүк градиенттин шарттары берилген, алар бул чек ара аркылуу жылуулуктун агымынын болбоосун камсыздашат. Бардык эсептөөлөрдө муздак капталдын температурасы 15 ˚C га барабар болуп, ыссык капталдын температурасы

Релейдин санына байланыштуу өзгөрүп турган – ал төмөндөгүлөр: Ra=8.6×10^5 те ал 34.6 ^{o}C барабар болгон, ал эми Ra=1.43×10^6 да – 54.9 ^{o} C.

Алты чек аралардын бардыгындагы басым үчүн FixedFluxPressure шарты берилген, ал берилген маниге болгон басымдын градиентин чек арадагы басым ылдамдыктын чек аралык шарты менен берилгендей кылып аныктайт. **k** кинетикалык энергиянын турбуленттүүлүгү жана **ω** кинетикалык энергиянын турбуленттүүлүгүнүн диссипациясынын ылдамдыгынын чек ара шарттары каптал ичиндеги функцияларынын аппаратынын жардамында берилишет.

Кавернанын ичиндеги ылдамдык векторунун талаасынын баштапкы мааниси нөлгө барабар болгон, анткени баштапкы учурда аба кыймылы болгон эмес. Окшош чек ара шарттары квадраттык аба кавернасы үчүн көрсөтүлгөн.

Сандык эсептөөлөрдүн натыйжалары. 3.2а - сүрөттө Рэлей саны Ra=8.6×10^5 менен стандарттык тьюториалы үчүн невязкалар көрсөтүлгөн. 1×10^{-4} берилген тактык менен оңдолгон тьюториалын колдонуу менен итерациялоо процесси 2039 (3.2б-сүрөт) жана 2759 (3.2в-сүрөт) Рэлей санынын Ra=8.6×10^5 жана Ra=1.43×10^6 маанисине жакындайт.

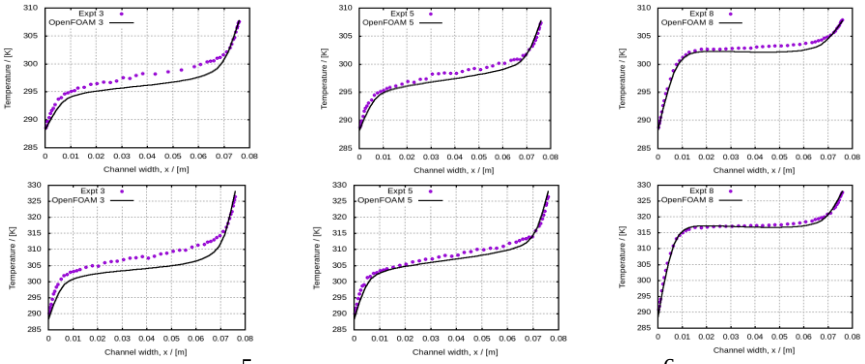


а) Ra=8.6×10^5 б) Ra=8.6×10^5 в) Ra=1.43×10^6

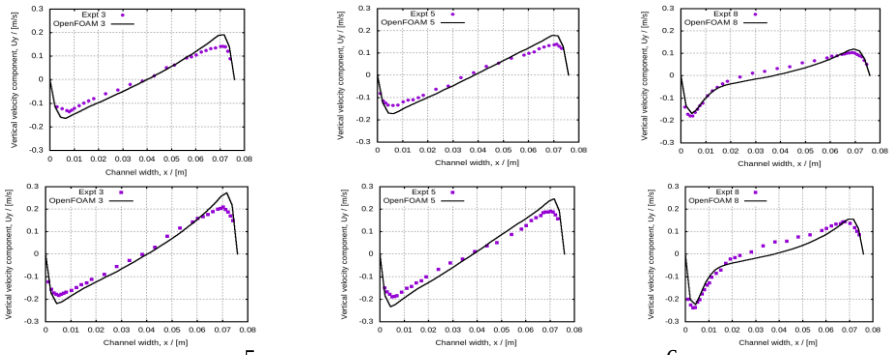
3.2 - сүрөт. Рэлейдин ар түрдүү сандарында чыныгы (а) корректировкаланган (б, в) тьюториалдын байланышпоосу

Байланышпоолордун мааниси модификацияланган учурда стандарттык тьюториал үчүн болгон байланышпоолордун маанилеринен 2 (эсеге) тартипке төмөн болушат.

Сандык натыйжалардын ылайыктуу эксперименталдык берилгендер менен салыштырылышы 3.3 - 3.4 - сүрөттөрдө көрсөтүлгөн.



3.3 - сүрөт. Ra=8.6×10^5 (солдо) жана Ra=1.43×10^6 (оңдо) үчүн орточо температуранын профилдери

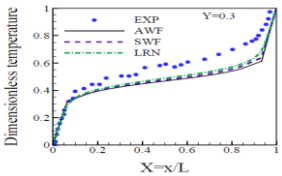


3.4 - сүрөт. Ra=8.6×10^5 (солдо) жана Ra=1.43×10^6 (оңдо) үчүн орточо ылдамдыктын Uy вертикалдык түзүүчүсүнүн профилдери

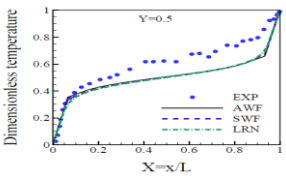
Орточо температураны жана орточо ылдамдыктагы Uy вертикалдык түзүүчүсүнүн эксперименталдык өлчөөлөрү z=0 тегиздигинде өткөрүлдү. Жалпысынан алганда, сандык жана эксперименталдык берилгендердин ортосундагы дал келүүчүлүктү туура деп айтууга болот.

Температуранын жана орточо ылдамдыктын вертикалдык түзүүчүсүнүн профилдерин салыштыруу көрсөтүп тургандай, эксперименттин жана сандык эсептин ортосундагы окшоштук Ra=1.43×10^6 Рэлей санынын көп болгон учурунда гана начарлайт.

Кийинки сүрөттө 3.5(а, б) да орточо температура боюнча Рэлейдин Ra=1.43×10^6 саны үчүн Seyed Ali Omranian (2007) нин сандык натыйжалары жана тийиштүү эксперименттин берилгендер менен салыштыруу келтирилген. y/H=0.3 (3.5а-сүрөт) жана y/H=0.5 (3.5б-сүрөт) булардагы каталык 25% ды жана ага ылайык 35,4% ды түздү. Биздин эсептөөлөрүбүздө тийиштүү каталар 1% жана 1,6% га барабар.



3.5а-сүрөт - y/H=0.3 орточо температурасынын профили



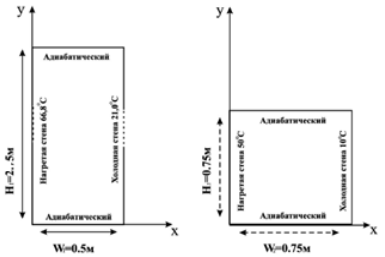
3.5б-сүрөт - y/H=0.5 үчүн орточо температуранын профили

№2 – маселе. Аба көндөйлөрүндөгү табигый стационардык конвекцияны моделдөө. Бул маселенин максаты ар түрдүү формадагы жана өлчөмдөгү каверналардагы жарыктын таралуу процессин эске алуу же албоо менен табигый конвекциялык жол менен жылуулукту берүүнү моделдөөдө OpenFOAM ачык пакетине имплементацияланган (б.а. программаланган), турбуленттүүлүктүн пайдаланылуучу моделдеринин салыштырмалуу таамайлыгын баалоодо турат.

Турбулентүүлүктүн моделдерин пайдалануу жөнүндө анык маалыматтар көрсөтүлгөн жана моделдөөнүн жыйынтыктары ээ болунган эксперименталдык берилгендер менен салыштырылат, алардын эсебинен аба агымдарынын мындай типтери үчүн кайсы модель мыкты болоорун аныктоого мүмкүн болот.

3.6-сүрөттө жабык эки өлчөмдүү каверна көрсөтүлгөн Cheesewright R, King KJ and Ziai S (1986) жана 0.75 м капталындагы чарчы каверна F. Ampofo жана T. G. Karayiannis (2003) мында бир гана табыгы конвекция каралып чыккан.

Чек ара жана баштапкы шарттар. Биринчи көңдөйдүн сол жана оң капталдарындагы чек аралык шарттары катары белгиленген t_h =66.8°C жана t_c =21°C температурасынын маанилери ылайыгына карап берилет (3.6а – сүрөтүн караңыз). Кавернанын жогорку жана төмөнкү капталдарында адиабаттуулуктун (термодинамикалык жылуулукту изоляциялоочу) шарттар берилет.



3.6 – сүрөт. - Эки өлчөмдүү тик бурчтуу, квадраттык тегиздик

Бул жерде жана бардык кийинки маселелерде калган чоңдуктар үчүн чек ара жана баштапкы шарттар, дискреттөө ыкмалары жана чечүү жолдору мурунку маселеге окшош берилет.

Натыйжа жана талкуулоо. 3.13 - 3.15 – сүрөттөрдө RNG$k-\varepsilon$ турбуленттүүлүгүнүн моделдери эксперименттик берилгендер менен салыштырылган.

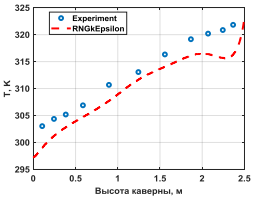


Рисунок 3.13 - Температуранын вертикалдык профилин салыштыруу

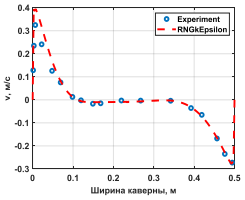


Рисунок 3.14 - uy горизонталдык профилин салыштыруу

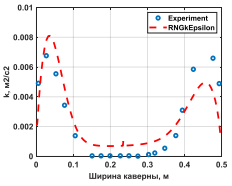
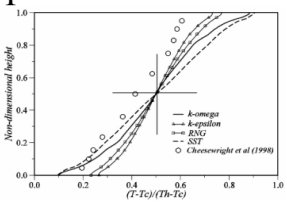


Рисунок 3.15 – k горизонталдык профилин салыштыруу

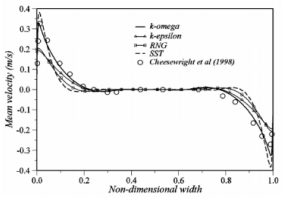
x=0.25м сызык боюнча вертикалдуу температура профилин салыштыруу (көңдөйдүн орточо туурасында, 3.13-сүрөт) жалпысынан RNGk-ε турбуленттүү модели эксперименталдык маалыматтардын өзгөрүү мүнөзүн, анын ичинде кавернанын үстүңкү дубалына жакын ийилиши температуралык профилге мүнөздүү.

3.14-сүрөттөн көрүнүп тургандай, горизонталдык сызык боюнча вертикалдык ылдамдыктын сандык маанилери y=1.25м (орточо бийиктиги) эксперименталдык маалыматтарга туура келет. Эгерде муздак дубалдын жанында сандык вертикалдык ылдамдыктын профили эксперименткe жогорку тактык менен дал келсе, ысык дубалдын жанында вертикалдык ылдамдыктын сандык мааниси тиешелүү эксперименттик мааниден ашат. Турбуленттиктин кинетикалык энергиясынын мааниси ысык дубалдын жанында ашыкча, ал эми муздак дубалдын жанында эксперименткe салыштырмалуу төмөн бааланат (3.15-сүрөттү караңыз).

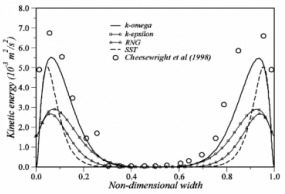
Cheesewright R., King K. J. and Ziai S. (1986) эксперименталдык иштеринде айтылгандай, үстүнкү жана астыңкы дубалдардын жылуулугу жетишсиз болгондуктан, көңдөйдүн ысык жана муздак дубалдары аркылуу жылуулук өткөрүлүшү боюнча асимметриялык эксперименттe.маалыматтар табылган. Ansys CFX коммерциялык пакетинин алкагында бул тапшырманы моделдөө боюнча Yingchun Li, (2014) жыйынтыктары 3.16-3.18-сүрөттө көрсөтүлгөн.



3.16 - сүрөт. Орточо кеңдикте вертикаль бийиктиги боюнча сандык жана өлчөнгөн температуралар



3.17- сүрөт. Кавернанын кеңдиги боюнча орточо бийиктикте сандык жана өлчөнгөн орточо ылдамдыктар



3.18 - сүрөт. Кавернанын кеңдиги боюнча орточо бийиктиктеги өлчөнгөн жана сандык кинетикалык энаргия

Т температурасынын горизонталдык профилдеринин, Uy вертикалдык ылдамдыгынын жана y=1.25м кавернасынын орточо бийиктиктеги k турбуленттүүлүгүнүн кинетикалык энергиясынын Cheesewright R, King KJ and Ziai S, (1998) иштеринин ылайыктуу эксперименттин берилгендери менен биздин жана Yingchun Li, (2014) ишинин салыштырылышы 3.11 - таблицада келтирилген.

3.11 - таблица. Эксперименттик жана эсептик берилгендерди салыштыруу

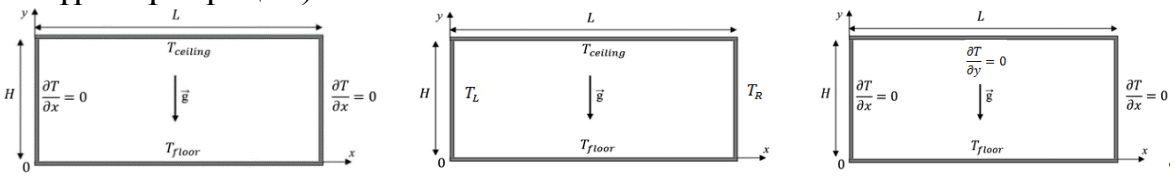
Жыйынтык	Температура		Ылдамдыктар		Турбуленттүүлүктүн кинетикалык энергиясы	
	Ыссык	Муздак	Ыссык	Муздак	Ыссык	Муздак
Биздики	1.3%	1.9%	2.2%	3.5%	1.7%	2.6%
Yingchun Li.	20%	6.3%	37%	25%	63%	57%

Андан кийин, F. Ampofo жана T. G. Karayiannis (2003) тиешелүү эксперименталдык маалыматтары менен капталдары 0.75 м болгон чарчы кавернада табигый конвекцияны моделдөө жүргүзүлгөн.

SSG турбуленттик моделин колдонуудагы жалпы агымдын үлгүсү LRR моделин колдонуудагыдай эле. Квадраттык каверна үчүн сандык чечимдердин натыйжалары 5:1 катышы бар көңдөй үчүн натыйжаларга туура келет. Тактап айтканда, квадраттык кавернанын орточо бийиктигиндеги вертикалдык температура профили бүт бийиктиктеги эксперименттик маалыматтарга салыштырмалуу бааланбайт (3.19а жана 3.13-сүрөттү караңыз). Аспектинин катышы 5:1 болгон каверна үчүн жогоруда белгиленген турбуленттүүлүктүн кинетикалык энергиясынын бааланбаган мааниси (3.15-

сүрөттү караңыз) квадраттык кавернада да болот (3.19в-сүрөт). Бирок, 1:1 (квадраттык каверна) катышы болгон кавернада вертикалдык ылдамдыктын горизонталдык профилдери (3.19б-сүрөт) жана температуранын (3.19д-сүрөт), кавернадагыдай 5:1 катышы эксперименталдык маалыматтар менен жетиштүү дал келет (3.14-сүрөттү караңыз).

№3 – Маселе. Релей-Бенардын конвективдүү куюндарын моделдөө. Бул маселенин максаты орточо температуранын жана орточо ылдамдыктын талааларындагы орточо температура үчүн ар түрдүү чек ара шарттардын таасирлерин окуп үйрөнүүдө турат. Аспектинин катышы 0.5 болгон тик бурчтуу кавернада табигый конвекцияны математикалык моделдөө buoyantPimpleFoam чечүүчүсүн пайдалануу менен OpenFOAM пакетинин чектеринде өткөрүлдү. Аба толтурулган каверна бийиктиги H=0.5м, туурасы L=1м жана тереңдиги W=0.1м болгон гексаэдрды өзү тараптан көрсөтүп турат (3.21-сүрөттү караңыз).



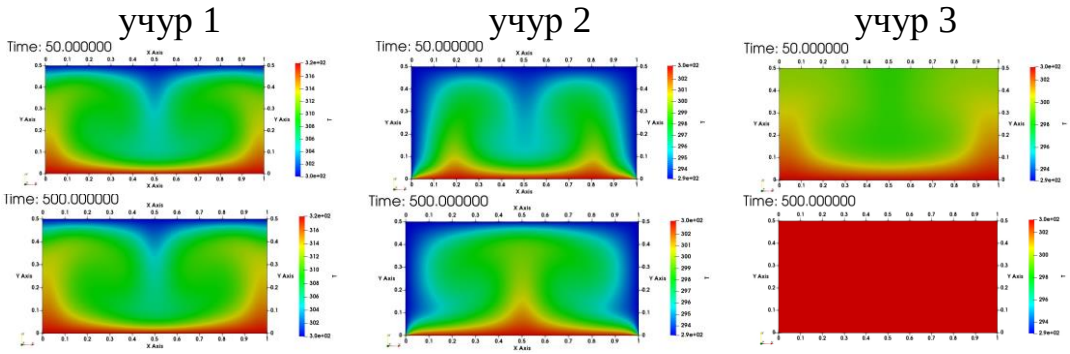
учур 1 учур 2 учур 3

3.21 – сүрөт. Маселенин геометриясы жана температура үчүн ар түрдүү болгон үч чек ара шарттар

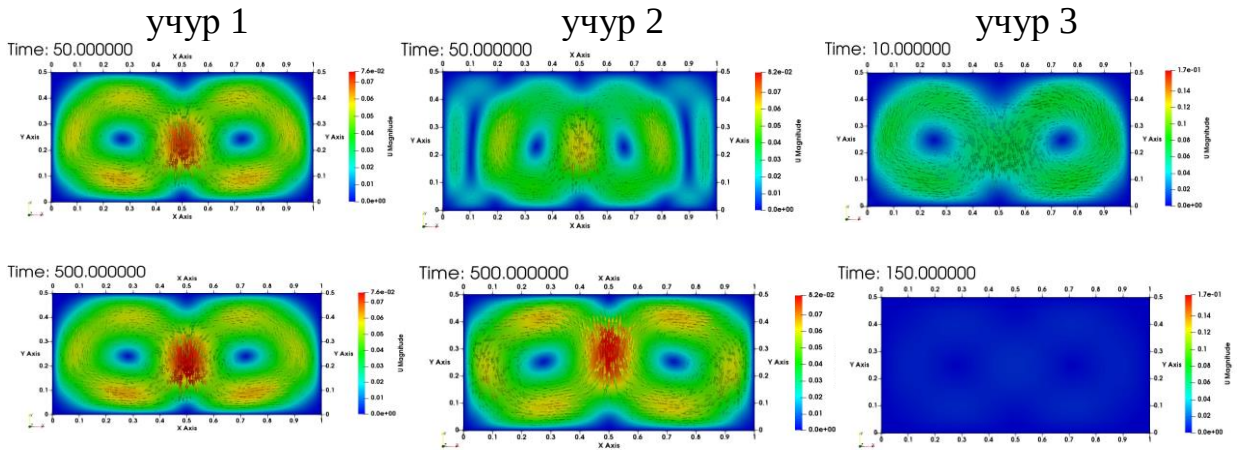
Чек ара жана маселенин баштапкы шарттары. Басым талаасынын баштапкы мааниси 101 325 Па, кавернада абанын баштапкы кыймылы жок болгондуктан ылдамдыктын бардык компоненттери нөлгө барабар. Эсептөө аймагынын бардык чектеринде абанын илешкектүүлүгүнөн улам тайгаланбоо шартынан ылдамдыктын мааниси нөлгө барабар. Каверна ылдыйкы дубал – пол аркылуу жылытылат, анын температурасы бардык каралган үч учурда тең $T_{ceiling} = 30^{o}$C болгон.

Биринчи учурда каптал чектерде температурага Нейман шарты берилет, башкача айтканда чек арага нормал боюнча нөлдүк градиент. Бул шарт чектин адиабаттуулугунун физикалык абалына - чек ара аркылуу жылуулук агымынын жоктугуна туура келет жана OpenFOAM пакетинде zeroGradient катары белгиленет. Ал эми шыпта жана полдо Дирихлет шарты орнотулган - OpenFOAM пакетинин тилинде белгиленген чектик шартка туура келген туруктуу температура мааниси. Экинчи учурда, бардык чектерде белгиленген температуралар, үчүнчү учурда, каптал чектерде жана шыпта температуранын адиабаттуулук шарты белгиленет.

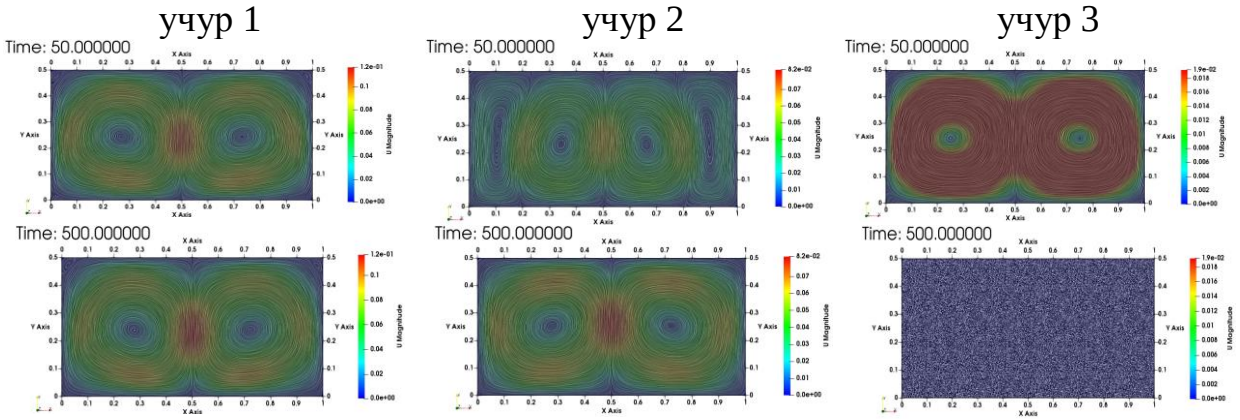
Сандык эсептөөлөрдүн натыйжалары. Төмөнкү сүрөттөр температуранын 1, 2, 3 температуралык талаалар, ылдамдык вектору, ылдамдык модулу жана убакыттын ар кандай моменттери үчүн ылдамдык модулунун изосызыктары үчүн колдонулган бардык үч чек ара шарттары боюнча эсептөөлөрдүн натыйжаларын көрсөтөт.



3.22 – сүрөт. Убакыттын ар түрдүү моменттери үчүн температурнын талаасы



3.23 - сүрөт. Убакыттын ар түрдүү моменттери үчүн ылдамдык векторунун талаасы



3.24 – сүрөт. Ылдамдык модулунун изолиниялары

Агым схемасы температуранын чек ара шарттарынын түрүнө жараша абдан айырмаланат. Физикалык көз караштан алганда, көңдөй менен айлана-чөйрөнүн ортосундагы жылуулук берүүнүн үч түрү аныкталган:

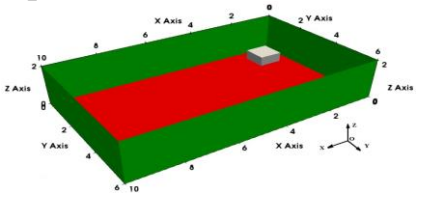
учур1. Жылуулук алмашуу көңдөйдүн шыбы аркылуу гана ишке ашат - шып аркылуу аба агымынын муздашы. Көңдөйдүн каптал дубалдары адиабаттык.

учур2. Жылуулук алмашуу көңдөйдүн шыптары жана каптал дубалдары аркылуу ишке ашат - шып жана каптал дубалдар аркылуу аба агымынын муздашы.

учур3. Жылуулук берүү таптакыр жок - көңдөйдүн шыптары жана каптал дубалдары адиабаттык жана аба агымынын муздашы жок.
1 абалдан 2ге өткөндө агымдын схемасы кайра түзүлө тургандыгы аныкталган - чоң конвективдик куюн өз багытын карама-каршы тарапка өзгөртөт. Ал эми көңдөйдөгү абаны толук адиабаттык ысыткан учурда (3-учур), температура талаасынын теңдеши биринчи эки ыкмага (учур1 жана учур2) салыштырмалуу алда канча эртерээк болот. Бул убакыт болжол менен 150 сек, ал эми калган эки учурда теңдөө убактысы чексиз узакка созулат.

№4 - маселе. Тик бурчтуу көңдөйдө табигый конвенцияны радиациялык жарыкты таратууну (нурлануу) эске алуу мене моделдөө.

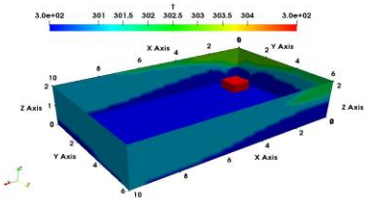
Туурасынан кесилиши болгон тик бурчтук менен үч өлчөмдүү кавернадагы кадимки стационардык конвенцияны математикалык моделдөө маселеси каралып чыгат. Бөлүмүнүн моделинин бийиктиги H =2м, узундугу W=10м, туурасы D=6 м, ал эми жылуулуктун булагы төмөндөгүдөй өлчөмдөргө, h=0.5м, w=1.0м жана d=1.0м барабар (3.25 - сүрөтүн караңыз). Жылуулук булагы паралелепипеддин ичинде (0.5 0.5 0) (1.5 1.5 0.5) координаттары менен жайгашкан.



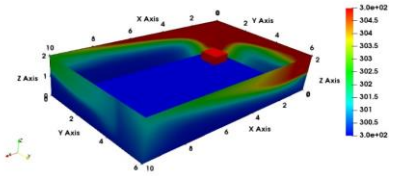
3.25 - сүрөт - Каралуучу маселенин геометриясы жана координаттар системасы

Потолоктун жана полдун температурасы 300˚К ге, ал эми моделдин жогорку оң бурчта жайгашкан ысыткычтын температурасы 500˚К ге барабар.

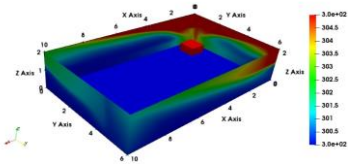
3.27- сүрөттө P1 радиациалык нурдануунун эки модели үчүн капталдардагы орточо температурасынын бөлүштүрүлүшү келтирилген (3.25а - сүрөт) жана fvDOM (3.25б - сүрөт).



3.27а - сүрөт - Радиацияны эске албай тургандагы температуранын бөлүштүрүлүшү



3.27б - сүрөт - Радиоциянын P1 модели үчүн температуранын бөлүштүрүлүшү



3.27в - сүрөт - Радиоциянын fvDOM модели үчүн температуранын бөлүштүрүлүшү

3.25абв - сүрөттөрдөн көрүнүп тургандай эки моделдин ортосундагы негизги айырма ысыткычка жакынкы бурчтан орун алган, ал кийинки 3.26аб - сүрөттөн айрыкча даана көрүнөп турат, мында z=0.25м де XOY тегиздигинде орточо температуранын талаасы көрсөтүлгөн.

Айтылгандар (0.2 0.2 0) жана (0.2 0.2 2) координаталары менен чекиттер аркылуу өтүүчө сызыктын узунунан болгон температуранын вертикалдык профилин көрсөтүп туруучу 3.27аб сүрөттөрүнөн көрүнүп турат.

Мында жогору карай жылып бараткан ыссык аба көрүнөт, жылуулук булагынан бар болгону бир нече сантиметр аралыкта температура 500 К ге төмөндөйт, дээрлик курчап турган абанын температурасына чейин, же болбосо 300 К ге чейин түшөт. Мына ушул себептен 300К ден 320 К градуска чейинки шкала пайдаланылган.

Эсептөөлөрдүн жыйынтыктары көрсөтүп тургандай, ысытуучу элементтин айланасында күчөп көтөрүлүп чыгып жаткан абанын агымы пайда болот жана табигый конвенция жаралат.

Кийнки 3.19 – таблицада 4 репердүү P1, P2, P3 жана P4 чекиттериндеги температуранын талаасы жөнүндөгү маалыматтар келтирилген, алардын координаталары (1.0 1.0 1.0), (9.0 1.0 1.0), (9.0 5.0 1.0), (1.0 5.0 1.0) гө ылайык болушат.

3.19 - таблица. 4 рэпердик чекиттердеги температура тууралуу сандык берилгендер

Чекиттер		P1	P2	P3	P4
OF6	Радиациясыз	304.169	300.535	300.56	300.342
	FvDOM модель	308.544	300.52	300.263	301.308
	P1 модель	308.104	300.609	300.319	301.949
OF7	Радиациясыз	304.169	300.535	300.56	300.342
	FvDOM модель	308.544	300.52	300.263	301.308
	P1 модель	308.104	300.609	300.319	301.949
OF8	Радиациясыз	304.176	300.545	300.57	300.354
	FvDOM модель	308.548	300.53	300.273	301.317
	P1 модель	308.817	300.396	300.391	300.477
OF9	Радиациясыз	304.2	300.5	300.6	300.4
	FvDOM модель	308.429	299.97	300.049	299.859
	P1 модель	308.606	300.698	300.492	301.976
OF10	Радиациясыз	304.155	300.541	300.566	300.352
	FvDOM модель	308.427	299.968	300.047	299.858
	P1 модель	308.607	300.692	300.478	301.977

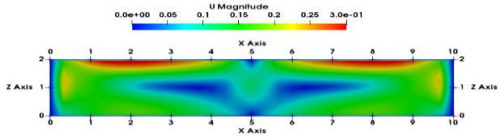
Бул таблицадан көрүнүп тургандай, радиациялык ташымалдын температурасынын талаасына тийгизген таасири P1 чекитинин айланасында байкалат, мында температурадагы айырма радиацияны эске алганда же ансыз 4 К ди түзөт. Температуранын ылайыктуу айырмасы P4 чекитинде 1К ге

жакынына барабар. Р2 жана Р3 алыскы чекиттеринде жылуулуктун радиациялык ташымалдоо температураны бөлүштүрүү талаасына чынында эч таасир этпейт.

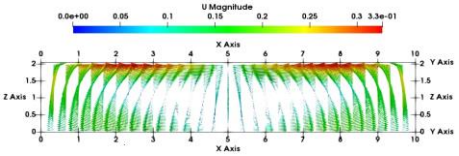
Каралып жаткан учурдун мүнөздүү өзгөчөлүгү болуп, бөлмөнүн моделинде температуранын олтуттуу жогорулашы жылыткычтын жанынан орун алат. Бөлмөнүн калган бөлүктөрүндөгү температура дээрлик өзгөрбөйт.

Андан ары, болмөнү жылытуу пол аркылуу ишке ашырылган учур каралган, анын өлчөмү 10×6 м^2 ты түзөт. Полдун температурасы 325К ге барабар болгон.

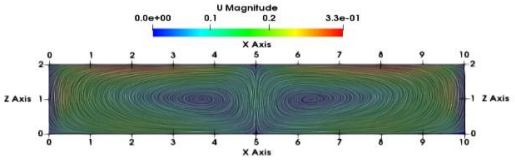
Мындай учурда температуранын жана ылдамдыктын талааларынын бөлүштүрүлүшү жогоруда каралган учурдан абдан эле айырмаланып турат. Бул айтылгандар төмөндөгү 3.34-3.37 – сүрөттөрдөн көрүнүп турат, анда температуранын талаалары жана y=3м тегиздигиндеги ылдамдыктын модулу көрсөтүлгөн.



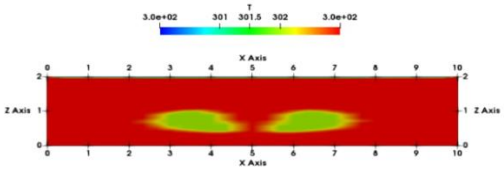
3.34 – сүрөт. Ылдамдык модулунун талаасы



3.35 - сүрөт. Ылдамдык векторунун талаасы



3.36 – сүрөт . Ылдамдык модулунун изолиниясы



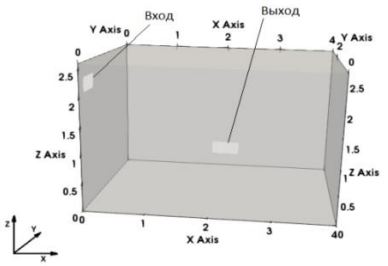
3.37 – сүрөт. Температуранын талаасы

Эки карама-каршы багытта айлануучу x=5м куюндарына (вихрление) салыштырмалуу эки симметриялуу сызыктардын пайда болуусун бат эле белгилөөгө мүмкүн болот (3.34 – сүрөттү караңыз). Абанын агымы x=0 жана x=10м четки капталдардын жанынан жогору көтөрүлөт да андан соң потолокто бири-бирине карай умтулушат. Бирине бири кагылышкан соң x=5м сызыгынын айланасында бөлмөнүн ортосунда агым төмөн карай жылат. Бөлмөнүн полуна жеткен соң абанын агымы карама-каршы багытта эки куюнга бөлүнүшөт (3.36 – сүрөттү караңыз). Бөлмөдөгү абанын дээрлик бардыгы конвективдүү кыймылга тартылгандыгынын айынан, бөлмөдөгү абанын бөлүштүрүлүшү симметриялуу жана бир калыпта болот, эгер эки симметриялуу куюндардын борборундагы температуранын бир аз азайганын эске алганда (3.37 – сүрөттү караңыз).

Ошентип, бөлмөнү пол аркылуу жылытуу процесси жылыткыч печтин (мештин) бөлмөнүн бурчунда турганы менен салыштырмалуу, бөлмөнүн бардык жеринде температураны бирдей өлчөмдө бөлүштүрүүгө алып келет деген тыянакка негиз болот.

5-Маселе. Байланышкан жылуулук алмашууну эске алуу менен Жалпы физика жана физиканы окутуунун усулу кафедрасынын имаратында жылуулук комфортун эсептөө.

Маселенин геометриясы жана координаталар системасы 3.39 – сүрөттө көрсөтүлгөн. Бөлмөнүн модели L=4м узундукка, H=2.6м бийиктикке жана W=3м кеңдикке ээ.



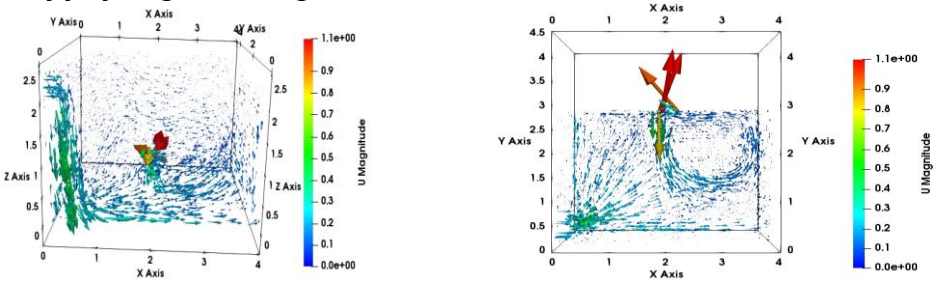
3.39 -сүрөт. Маселенин геометриясы жана координаталар системасы

Кирүүчү сол дубалдын жогорку сол бурчунда жайгашкан. Анын туурасы 0.5м, бийиктиги 0.2м, аянты 0.01м^2. Розетка арткы дубалдын ортоңку бөлүгүндө, полго жакыныраак жайгашкан. Анын туурасы жана бийиктиги да тиешелүүлүгүнө жараша 0.5 м жана 0.2 м.

Температурасы 298 К таза абанын агымы кирүүчү аркылуу 0.2 м/с ылдамдыкта кирип, бөлмө моделинен чыгуучу аркылуу агып чыгат.

Комфорттун абалы ISO 7730 “Жылуулук чөйрөсүнүн эргономикасы – PMV жана PPD индикаторлорун жана жергиликтүү жылуулук комфорт критерийлерин эсептөө аркылуу термикалык комфорттун аналитикалык аныктамасы жана интерпретациясы” эл аралык стандартына ылайык аныкталган. Жайгашкан жерди өзгөртүү вертикалдык огу Oz боюнча ишке ашырылган. Мында кире бериш чек аранын борбору 0.5м, 1.0м, 1.5м жана 2.0м координаттары менен 4 бийиктикте жайгашкан.

Ылдамдык векторун бөлүштүрүү 3.40 – сүрөттө келтирилген. Таза, бир аз муздак аба кирүү тешигинен өтүп төмөн карай бөлмөнүн полуна барат. Андан ары оң капталга жетип андан кайтат жана бөлмөнүн арткы капталында жайгашкан чыгуучу тарапка барат.

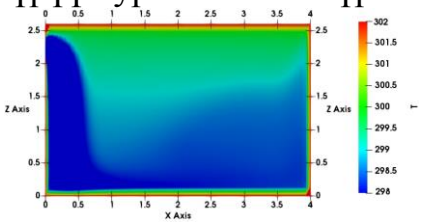


а) б)

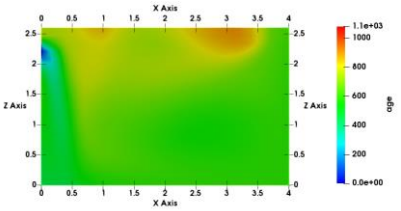
3.40 - сүрөт. Ылдамдык векторунун талаасы – алдынкы көрүнүшү (а) жана (б) жогорудан көрүнүшү

Таза, муздак абанын бир бөлүгү чыгуу тешиги аркылуу агып кирет да төмөн карай полго барат. Бөлмөнүн ичиндеги аба агымынын температурасынын бөлүштүрүлүшү (x=2м кесилишинде) 3.41 - сүрөттө көрсөтүлгөн.

302К максималдуу температурасы 1.5м бийиктиктен жогору жайгашкан, эң аз температуралуу аймак бөлмөнүн алдыңкы капталына турадан-туура жакындыктагы полго жакын жайгашкан x=2м кесилишиндеги age абасынын бөлүштүрүү курагы 3.42 – сүрөттө келтирилген.

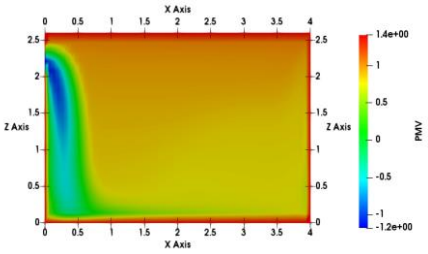


3.41 – сүрөт. Температуранын бөлүштүрүү талаасы

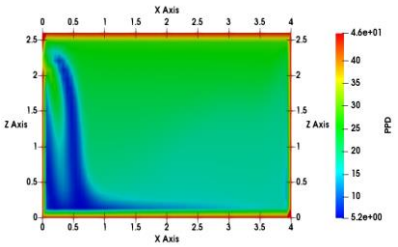


3.42 – сүрөт. Абанын жашоо курагын бөлүштүрүү талаасы

y=0.5м вертикалдык абалда болжолдонгон орточо PMV бөлүштүрүлүшү 3.43-сүрөттө көрсөтүлгөн. Канааттандырылбаган PPD болжолдонгон пайызы 3.44-сүрөттө көрсөтүлгөн.

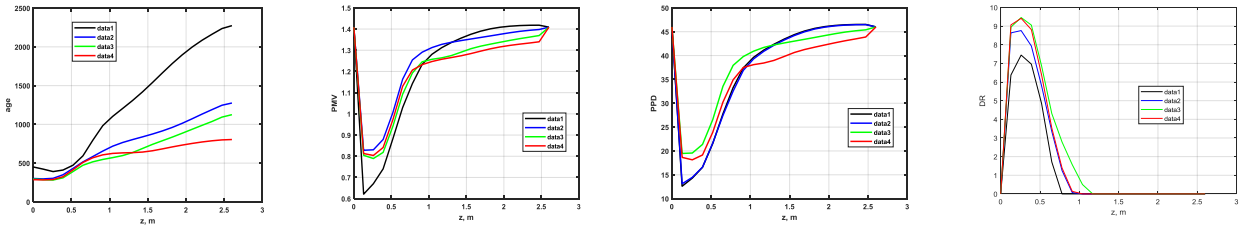


3.43 – сүрөт. PMVнын бөлүштүрүү талаасы



3.44 – сүрөт. PPDнын бөлүштүрүү талаасы

Төмөнкү сандар аба жашынын өзгөрүшүн көрсөтөт - **age**, канааттанбаган адамдардын пайызы PPD, болжолдонгон орточо үн - PMV жана сквозняк - DR x=2м жана y координаттарынан бөлмөнүн полунун геометриялык борбору аркылуу өткөн Oz огу боюнча вертикалдуу сызык боюнча. =1,5м. **data** 1, **data** 2, **data** 3, маалыматтар4 кириш чектеринин 0.5м, 1.0м, 1.5м жана 2.0м борборунун бийиктиктерине туура келет.



3.45 – сүрөт. - Ар кандай кирүү чектеринин бийиктиктери үчүн age, PPD, PMV жана DR чек аралары

Сүрөттөн көрүнүп тургандай, абанын жашын бөлүштүрүү age абанын сапаты кирүүчү абалдын жайгашкан жеринен көз каранды. Кирүүчү чек 0.5 м бийиктикте жайгашкан учурда шыптын жанындагы аба жашынын сандык мааниси кирүү чек арасы 2.0 м бийиктикте жайгашкан учурга салыштырмалуу эки эсе жогору.

Мындан тышкары, бардык 4 учурда, болжол менен 1.2 м бийиктиктен жогору абанын алмашуусу жок экендиги аныкталган.

Корутунду.

Диссертациялык иштин негизги натыйжалары жана корутундулары болуп төмөнкүлөр саналат:

1. 28.6:1 аспектин катышы менен кавернанын бийиктиги боюнча созулган моделдөөдө орточо ылдамдыктын вертикалдык түзүүчүсү жана температуранын профилдерин ылайыктуу эксперименталдык берилгендер менен салыштыруу Рэлейдин санынын өсүүсү менен Ra=8.6×10^5 нан Ra=1.43×10^6 сынын 0.6% га чейин начарлап барганы көрсөтүлгөн.

2. buoyantSimpleFoam стандарттык чечүүчүсүнүн сунушталган мыкты вариантынын жардамы менен 5:1 аспекттин катышы менен кавернанын бийиктиги боюнча созулган моделдөөдө x=0.25м кавернасынын орточо кеңдигинде температуранын вертикалдык профилин салыштыруу, вертикалдык ылдамдыктын горизонталдык профилдеринин жана (y=1.25м) кавернасынын орточо бийиктигинде турбуленттик кинетикалык энергиясы муздак жана ыссык капталдарынын оро-парасындагы эксперимент менен моделдөө 1.9 %, 3.5 %, 2.6 % жана 1.3 %, 2.2 %, 1.7 % ге ылайык чектерде жантаюнун максималдуу каталыктарын бергендигин көрсөттү.

3. Эсептөөлөр көрсөткөндөй, OpenFOAM пакетинин P1 жана fvDOM радиациялык жылуулукту ташуучу эки моделдеринин пайдаланылган түрдүү версияларынын ичинен убакыттын бир итерациясына сарпталгандыгы боюнча OF10 версиясы эң эле үнөмдүүсү болуп чыкты, ал эми OF8 версиясы fvDOM моделин пайдаланган учурда 1.202с бир итерациясына кеткен убакыттын жогорку маанисин берет.

4. Имараттын жылуулук абалынын бөлүштүрүлгөн параметрлеринин негизинде Жалпы физика жана физиканы окутуунун усулу кафедрасынын имаратындагы жылуулук комфортунун сан жагынан эсептөө ылдамдыктын жана температуранын сандык эсептеп чыгуусу өткөрүлдү.

ПРАКТИКАЛЫК СУНУШТАР

Изилдөөнүн жыйынтыгы Кыргыз Республикасынын Министрлер Кабинетине караштуу Архитектура, курулуш жана турак жай-коммуналдык чарба мамлекеттик агенттигинин ишмердүүлүгүнө киргизилди.

Диссертациялык материалдардын бир бөлүгү Математика жана маалыматтык технологиялар факультетинин окуу процессине ОшМУнун 510100 Математика, 510200 Колдонмо математика жана информатика адистиктеринин жогорку курстарынын студенттери, магистранттары жана аспиранттары үчүн «Теориялык механика» сабагында киргизилген.

Бул иш студенттерге заманбап программалык комплекстерди жана маалыматтык технологияларды колдонуу менен илим менен техниканын актуалдуу маселелерин чечүү көндүмдөрүн өздөштүрүүгө мүмкүндүк берет.

Андан ары өнүктүрүү максатында азыркы математикалык моделдөө илиминин актуалдуу проблемалары болуп саналган төмөнкү милдеттерди карап чыккым келет:

о Тышкы чөйрө менен жылуулук алмашууну эске алуу менен бөлмөнүн моделинде турбуленттүү агымдарды эсептөө.

о Бөлмөдөгү жылуулук алмашуу жылуулук комфорттун эсептөөсү

ДИССЕРТАЦИЯНЫН ТЕМАСЫ БОЮНЧА БАСЫЛЫП ЧЫККАН ЭМГЕКТЕРДИН ТИЗМЕСИ:

1. **Калбекова М.Ж.** Моделирование естественной конвекции в воздушных полостях [Текст] / Курбаналиев А.Ы.// ОшТУ Известия, Илимий-техникалык журнал ISSN 1694-660X, 1/2018. Ош 2018.с. 113-121. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37351802

2. **Калбекова М.Ж.** Идеология пакета Open Foam и принцип построения задачи [Текст] / Курбаналиев А.Ы., Калдыбаева Г.А., Акназарова С.С., Калбекова М.Ж. // В сборнике : Проблема «Оптимизации сложных систем». Материалы Международной школы –семинар.2018 г.с.2-13. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37014674

3. **Калбекова М.Ж.** Моделирование осесимметричного струйного течения[Текст] / Абдимуталипова З.К., Курбаналиев А.Ы., Сулайманова Г.К., Калбекова М.Ж.// В сборнике : Проблема «Оптимизации сложных систем». Материалы Международной школы –семинар.2018 г.с. 68-71– То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37014603&pff=1

4. **Калбекова М.Ж.** Моделирование турбулентной естественной конвекции в квадратной каверне[Текст] / Жайнаков А.Ж., Акназарова С.С., Калбекова М.Ж.// Известия кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Бишкек) issn: 1694-5557 2018 с. 435-443. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=36329021

5. **Калбекова М. Ж.** Численное моделирование естественного конвективного течения в воздушных полостях[Текст] /Калбекова М.Ж., Курбаналиев А.Ы., Жайнаков А.Ж.// В сборнике: Проблема «Оптимизации сложных систем».Материалы Международной школы-семинар.2019г.с.33-38. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=41540166&pff=1

6. **Калбекова М.Ж.** Программа для моделирования течения в двумерной каверне на основе проекционного метода. [Текст] / Курбаналиев А. Ы., Калмурзаева А. Т., Калбекова М. Ж. Кыргызпатент. Авторское свидетельство. Программа для ЭВМ. 22.10.2020г. №639. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

7. Калбекова М.Ж. Программа для численного решения уравнений Навье-Стокса в двумерном приближении. [Текст] / Курбаналиев А. Ы., Калмурзаева А. Т., Калбекова М. Ж., Марс кызы Таттыбубу.// Кыргыз патент. Авторское свидетельство. Программа для ЭВМ. №672, 25.02.2021. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://patent.kg/wp-content/uploads/2021/04/%D0%98%D0%9C-41-2021.pdf

8. Калбекова М. Ж. Мультифизическое моделирование процесса теплопроводности [Текст] / Калбекова М. Ж., Марс кызы Таттыбубу, Ормош кызы А., Калмурзаева А. Т. // Вестник Ошского государственного университета. ISSN 1694-7452. 2021. Том 1 №1с.136-143. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46561757

9. Калбекова М.Ж. Crictical reviewing of OpenFOAM buoyantcavity tutorial. [Текст] / A.Y. Kurbanaliev, M. Zh. Kalvekova, A.T. Kalmurzaeva ,T. Dyikanova. // AIP Conference Proceedings 2402, 20009 2021г.Doi 10.1063/5.0071571. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/5.0071571

10. Калбекова М.Ж. Numerical Simulation of Nonstationary Laminar Flow around a Circular Cylinder. [Текст] / A.Y. Kurbanaliev, A. T. Kalmurzaeva, M. Zh. Kalvekova. A. T. Dyikanova, N. A. Amankulova// AIP Conference Proceedings 2402, 2021г. Doi 10.1063/5.0071578. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=47557342

11. Калбекова М.Ж. Моделирование турбулентной естественной конвекции в прямоугольных полостях[Текст] / Калбекова М.Ж., Курбаналиев А.Ы. // Горный журнал. Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов имени академика У. Асаналиева. Бишкек 2021.с. 151-158. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=47387111

12. Калбекова М.Ж. Программа для подготовки данных для моделирования естественной конвекции в прямоугольной каверне в пакете OpenFOAM. [Текст] / Курбаналиев А. Ы., Калбекова М. Ж., Калмурзаева А. Т. Кыргызпатент. Авторское свидетельство. Программа для ЭВМ. 15.04.2022г. №742. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://new2.patent.kg/wp-content/uploads/2022/12/%D0%98%D0%9C-7-2022.pdf

13. Калбекова М.Ж. Моделирование квадратной турбулентной конвекции. Вестник ОшГУ. – 2022. № 1. – С. 177-184.ISSN: 1694-7452

14. Калбекова М. Ж. Моделирование естественной конвекции в прямоугольной полости с учетом радиационного излучения в пакете OpenFOAM[Текст] / Калбекова М.Ж., Курбаналиев А.Ы. // Вестник Ошского государственного университета Математика, физика, техника. 2022, №1, с. 67-80.

РЕЗЮМЕ
диссертационной работы Калбековой Махбурат Жамшитбековны

на тему: «Численное моделирование турбулентных течений с учетом эффекта плавучести» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – “Механика жидкости, газа и плазмы”

Ключевые слова: турбулентность, рециркуляционные зоны, нестационарность, плавучесть, теплопередача, радиационный перенос тепла, buoyantSimpleFoam, OpenFOAM.

Объект исследования: пространственные турбулентные нестационарные внутренние течения с зонами рециркуляции с учетом эффектов плавучести и радиационного переноса тепла.

Предметом исследования является численное исследование влияния эффекта плавучести на эрганомику термальной среды помещения.

Цель исследования заключается в усовершенствовании модели, способной моделировать неизотермические турбулентные течения газа с учётом эффектов плавучести и радиационного переноса тепла в рамках пакета OpenFOAM.

Методы исследования и аппаратура. численное интегрирование стационарных и нестационарных, осредненных по Рейнольдсу трёхмерных уравнений Навье-Стокса, описывающих турбулентные течения с учетом эффекта плавучести методом контрольных объемов.

Научная новизна полученных результатов работы.

- Установлены удовлетворительные согласия расчетных данных профилей температуры и вертикальной составляющей скорости с экспериментом при моделировании каверны с аспектным отношением 28.6:1. Однако увеличение числа Рэлея от Ra=8.6×10^5 до Ra=1.43×10^6 приводит к ухудшению точности согласия на 0.6%.
- Показано, что моделирование конвекции в каверне с аспектным отношением 5:1 сравнение профилей средних характеристик течения с экспериментом около холодной и горячей стенках дает максимальные ошибки отклонения в пределах 1.9 %, 3.5 %, 2.6 % и 1.3 %, 2.2 %, 1.7 % соответственно.
- Впервые проведен численный расчет теплового комфорта в помещении кафедры Общей физики и МПФ. Обнаружено, что уменьшение вертикальной координаты входной границы до z=0.5м приводит к увеличению возраста воздуха в точке (x =2, y =1.5, z =1м) более чем в два раза.

Степень использования или рекомендации по использованию. Результаты исследования могут быть использованы для прогнозирования нагрева и охлаждения помещения за счет естественной конвекции.

Область применения. Результаты исследования были включены в деятельность Ошского областного строительно-технического управления по организации работ по организации отопления и обеспечения условий комфорта в жилих помещениях.

Калбекова Махбурат Жамшитбековна 01.02.05. - суюктуктун, газдын жана плазманын механикасы адистиги боюнча физика-математика

илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасына ээ болуу үчүн «Турбуленттик агымдарды калкыма кубулушун эске алуу менен сандык моделдештирүү» аттуу темадагы диссертациялык ишинин

РЕЗЮМЕСИ

Ачкыч сөздөр: турбуленттүүлүк, рециркуляциялык зоналар, стационардык эмес, калкымалуулук, жылуулук өткөрүмдүүлүк, радиациялык жылуулук өткөрүмдүүлүк, buoyantSimpleFoam, OpenFOAM.

Изилдөөнүн объектиси калкымалуулук эффекттерин жана радиациялык жылуулук өткөрүмдүүлүктү эске алуу менен рециркуляциянын аймактары менен мейкиндиктеги турбуленттүү стационардык эмес ички агымдар.

Изилдөөнүн предмети бөлмөнүн жылуулук чөйрөсүнүн эргономикасына калкымалуулук эффектинин таасирин сандык изилдөө болуп саналат.

Изилдөөнүн максаты - OpenFOAM пакетинин алкагында калкымалуулук жана радиациялык жылуулук өткөрүмдүүлүктүн таасирин эске алуу менен изотермикалык эмес турбуленттүү газ агымдарын моделдөөчү моделди өркүндөтүү.

Изилдөө ыкмалары жана жабдуулар: стационардык жана стационардык эмес, Рейнольдс боюнча орточолонгон үч өлчөмдүү Навье-Стокс теңдемелеринин сандык интегралдоосу, турбуленттүү агымдарды мүнөздөгөн калкымалуулук эффектин эске алуу менен башкаруу көлөмдөр ыкмасы.

Иштин алынган натыйжаларынын илимий жаңылыгы.

- Температуралык профилдердин эсептелген маалыматтары менен ылдамдыктын вертикалдык компонентинин ортосунда 28.6:1 аспектин катышы, кавернаны моделдөө эксперименти менен канааттандырарлык макулдашуу түзүлдү. Бирок, Рэлейдин санынын $Ra=8.6\times10^5$ тен $Ra=1.43\times10^6$ га чейин өсүүсү туура тактыгынын 0.6% начарлашына алып келет.
- Кавернадагы конвекцияны 5:1 аспекттин катышы менен моделдөө, муздак жана ысык дубалдардын жанындагы эксперимент менен орточо агымдын мүнөздөмөлөрүнүн профилдерин салыштырып, 1.9%, 3.5%, 2.6% жана 1.3%, 2.2%, 1.7% чегинде максималдуу четтөө каталарын берери көрсөтүлгөн.
- Биринчи жолу жалпы физика жана ФОУ кафедрасынын имараттарында жылуулук комфортунун сандык эсеби жүргүзүлдү. Кирүүчү чектин вертикалдык координатасынын z=0.5мге чейин төмөндөшү (x=2, y=1.5, z=1м) чекиттеги абанын жашынын эки эседен ашык жогорулашына алып келери аныкталган.

Колдонуу даражасы же колдонуу боюнча сунуштар. Изилдөөнүн натыйжалары табигый конвекциядан улам бөлмөнү жылытуу жана муздатуу процессин болжолдоо үчүн колдонулушу мүмкүн.

Колдонуу чөйрөсү. Изилдөөнүн натыйжалары турак жайларды жылытууну жана комфорттук шарттарды камсыз кылуу боюнча иштерди уюштуруу боюнча Ош облустук курулуш-техникалык башкармалыгынын ишмердүүлүгүнө киргизилген.

SUMMARY

dissertation work of Kalbekova Makhburat Zhamshitbekovna

on the topic: "Numerical modeling of turbulent flows taking into account the effect of buoyancy" for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in the specialty 01.02.05 - "Mechanics of fluid, gas and plasma"

Keywords: turbulence, recirculation zones, unsteadiness, buoyancy, heat transfer, radiative heat transfer, buoyantSimpleFoam, OpenFOAM**.**

Object of research: spatial turbulent unsteady internal flows with recirculation zones taking into account the effects of buoyancy and radiative heat transfer.

The subject of the study is a numerical study of the effect of the buoyancy effect on the erganomics of the thermal environment of the room.

The purpose of the dissertation is to improve the model capable of simulating non-isothermal turbulent gas flows, taking into account the effects of buoyancy and radiative heat transfer within the framework of the OpenFOAM package.

Research methods and equipment. Numerical integration of stationary and non-stationary, Reynolds-averaged 3D Navier-Stokes equations describing turbulent flows taking into account the buoyancy effect by the control volume method.

Scientific novelty of the obtained results of the work.

• Satisfactory agreement between the calculated data of temperature profiles and the vertical component of velocity with the experiment in modeling a cavity with an aspect ratio of 28.6:1 has been established. However, an increase in the Rayleigh number from $Ra=8.6\times10^5$ to $Ra=1.43\times10^6$ leads to a deterioration in the accuracy of fit by 0.6%.

• It is shown that the simulation of convection in the cavity with an aspect ratio of 5:1, comparing the profiles of the average flow characteristics with the experiment near the cold and hot walls, gives the maximum deviation errors within 1.9%, 3.5%, 2.6% and 1.3%, 2.2%, 1.7% respectively.

• For the first time, a numerical calculation of thermal comfort in the premises of the Department of General Physics and MPF was carried out. It was found that a decrease in the vertical coordinate of the inlet boundary to z=0.5m leads to an increase in the air age at the point (x=2, y=1.5, z=1m) by more than two times.

Degree of use or recommendations for use. The results of the study can be used to predict the heating and cooling of the room due to natural convection.

Scope of application. The results of the study were included in the activities of the Osh Regional Construction and Technical Department for the organization of work on the organization of heating and providing comfort conditions in residential premises.