КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН УЛУТТУК ИЛИМДЕР АКАДЕМИЯСЫНЫН АВТОМАТИКА ЖАНА МААЛЫМАТТЫК ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНСТИТУТУ

Б.Н. ЕЛЬЦИН АТЫНДАГЫ КЫРГЫЗ-ОРУС СЛАВЯН УНИВЕРСИТЕТИ

Диссертациялык кеңеш Д. 05.18.579

Кол жазма укугунда

УДК 519.61(575.2)(043.3)

КАРТАНОВА АСЕЛЬ ДЖУМАНОВНА

КЕСИЛИШИ ӨЗГӨРҮЛМӨ ТҮТҮКТӨРДӨГҮ ГАЗ АГЫМДАРЫНЫН ПРОЦЕССТЕРИН САЕ-ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН КОЛДОНУУ МЕНЕН МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДӨӨ

(САЕ /англ. Computer-aided engineering/ - инженердик эсептөөлөрдүн автоматташтыруу системасы)

05.13.18 – «Математикалык моделдөө, сандык эсептөөлөр жана программалардын комплекси»

Физика-математика илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алууга жазылган диссертациянын
АВТОРЕФЕРАТЫ

Бишкек - 2018

Илимий иш Н.Исанов атындагы Кыргыз мамлекеттик курулуш, транспорт жана архитектура университетинин Жаңы маалыматтык технологиялар институтунда **аткарылды**.

Илимий жетекчиси: Физика-математика илимдеринин доктору, профессор **Сулайманова Света Мукашовна** (К.И.Скрябин ат. КУАУ, профессор)

Расмий оппоненттер: 1. Физика-математика илимдердин доктору, доцент **Адигамов Николай Сабирович** (Б.Н. Ельцин ат. КОСУ, доцент)

2. Физика-математика илимдердин кандидаты, доцент **Кутунаев Жолчубек Насырымбекович** (М.М. Адышева ат. ОшТУ, каф.башчысы)

Жетектөөчү уюм: **Ж. Баласагын ат. КУУ** (МИжК факультети, Дифференциалдык тендемелер кафедрасы) Бишкек ш. 720033, Фрунзе көч. 547.

Диссертация 2018-ж. 28 декабрында саат 10.00 Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Автоматика жана маалыматтык технологиялар институтунун алдындагы Д. 05.18.579 диссертациялык кеңешинин отурумунда жакталат. Дареги: 720071, Бишкек ш., Чүй проспекти, 265, ауд. 118, сайт: www.iait.kg.

Диссертация Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын китепканасында таанышса болот дареги боюнча: 720071, Бишкек ш., Чүй проспектиси, 265, «а» жана КР УИА АжМТИ сайттында дареги: www.iait.kg. E-mail: gulsaat@mail.ru.

Автореферат 2018-жылдын 27 ноябрында жөнөтүлдү.

Диссертациялык кеңештин

окумуштуу катчысы, к.ф.-м.н. Керимкулова, Г.К.

ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу. Практикада кеңири жайылган күйүү камераларындагы жана реактивдүү жана ракетанын кыймылдаткычтарынын сопло-түтүктөрүндөгү, чачыратуучу түзүлүштөрдүн, жогору ылдамдыктагы суюктуктун же катуу бөлүкчөлөрдүн кошулган суюктуктардын агымы менен кесүү үчүн орнотмолордогу түтүктөрдүн ичиндеги агымдардын параметрлерин эсептөө абдан маанилүү инженердик маселе болуп саналат. Камерадагы жана соплодогу металл кошулган отундун күйүүсүнөн калган өнүмдөр газдын жана майда катуу бөлүкчөлөрдүн аралашмасынан турат. Кубаттуулукту суюктуктун агымын гидравликалык жактан күчөтө турган түзүлүштөрдө соплодогу агымдын энергетикалык мүнөздөмөлөрүн жогорулатыш үчүн сууга кварц кумунун бөлүкчөлөрүн же гранаттын кумдарын кошушат.

Ушундай кошулма агымдар абдан татаал структурага ээ болушуп, турбуленттик, көп фазадагы стационардык эмес окко карата симметрияга ээ илешчээк жылуулукту өткөрүүчү уруу толкундары бар агым болуп саналат, бирок көпчүлүк учурда мындай агымдарды моделдөөдө жөнөкөйлөтүлгөн бир өлчөмдүү стационардык эки фазадагы идеалдык газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын агымынын схемасы менен чектелип караса болот.

Бүгүнкү күндө буга байланыштуу агымдардын мүнөздөмөлөрүн жана түзүлүштөрдүн, аларды металл менен даярдоодон мурда долбоорлоо стадиясында эле жумушчу параметрлерин алдын ала божомолдоого көмөктөшө турган эсептик гидродинамиканын заманбап колдонмо программалардын пакеттерин колдонуу менен суюктуктардын жана газдардын агымдарын математикалык моделдөөнүн каражаттарына болгон кызыгуулардын өсүшү шартталат, **изилдөөнүн актуалдуулугу** ушуну менен түшүндүрүлөт.

Диссертациянын темасынын илимий мекемелер тарабынан жүргүзүлүүчү ири илимий программалар, негизги илимий-изилдөөчүлүк иштер менен байланышы. Диссертациялык эмгек изилдөөчүнүн демилгеси менен жүргүзүлгөн илимий иш болуп саналат.

Диссертациялык иштин максаты соплодогу “пелена” түрүндөгү үзүлүш беттери менен эки фазадагы газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн биргелешкен агымынын, тешиктери бар тосмо орнотулган кесилиши өзгөрүлмө түтүктөгү таза газдын агымын математикалык моделдөөдөн жана жогорку басымдагы суюктук агымын колдонуунун натыйжалуулугун камсыздоочу гидротехникалык аппараттардын түтүктөрүндөгү татаал газ динамикасынын кубулуштарын сандык эсептөө мүмкүндүктөрүн изилдөөдөн турат.

Диссертациялык иштин маселелери:

- газдын жана майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын эки фазадагы гетерогендик соплонун каптал бетинин астында агымын жана тешиктери бар тосмосу менен кесилиши өзгөрүлмө түтүктүн ичиндеги газдын агымын математикалык жактан моделдөө боюнча ушуга чейин болгон эмгектердин серебин жүргүзүү;

- газдын жана майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын эки фазадагы “пелена” түрүндөгү үзүлүш бет менен кошо соплодогу агымынын жана идеалдык газдын тешиктери бар тосмосу менен кесилиши өзгөрүлмө түтүктөрдөгү агымынын математикалык моделин иштеп чыгуу;

- ANSYS Fluent программалык-эсептөө комплексинде кесилиши өзгөрүлмө түтөктөрдө суюктук менен газдардын жана алардан майда бөлүкчөлөр менен бирге көп фазадагы агуу процесстерин изилдөөнүн сандык эсептөөлөрүн жүргүзүү.

Илимий жаңылыгы. “Пелена” түрүндөгү үзүлүш бети менен газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын бири бирине өтүшкөн эки суюктук катары караган соплодогу агымынын модели жана тешиктери бар тосмосу менен кесилиши өзгөрүлмө түтүктөгү идеалдык газдын стационардык агымынын модели иштелип чыкты. Бул эки маселе тең дээрлик бир өлчөмдүү коюлушта каралды.

1. “Пеленанын” түзүлүшүн б.а. пайда болушун, кыймылын жана түтүктүн каптал бетинен түшүшүн көрсөтүп турган теңдемелер жана шарттар чыгарылды, жана каптал беттен түшүшүнүн ар кандай түрлөрү жана алардын түшкөндөн кийинки эволюциясы айкындалды. Окко карата симметриясы бар Лавалдын соплосунда газдын жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын “пеленасы” менен агымынын сандык эсеби чыгарылып эсептелди.

2. Үзүлүш беттеги (тешиктери бар тосмодогу) аткарыла турган чектик туюнтмалар аныкталып жазылды жана тосмонун тегерегинде газдын агымынын локалдык структурасы дыкаттык менен изилденди. Агымга тешиктери бар тосмонун тийгизген таасиринин аныктоочу фактору тосмонун абаны өткөрүмдүүлүгүнүн даражасы экендиги далилденди.

3. ANSYS Fluent 15.0. программалык комплексинде каралган маселелердин мисалдары иштелип чыккан моделдердин эффективдүүлүгүн тастыктайт. Аралашмадагы катуу майда бөлүкчөлөрдүн көлөмдүк үлүшүнүн жана түтүккө кирип жаткандагы басымдын жогорулатуу түтүктүн каптал бетиндеги жаныма чыңалуунун б.а. сүрүлүү күчүнүн чоңдугунун жогорулашына, анын кесепетинен каптал беттин бузулушуна түтүктүн сынышына алып келээри аныкталды. Каптал беттин астына жыйналган бөлүкчөлөрдүн болгон бардык импульсу сүрүлүүдөн улам жок болот, жана каптал беттин асты менен жылган катуу бөлүкчөлөрдөн түзүлгөн катмардын импульсунун жалпы аралашмага тийгизген салымы жокко эсе экендиги да аныкталды.

Методдун аныктыгы. Компьютердик моделдөө жана сандык эксперименттер ANSYS Fluent программалык пакетте жүргүзүлдү, ал эми алынган жыйынтыктар адабий булактардагы теориялык жана эксперименттик маалыматтар менен канагаттандыраарлыктай туура келди.

Алынган жыйынтыктардын теориялык жана практикалык баалуулугу. Иштелип чыккан моделдер түтүктөрдөгү эки фазадагы агымдарды, тешиктери бар тосмосу менен түтүктөрдөгү газдардын агымын ийгиликтүү

окуп үйрөнүүгө жардам берет, жана бул каралган маселелер өз алдынча практикалык мааниге ээ, анткени тешиктери бар тосмонун эң бир олуттуу касиеттеринин бири үндүн ылдамдыгынан жогорку ылдамдыктагы газдын агымында тең салмаксыздыктарды жоюу , ызы-чуунун вибрацияларын, согуу толкундарын өчүрүү болуп саналат. Сунушталган ыкмаларды жана методдорду газдардын динамикасы тармагындагы кеңири камтылган маселелерди сандык жактан моделдөөгө, же болбосо сунушталган моделдердеги жыйынтыктарды чыгаруунун сапатын жогорулатууга же аларды ишке ашырган алгоритмдерди тездетүүгө колдонсо болот. Ансыз деле, сунушталган моделдердин негизинде алынган жыйынтыктар өз алдынча чоң практикалык мааниге ээ.

Коргоого алынып чыккан диссертациянын негизги жоболору:

1. “Пелена” түрүндөгү үзүлүш бети менен газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын эки суюктуктан турган соплодогу агымынын жана тешиктери бар тосмосу менен кесилиши өзгөрүлмө түтүктөгү идеалдык газдын стационардык агымынын иштелип чыккан дээрлик бир өлчөмдүү, эки катмарда коюлуштагы моделдери:

- “пеленанын” түзүлүшүн б.а. пайда болушун, кыймылын жана түтүктүн каптал бетинен түшүшүн көрсөтүп турган теңдемелер жана шарттар, ошондой эле “боо” түрүндөгү үзүлүш сызыктардын пайда болушу жана алардын беттен бөлүнүп түшүү шарттары;
- эки суюктуктун бири бирине өтүшкөн үзгүлтүксүз чөйрөнүн моделинде бөлүкчөлөрдүн траекторияларынын кесилишинен улам пайда болгон “пеленаны” үзүлүш бет катары кароодо алынган туюнтмалар;
- эки катмардагы агымдар үчүн алынган теңдемелер системасы тешиктери бар тосмонун газдын агымына тийгизген таасирин аныктоочу туюнтмалар жана жалпы дифференциалдык теңдемелер;
- тосмо аркылуу өткөн учурда ар кандай режимдер үчүн алынган туюнтмалар жана теңдемелер.

2. Компьютердик моделдөөнүн алынган жыйынтыктары, жана ANSYS Fluent 15.0 программалык комплексте чыгарылган окко карата симметрияга ээ болгон Лавалдын түтүгүнөн турбуленттик газдын агып чыгуу процессин сандык эсебинин изилдөөсү.

3. ANSYS Fluent 15.0 программалык комплексте чыгарылган кесилиши өзгөрүлмө түтүктөгү газдын жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын эки фазадагы агымын компьютердик моделдөө үчүн эсептик изилдөөлөрдүн алынган жыйынтыктары.

Изденүүчүнүн өздүк салымы. Коргоого алынып чыккан илимий жыйынтыктар изденүүчүнүн өзү тарабынан алынды. Маселенин максаты жана изилденүүчү маселелердин коюлушу автор жана илимий жетекчи ф.-м.и.д., профессор Сулайманова С.М. менен биргелешип жүргүзүлдү. Компьютердик моделдөө жана газ менен катуу бөлүкчөлөрдүн аралашкан эки фазадагы агымын ANSYS Fluent программалар комплексинде эсептөө үчүн жарактуу эффективдүү эсептөө алгоритмдерди иштеп чыгуу автор тарабынан жасалды.

Диссертациянын жыйынтыктарынын апробациясы. Диссертациянын негизги жыйынтыктары: “Бекемдик жана материалдардын, конструкциялардын бузулушу” деген VI эл аралык илимий конференцияда (Россия, Оренбург ш., 2010г.); “ Билим берүүдөгү маалымат технологиялары: абалы, көйгөйлөрү жана перспективалары” деген эл аралык илимий-практикалык конференцияда (Бишкек, 2011ж.); “Азиядагы маалымат технологиялары: абалы, көйгөйлөрү жана перспективалары ITRA-2014” деген эл аралык илимий-практикалык конференцияда (Бишкек, 2014 ж.); “Илим, билим берүү, инновациялар: өнүгүүнүн приоритеттик багыттары” И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик курулуш, транспорт жана архитектура университетинин (КГУСТА) 60 жылдык юбилейине арналган илимий-техникалык конференцияда (Бишкек, 2014 ж.); “Темир жол кыймылдуу составынын оңдоосунун технологиялык камсыздоосу жана динамикалык сапатын жогорулатуу” деген үчүнчү эл аралык катышуу менен бүткүл россиялык илимий-техникалык конференцияда (Россия, Омск ш., 2015ж.), профессор Яков Исаакович Рудаевдин 80 жылдык юбилейине арналган “Катуу, суюк жана газ түрүндөгү чөйрөнүн механикасы” деген эл аралык илимий конференцияда (Бишкек, 2016ж.) докладдары сунушталып окулду.

Басылып чыккан илимий эмгектерде диссертациянын жыйынтыктарынын чагылышынын толуктуулугу. Ушул диссертациялык иштин мазмуну боюнча 10 илимий макала жарык көрдү. Негизги жыйынтыктар төмөнкү илимий журналдарда басылып чыкты: «КМАКТУнун жарчысы» (2 макала), «КМТУ-тин кабарлары» (1 макала), «Вестник КРСУ» (1 макала), КР УИАнын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институтунун «Үзгүлтүксүз чөйрөнүн механикасынын заманбап проблемалары» деген илимий журналында (1 макала), Казакстандын улуттук академиясынын “Казакстандын Улуттук академиясынын докладдары” журналында жана “Казакстандын Улуттук академиясынын жарчысы” журналында (2 макала), Россиянын: Жол катташы мамлекеттик Омск университетинин, Оренбург мамлекеттик университетинин жана Н. П. Огарёв атындагы Мордва мамлекеттик университетинин илимий журналдарында (3 макала) жарык көрдү.

Диссертациянын структурасы жана көлөмү. Диссертация кириш сөздөн, төрт бөлүмдөн, корутундулардан, практикалык сунуштамалардан, колдонулган илимий булактардын тизмесинен жана тиркемеден турат. Диссертациянын негизги текстинин көлөмү 187 барак, анын ичинде 37 сүрөт, 1 таблица бар. Диссертацияда 84 библиографиялык булактар, анын ичинде 10 өздүк макалалар колдонулган.

Автор өзүнүн илимий жетекчиси физика-математика илимдеринин доктору, профессор Сулайманова Света Мукашовнага маселелерди койгондугу үчүн, ушул диссертациялык ишти аткаруу учурунда баалуу кеңештерди жана көңүл бургандыгы үчүн терең ыраазычылыгын билдирет.

ДИССЕРТАЦИЯНЫН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

Кириш сөздө проблеманын актуалдуулугу негизделген, изилдөөнүн максаты жана маселелери аныкталган, коргоого алынып чыккан негизги жоболор сунушталган, алынган жыйынтыктардын практикалык жана теориялык маанилүүлүгү түзүлүп жазылган, ошондой эле автордун жеке өзүнүн салымы көрсөтүлгөн. Жыйынтыктардын экономикалык жактан маанилүүлүгү, апробациянын жыйынтыктары жана диссертациянын темасы боюнча басылып чыккан илимий эмгектердин көлөмү чагылдырылган.

Биринчи бөлүмдө адабий булактардын сереби жана газдардын жана суюктуктардын эки фазадагы агымдарынын маселелери каралган. Бул маселелерди чыгаруунун болгон жолдору ачылып жазылган.

Экинчи бөлүмдө 2.1-бөлүктө мындан ары бул маселелерди чыгаруунун негиздери берилген. Ушул илимий иштин объектиси жана предмети аныкталган, модели жана колдонуучу методдору бул багытта негизделген.

Азыркы учурда эки суюктуктун өтүшкөн үзгүлтүксүз чөйрөсү катары кароо алкагында түтүктөрдөгү газдардын жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын эки фазадагы (эки ылдамдыктагы жана эки температуралык) агымдарынын параметрлерин эсептөө үчүн бир өлчөмдүү жакындатуу колдонулат. Эки фазадагы тең салмактагы эмес агымдар үчүн (суюк же катуу) бөлүкчөлөр түтүктүн каптал бетинин астында артта калгандыктан (моюндун областында) үндүн ылдамдыгында- жана андан чоң ылдамдыктагы агымдарда бөлүкчөлөрдөн арылган таза газдын агымынын катмары пайда болот. Газдын негизги агымындагы параметрлери таза газдын агымындагы параметрлерден абдан айырмаланат, ошондуктан мындай агымдар үчүн бир өлчөмдүү жакындатуунун катасы өсөт. Бул кемчиликти жоюунун бир жолу- эки фазадагы газ жана катуу бөлүкчөлөрдүн агымынын эки катмардуу дээрлик бир өлчөмдүү моделин түтүктүн кеңейген үндүн ылдамдыгынан жогору ылдамдыктагы агымында колдонуу эсептелет.

2.2-бөлүктө кесилиши өзгөрүлмө түтүктөрдө көп фазадагы газдардын агуу процесстеринин компьютердик моделдөө үчүн ANSYS Fluent программалык комплекстин мүмкүнчүлүктөрү анализденди. Гидродинамикалык процесстердин сандык жактан моделдөөнүн технологиялары ачылып жазылды, негизги математикалык моделдер, кийинки бөлүмдөрдө карала турган математикалык моделдердин теңдемелерин дискретизациялоонун жолдорунун негизги ыкмалары жана математикалык моделдин теңдемелерин сандык жактан чыгаруунун алгоритмдери каралды.

Үчүнчү бөлүмдө бир- жана эки фазадагы идеалдык газдын жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн агымын кесилиши өзгөрүлмө түтүктөрдө кароого арналган. 3.1-бөлүктө эки суюктуктун өтүшкөн үзгүлтүксүз чөйрөсүнүн алкагында өзгөчөлөнгөн фаза – өзүнүн басымы жок үзгүлтүксүз чөйрө, б.а. майда бөлүкчөлөр – пелена (мунарык) жана шнур (боо сымал) үзүлүш беттерди жана сызыктарды камтыган газдын жана катуу бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын агымынын математикалык модели иштелип чыкты. Пелена (мунарык) деп катуу майда бөлүкчөлөрдөн турган түтүктүн шамалданган каптал бетинин

астына жыйналган калыңдыгы жок жука катмарды айтабыз. Бул катмар каптал беттин ийрилигине жараша жабышып жылып турган жеринен түшүшү белгиленген. Пеленалардын траекториялары кесилишсе же биригишсе, анда ал жерде боо сымал шнур деп аталган үзүлүш сызыктар пайда болот. Пеленанын жана шнурлардын кыймылын стационардык агымда аныктаган теңдемелер жана туюнтмалар жазылды. Алардын түтүктүн бетинен ажырап түшүп, эркин абалга келишинин ар кандай шарттары аныкталды.

Иштелип чыккан модель түтүктөрдөгү эки фазадагы агымдарды ийгиликтүү окуп үйрөнүүгө мүмкүндүк берет. Мындай агымдарда “пелена” экинчи фазадагы катуу же суюк майда бөлүкчөлөрдүн инерциялык түрдө түтүктүн каптал бетинин астына жыйналышынан улам пайда болоору жогоруда айтылды. Бул агымдарда бөлүкчөлөрдүн эң көп жыйналган орду соплонун моюнунун тегереги болоору эсептөөлөр көрсөттү.

3.2 – бөлүктө дээрлик бир өлчөмдүү коюлушта тешиктери бар конус түрүндөгү тосмосу менен кесилиши өзгөрүлмө болгон түтүктө идеалдык газдын агымы тууралуу маселе чыгарылды, бул маселе өз кезегинде ушундай эле түтөктөгү эки фазадагы газдын жана майда бөлүкчөлөрдүн агымы жөнүндөгү маселени толуктап турат.

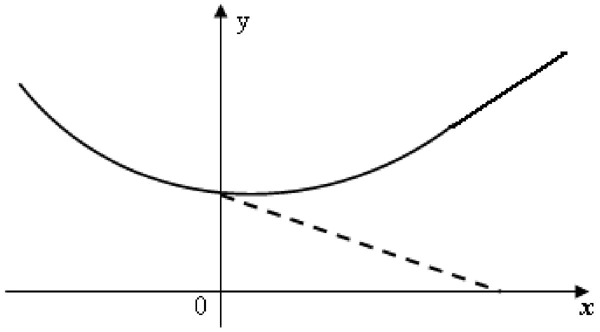
Кесилиши F(x)–каналдын огунан эсептелинген x-координатасынан белгилүү функция болгон, 1-сүрөттө көрсөтүлгөндөй тешиктери бар тосмосу менен соплодо идеалдык газдын агымы эки катмарлуу дээрлик бир өлчөмдөгү коюулушта каралды. Тешиктери бар тосмону газдын параметрлери үчүн үзүлүш бет санайбыз. Мындай беттердеги чектик шарттарды моделдин алкагында кошумча божомолдор аркылуу жазабыз, мында негизинен өткөрүмдүүлүктүн үзүлүшүнө чоң маани берилиши керек.

Окко симметриялуу учурда, p – газдын басымы, ρ - тыгыздыгы, e – бирдик ички энергия, i – бирдик энтальпия (теплосодержание), тосмо тескери конустун формасында болгондуктан, анын чокусу окто түтүктүн кеңейген жагында жатат. x огу агымдын багыты, конустун жана соплонун симметрия огу менен дал келет, ал эми y огу ага тик жайланышкан. Координат алардын баштапкы чекитин эки телонун тийишкен чекитине орнотобуз. Мейли, u – агымдын ылдамдыгынын x- компоненти болсун, a – үндүн ылдамдыгы, мында

$$e = e(p,\rho), \quad i = i(p,\rho) = e + p/\rho, \quad a = a(p,\rho), \qquad (1)$$

Оң жагындагы функциялар белгилүү функциялар . где функции, стоящие справа, известны. Жеткилең (идеалдык) газ үчүн адиабатанын көрсөткүчү κ:

$$e = p/[(\kappa-1)\rho], \quad i = \kappa p/[(\kappa-1)\rho], \quad a = (\kappa p/\rho)^{1/2}.$$



1-сүрөт. Тешиктери бар тосмосу

$y'_s(x) < 1$, болсун деп болжолдойлу, мында $y_s(x)$ - тосмонун түзүүчүсүнүн функциясы. Тосмо каналдагы агымды эки катмарга бөлүп турат. Төмөнкү катмардагы агымдын параметрлеринин окко карай өзгөрүп турушун көрсөткөн теңдемелер системасы:

$$\frac{du}{dx} = \frac{1}{F(M^2-1)}\left[\frac{(1+\nu)y_s^\nu g_m}{\rho} + u\frac{dF}{dx}\right];$$
$$\frac{dP}{dx} = -\frac{u}{F(M^2-1)}\left[(1+\nu)y_s^\nu g_m + \rho u\frac{dF}{dx}\right]; \qquad (2)$$
$$\frac{d\rho}{dx} = \frac{1}{a^2}\frac{dP}{dx}.$$

Мында g_m - тосмо аркылуу өткөн газдын расходу, *M*- Махтын саны.

Тиешелүү түрдө дал келген жогорку катмардын параметрлерин үстүнө сызык коюп белгилейбиз. Индекси m болгон белгисиздер тосмодогу газдын параметрлерине дал келет. Анда тосмодон жогору турган экинчи катмардын агымынын параметрлеринин өзгөрүшүн аныктаган теңдемелер системасы төмөнкү түрдө болот:

$$\frac{d\bar{u}}{dx} = \frac{\bar{u}}{\bar{\rho}\bar{F}(\bar{M}^2-1)}\left[(1+\nu)y_s^\nu g_m(1+\bar{M}^2+\rho_s(\bar{S}-S_m)) - \bar{\rho}\bar{u}\frac{d\bar{u}}{dx}\right];$$
$$\frac{d\bar{P}}{dx} = \frac{\bar{u}}{\bar{\rho}\bar{F}(\bar{M}^2-1)}\left[(1+\nu)y_s^\nu g_m(2\bar{\rho}+\bar{\rho}_s(\bar{S}-S_m)) - \bar{u}\bar{\rho}^2\frac{dF}{dx}\right], \qquad (3)$$

$\bar{\rho} = Q_0/\bar{u}\bar{F}$; $\bar{\rho}_s = \partial\bar{\rho}/\partial S = -\frac{\kappa-1}{\kappa}\bar{\rho}$; $S = P/\rho^\kappa$ - энтропиялык функция;

Q_0- баштапкы кесилиштеги газдын расходу. Жазылган теңдемелерде ν=0 жана 1 тиешелүү түрдө тегиздиктеги жана окко симметриясы бар агымдарга туура келет.

Тосмодогу газдын параметрлерин аныктоо максатында, тосмону үзүлүш бет катары карап, чектик туюнтмалар табылды жана тосмонун тегерегиндеги газдын агымы дыкаттык менен изилденип чыкты. Негизги чек арадагы шарттар төмөнкү түргө ээ болот:

$$[\rho u]=0;\quad [2I+V^2]=0;\quad [P+\rho u^2]=-X;\quad [\rho uv]=-Y;\quad [\rho uw]=-Z. \qquad (4)$$

Мында, баштагыдай эле $P-$ басым, ρ - тыгыздык, *I*- бирдик энтальпия, $u, v, w-$нормалдык жана туурасынан келген ***V*** ылдамдык векторунун компоненттери, $V=\sqrt{u^2+v^2+\omega^2}$ жана $[\varphi]=\varphi_+-\varphi_-$. Тосмонун сол жагындагы, б.а. тосмого чейинки газдын агымынын параметрлерине минус индексин, ал эми оң жагындагыларга – плюс индексин берип жазабыз. Ал эми тосмонун тешиктеринен өтүп жатканда газдын параметрлерине m индексин беребиз. $X, Y, Z-$ тосмонун бирдик бетине агым аракет эткен **F** күчүнүн компоненттери. Агымды жалпысынан карап жатканда тосмонун калыңдыгын жана анын тешиктеринин d- диаметрин эсепке киргизбей коюуга болот.

F күчүн аныктоо үчүн (4) туюнтмалар менен бирге газ перфорация аркылуу өтүп жаткан учурундагы локалдык структура менен байланышкан кошумча шарттар зарыл болот.

Туурасынын өлчөмдөрү узунунун өлчөмүнөн бир канча эсе аз болгон, тешиктери “коюу” тосмолор үчүн, төмөнкү барабардыктарды жазса болот:

$$v_m=\nu_+=0,\quad w_m=w_+=0. \qquad (5)$$

Бул шарттарды *X* жана Z аныктоо үчүн колдонсо болот.

X бергенден көрө газдын тосмо аркылуу өткөн ар кандай схемаларын берүү жеңил жана ыңгайлуу экендигин белгилеп кетиш керек. Тосмонун сол жагында агым үндүн ылдамдыгынан төмөн ылдамдыкта болсо, басымдын азайышы менен коштолгон газдын кысылышы изоэнтропиялык түрдө болот, б.а.

$$S_-=S_m. \qquad (6)$$

Мында $S-$ бирдик энтропия же анын ар кандай функциясы. Равенства (4), (5) вместе с (6) и отношениями:

$$f\rho_m u_m=\rho_- u_-,\quad 2I_m+u_m^2=2I_-+V_-^2\ . \qquad (7)$$

Абалдын теңдемелери $I=I(P,\rho)$ жана $S=S(P,\rho)$ тосмонун сол жагындагы параметрлерди анын минималдуу кесилишиндеги параметрлер менен байланыштырып турган шарттардын системасын түзүшөт, мында $f=\sum_m/\sum$ – перфорациянын кысылуу даражасы .

P1 режиминде, качан $M_m<1$, белгилүү үзүлүүчү агып чыгуунун белгилүү схемасы (удар Борда) орун алат, тосмонун оң жагында ага турактуу басым $P=P_m$ таасирин тийгизет. Бул этапта тешиктер агымдын багытында ичкерет, же турактуу кесилишке ээ болушат.

P1 режиминде (4) үчүнчү теңдемеси төмөнкү түргө ээ:

$$P_+ +\rho_+u_+^2=P_m+f\rho_m u_m^2 \qquad (8)$$

Ушул режимде (4)–(8) теңдемелерине кирген чоңдуктар бир эле учурда үзүлүштү ажырашы маселесин чыгаруунун жардамы менен табылат.

Жогоруда каралган эки маселеде тең агым дээрлик бир өлчөмдүү эки катмардагы эки суюктуктун өтүшкөн газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн

аралашмасынын агымынын жана идеалдуу газдын перфорациялары бар тосмосу менен каналдагы агымынын моделдери менен каралат, жана бул катмарларды биринчи маселеде пелена, экинчи маселеде тосмо бөлүп турат. Пелена сыяктуу эле тосмо дагы газдын параметрлер үчүн гидродинамикалык үзүлүш бет болуп саналат, жана аларда сакталуунун мыйзамдары так аткарылат. Үзүлүш беттердеги агып чыгуунун ар кандай режимдеринде аткарыла турган туюнтмалар толугу менен жазылып келтирилген. Ээр түрүндөгү өзгөчө чекит, б. а. Үндүн ылдамдыгына барабар ылдамдыкта агып өтүү жүргүзүлгөн. Катмарлардагы газдын жана аралашмалардын бардык мүнөздүү параметрлери аныкталган.

Үндүн ылдамдыгынан аз ылдамдыкта агып киришинде үзүлүш беттеги туюнтмалар пеленада да, тосмодо да энтропиянын сакталышы тууралуу божомолду колдонуу менен алынды, ал эми ал беттен агып чыгышында «удар Борда» схемасы колдонулду.

Тешиктери бар тосмонун өткөрүмдүүлүк даражасын өзгөрткөндө жалпы газдын агымынын бир топ өзгөрүшүнө алып келээрин аткарылган сандык эсептөөлөр көрсөттү.

3.3-бөлүктө үзүлүш беттерде алынган туюнтмаларды текшериш үчүн жана иштелип чыккан моделди демонстрация алоо үчүн эки фазадагы газ жана майда бөлүкчөлөрдөн турган аралашманын агымын кесилиши өзгөрүлмө түтүктө-соплодо эки катмарлуу дээрлик бир өлчөмдүү коюлушта каралды.

Тик же цилиндрдик координаталар системасын колдонуу менен координаталар башталмасын пелена каптал беттен түшкөн тегиздикке орнотобуз, х огун агымдын багытына жараша симметрия огунун үстүнө, ал эми у огун ага тик коёбуз.

Ушул маселеге тиешелүү теңдемелер:

$$e+\frac{u^2}{2}+W\left(e_s+\frac{u_s^2}{2}\right)=\text{const},$$
$$\rho udu+\rho uWdu_s+dP=0, \qquad (9)$$
$$\frac{du_s}{dx}=\varphi^f\left(\frac{u}{u_s}-1\right),\ \frac{dT_s}{dx}=\varphi^q\frac{T-T_s}{u_s},\ \rho uF=\text{const},$$

u –агымдын ылдамдыгынын *x* – компонентасы, *P*– басым, *T* – температура, ρ – тыгыздык, *e* – газдын бирдик ички энергиясы, $F(x)$– соплонун кесилишинин аянты, *W* – бөлүкчөлөрдүн жана газдын расходдорунун катышы. Тиешелүү бөлүкчөлөрдүн параметрлерине *s* индекси жазылган.

Абалдын теңдемелери:

$$e=e(P,T),\rho=\rho(P,T),e_s=e_s(T_s), \qquad (10)$$

(9) -дун оң жагындагы φ^f жана φ^q термодинамикалык параметрлерден жана салыштырмалуу ылдамдык $u-u_s$ көз каранды болгон, бирок алардын туундуларынан көз каранды эмес белгилүү функциялар болуп саналышат.

(9) теңдемелер системасы үзгүлтүксүз областтарда, б.а. пеленадан сырткары орун алаарын белгилеп кетүү керек.

Жогоруда каралган маселедегидей эле эки катмарлуу моделди карайбыз, бул катмарларды дубалдан түшкөн пелена бөлүп турат.

Үстүндө сызыгы бар чоңдуктар менен таза, пеленадан өткөн жогорку катмардагы газдын параметрлерин белгилейбиз. m индекси бар чоңдуктар менен пеленадагы газдын параметрлерин белгилейбиз. Эки катмардагы аралашма агымдын жана таза газдын агымын аныктаган дифференциалдык теңдемелерди төмөндөгүдөй түрдө жазабыз:

$$\begin{gathered}
\frac{d\rho uF}{dx} = -(1+v)y_s^v(x)g_m, \\
\frac{d(\rho u^2F + PF + \rho_s u_s^2 F)}{dx} = PF' - (1+v)y_s^v(x)g_m, \\
\frac{d\rho uFS}{dx} = -(1+v)y_s^v(x)g_m S, \\
\frac{d\bar{\rho}\bar{u}\bar{F}}{dx} = (1+v)y_s^v g_m, \ \frac{du_s}{dx} = \varphi^f\left(\frac{u}{u_s} - 1\right), \\
\frac{d(\bar{\rho}\bar{u}^2\bar{F} + \bar{P}\bar{F})}{dx} = PF', \ \frac{dT_s}{dx} = \varphi^q \frac{T - T_s}{u_s}, \\
\frac{d\bar{\rho}\bar{u}\bar{F}\bar{S}}{dx} = (1+v)y_s^v(x)g_m S_m, \ \rho_s = \frac{(y_s^{1+v}\rho_s u_s)}{y_s^{1+v}u_s},
\end{gathered} \tag{11}$$

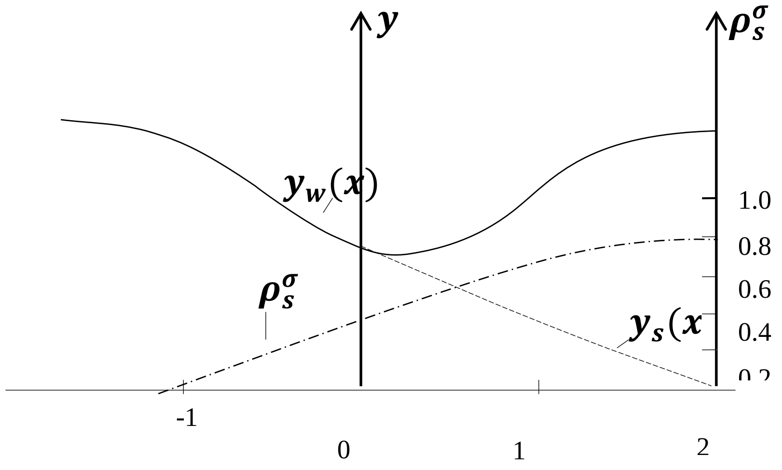
мында $y_s(x)$ – эркин пелененын теңдемеси, $\nu=0$ жана 1 тегиздиктеги жана окко симметриялуу агымдардын учурлары, g_m - газдын пелена аркылуу агып чыккандагы расходу, S - энтропиялык функция.

Маселени чыгаруунун жыйынтыгында дубалдан түшкөн эркин пелена ага түшкөн бөлүкчөлөрдү өзүнө жыйнап, аралашманы чыпкалагандай кылып газ ал аркылуу өтөөрү көрсөтүлдү. Дубалдан чоюлуп түшкөн пелена түтүктүн моюнундагы беттин түзүүчүсүнүн ийрилишине жараша же окко чейин жетет да октун тегерегине жыйналып боо сымал “шнурга” айланат, же түтүктүн кеңейген жагында кайра түтүктүн каптал бетине чейин жетээри белгиленди.

Эркин пелена окко жетип боого “шнурга” айланганда анын калыңдыгы нөл болгондуктан ага бөлүкчөлөр түшпөйт, ушунун себебинен газ менен шнурдун өз ара аракеттенүүсү жокко эсе (2-сүрөт). Ушинтип, шнур окко туура келип түз траектория боюнча кыймылдайт да төмөнкү туюнтмалар менен аныкталган турактуу параметрлерге ээ болот:

$$\begin{gathered}
\rho^1 U^1 = 2\pi y \rho_s^\sigma U_s^\sigma = \text{const} + O(y^2), \ \rho^\sigma \sim \frac{1}{y}, \\
\rho^1 U^1 U^1 = 2\pi y \rho_s^\sigma (U_s^\sigma)^2 \cos\beta = \text{const} + O(y^2), \\
\rho^1 U^1 E^1 = 2\pi y \rho_s^\sigma U_s^\sigma E_s^\sigma = \text{const} + O(y^2),
\end{gathered} \tag{12}$$

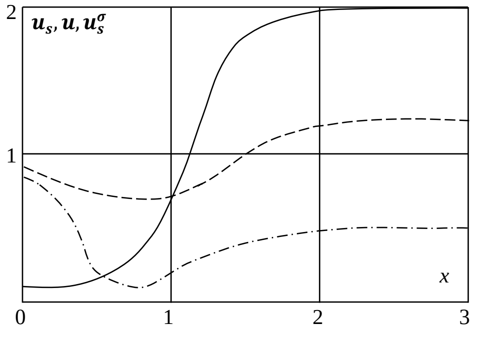
β - эркин пелена жана x огунун ортосундагы бурч.



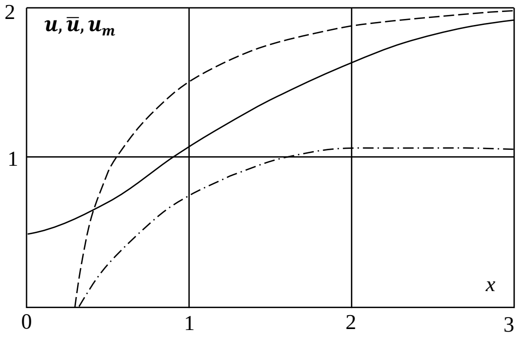
2-сүрөт. Эркин пелена

Окко карата пелененанын, бөлүкчөлөрдүн жана газдын ылдамдыктарынын таралыштары 3-сүрөттө көрсөтүлдү. Мында үзгүлтүксүз сызык менен газдын ылдамдыгы, штрих сызыгы менен бөлүкчөлөрдүн ылдамдыгы, ал эми штрих пунктир сызыгы менен пелененанын ылдамдыгы көрсөтүлдү. Газ менен өз ара аракеттенүүсүнөн улам пелененанын ылдамдыгы азаят, себеби газ аны артка тартып токтотот, андан кийин ылдамдыгы өсө баштайт, анткени газ аны өзү менен кошо ала кетет.

Пелененанын өткөрүмдүүлүгүнүн даражасын туруктуу кылып тандайбыз $m_s = f = 0.81 \div 0.91$. 4-сүрөттө газдын ылдамдыктары төмөнкү (үзгүлтүксүз сызык) жана жогорку (штрих сызыктар) агымдын катмарларында көрсөтүлгөн.



3-сүрөт. Пелененанын, бөлүкчөлөрдүн жана газдын ылдамдыктарынын таралыштары



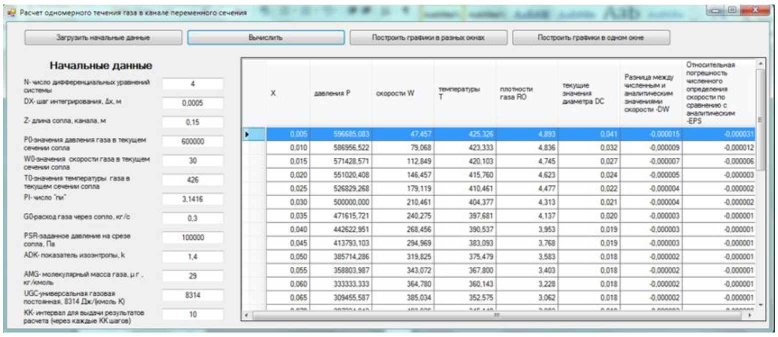
4-сүрөт. Газдын ылдамдыктары төмөнкү жана жогорку агымдын катмарларында

Алынган чыгарылыштар эки фазадагы агымдын тоңгон режиминде, б.а. газ менен катуу бөлүкчөлөрдүн өз ара аракеттенүүлөрү дээрлик жок болгондо ишке ашаарын белгилей кетүү керек.

Сандык моделдөөнүн жыйынтыгында Microsoft Visual Studio 2010 программалык чөйрөдө объектке багытталган программалоо C# тилин колдонуу менен компьютердик программа иштелип чыкты (5-сүрөт).

(11) дифференциалдык теңдемелер системасын 4-тартиптеги тактыкта Рунге-Кутта Адамстын методу колдонулду.

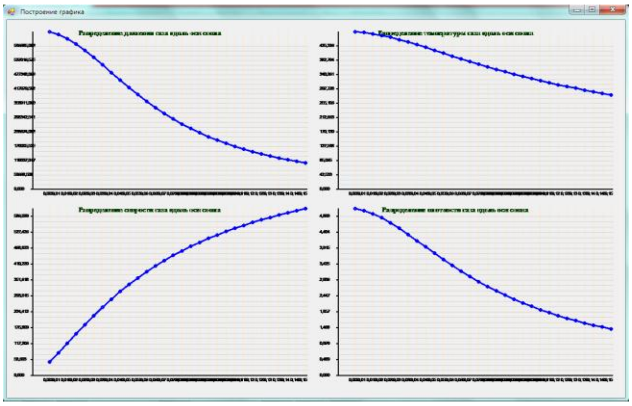
Компьютердик программалар интуитивдик интерфейске ээ жана студенттер үчүн коолдонууда түшүнүктүү, программанын функционалы Рунге-Куттанын методунун алгоритмин ишке ашырат. Ошондой эле сандык эксперименттердин жыйынтыктарын салыштырма катасы $\varepsilon=10^{-6}$ менен аралашманын жана газдын параметрлеринин жыйынтыктарын таблицалык түрдө жана график түрүндө алууга мүмкүндүк түзөт.



X	давления P	скорости W	температуры T	плотности газа RO	текущие значения диаметра DC	Разница между численным и аналитическим значениями скорости -DW	Относительная погрешность численного определения скорости по сравнению с аналитическим -EPS
0,005	596685,083	47,457	425,326	4,893	0,041	-0,000015	-0,000031
0,010	586956,522	79,068	423,333	4,836	0,032	-0,000009	-0,000012
0,015	571428,571	112,849	420,103	4,745	0,027	-0,000007	-0,000006
0,020	551020,408	146,457	415,760	4,623	0,024	-0,000005	-0,000003
0,025	526829,268	179,119	410,461	4,477	0,022	-0,000004	-0,000002
0,030	500000,000	210,461	404,377	4,313	0,021	-0,000004	-0,000002
0,035	471615,721	240,275	397,681	4,137	0,020	-0,000003	-0,000001
0,040	442622,951	268,456	390,537	3,953	0,019	-0,000003	-0,000001
0,045	413793,103	294,969	383,093	3,768	0,019	-0,000003	-0,000001
0,050	385714,286	319,825	375,479	3,583	0,018	-0,000002	-0,000001
0,055	358803,987	343,072	367,800	3,403	0,018	-0,000002	-0,000001
0,060	333333,333	364,780	360,143	3,228	0,018	-0,000002	-0,000001
0,065	309455,587	385,034	352,575	3,062	0,018	-0,000002	-0,000001

5-сүрөт. Эсептөөнүн жыйынтыктарын таблицасы

Эсептөөнүн жыйынтыктарын график түрүндө сунуштоо же көрүнүктүү кылуу газдардын жана аралашманын агуу процесстеринин физикалык параметрлерин баалоого жана мыйзам ченемдүүлүктөрдү орнотууга 6-сүрөттө көрүнүп тургандай мүмкүндүк түзөт.



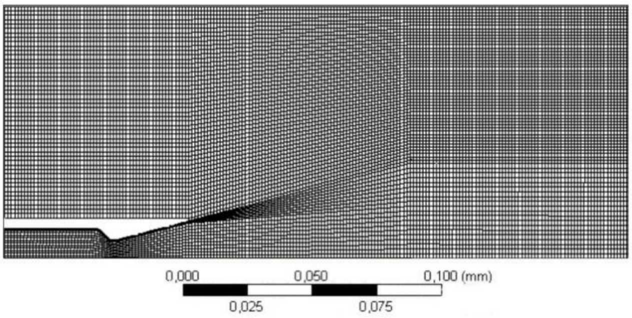
6-сүрөт. Газдын параметрлеринин таралыштарынын графиктери бир терезеде

Төртүнчү бөлүмдө CFD-методун колдонуу менен ANSYS Fluent 15.0 колдонмо программалык пакетте жана өзгөрүлмө кесилиштеги каналдарда газдардын агуу процесстеринин компьютердик моделдөөсүнүн каражаттарынын жардамы менен алынган эсептөө эксперименттеринин жыйынтыктар сунушталды.

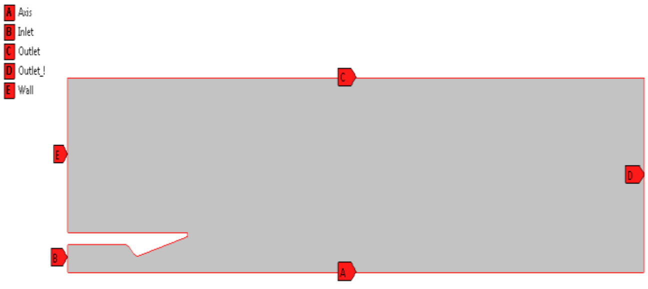
4.1-бөлүктө эки өлчөмдүү коюулушта диффузордон б.а. сопло-түтүктүн ичкерип кете турган жагынан турбуленттик газдын агып чыгуусу каралган.

Эсептөөнүн областы жана агымдын өзү симметриялуу, ошондуктан маселени областтын жарымында гана караса болот (7-сүрөт). Тордогу моделди жаратуу үчүн тордун параметрлери берилет, адегенде аларды ондоо жана ченөөлөр жүргүзүлөт. Илешчээк кысылган суюктуктардын турбуленттик агымын эсептегенге мүмкүндүк түзгөн эки өлчөмдү төрт бурчтук элементтерди колдонобуз. Эсептөө областы симметрия огунда соплого жакын бөлүктөрдө бир калыпта эмес жайланышкан элементтерге бөлүнөт, агымдын параметрлеринин градиенттери чоң болгон тилкелерде суюктуктун агымынын негизги тилкесинде жана дубалдын бетинде жакын элементтер жыш жайланышкан жана алардын өлчөмдөрү анча чоң болбойт. Градиенттери төмөн болгон башка тилкелерде элементтер сейрек жайланышкан жана алардын өлчөмдөрү чоң болот. Эсептөө областынын параметрлерин берүүдө 21205 элемент талап кылынды. Жетишээрлик тактыктагы жыйынтыктарды алуу үчүн эсептөө 40000 итерацияны талап кылып, 12 саатка жакын созулду. Төмөнкүдөй компьютердин конфигурациясы колдонулду: процессор - Intel ® Core (TM) i3-2350 CPU, ядронун такттык жыштыгы 2,30 ГГц (стандарттык жыштыкта 2,30 ГГц); процессордун тиби – төрт ядролуу; оперативдик тутуу эси 4 Гб.

Жумушчу тело катары суюктукту (fluid) – жылуулук сыйымдуулугунун коэффициенти C_p туруктуу басымда туруктуу илешчээк газдын моделин– Air Ideal Gas (constant C_p) тандайбыз. Динамикалык илешчээктик Сазерленддин законуна баш ийет (температуралык көз карандылык). Чектик шарттарды 8-сүрөттө келтирилген эсептөө областынын схемасына ылайык аныктайбыз: Түтүктүн кире беришинде: толук басымды (pressure-inlet) P = $2.5{\cdot}10^5$ Па; турбуленттиктин параметрин - Turbulent Intensity=1.5%,Turbulent Length Scale= 10 мм; температураны T = 287 K аныктайбыз. Эсептөө областынын чыга беришинде: толук басым (pressure-outlet) P = $1.008{\cdot}10^5$ Па; температура T = 294 K; турбуленттиктин параметрин кире бериштегидей эле маанилерин беребиз. Түтүктүн каптал беттеринде (wall): температура T = 287 K.

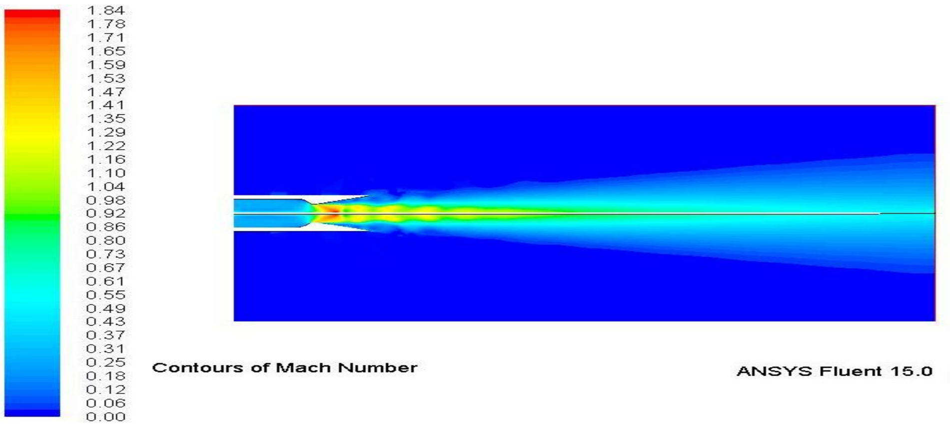


7-сүрөт. Торчодон турган модель



8-сүрөт. Чек аралар

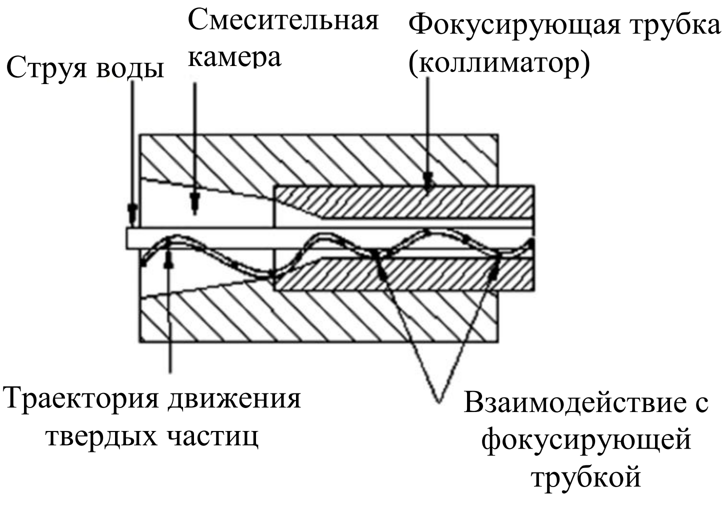
Лавалдын соплосунан агып чыккан турбуленттик агуу процессинин эсептөө менен изилдөөлөр жана каналдын дубалынын астындагы агымды моделдөө үчүн колдонула турган турбуленттиктин k-ε - моделин тестирлөө жүргүзүлдү (9-сүрөт).



9-сүрөт. Махтын сандарынан түзүлгөн талаа

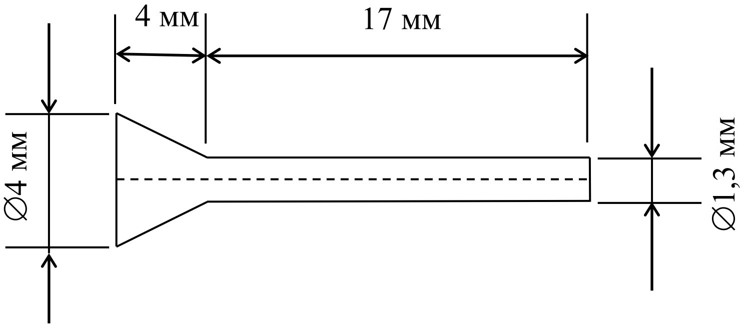
Соплодон агып чыккан турбуленттик агымды сандык жактан моделдөө үчүн жогорку тартиптеги чектүү элементтердин методу колдонулду. Тордук моделдин сапаты эсептөө эксперименттеринин жыйынтыктарына олуттуу таасир көрсөтөөрү айкындалды.

4.2-бөлүктө агуу процессинин физикалык мыйзам ченемдүүлүктөрүн жана түтүктүн жешилишине кирүүдөгү басымдын жана бөлүкчөлөрдүн үлүшүнүн тийгизген таасирин аныктоо максатында эки фазадагы суюктуктун жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын агымы соплонун насадкасында эсептелип чыгарылды (10-сүрөт). Эсептик область 11-сүрөттө чагылдырылды.



10-сүрөт. Катуу бөлүкчөлөрдүн суунун агымы менен аралашуу процесси

Агымдын сандык модели Эйлердин көп фазалык моделин колдонуу менен жүргүзүлдү. Стационардык кысылбаган агым үчүн жекече туундуларда жазылган массанын, кыймыл санынын, энергиянын сакталуу закондорунун дифференциалдык теңдемелери жазылды, ар бир фаза үчүн көлөмдүк үлүштөр жана ар бир фаза үчүн аныкталып жазылган кыймыл саны д.т. системасын чыгаруу менен эсептелинди.



11-сүрөт. Эсептөө областынын өлчөмдөрү

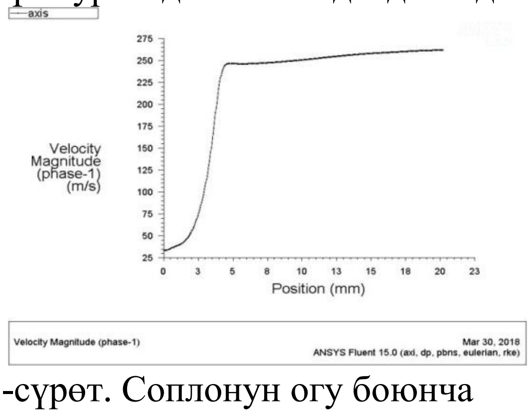
Газдын жана катуу бөлүкчөлөрдүн агымын сандык моделдөөдө эки фазаны беребиз, суу агызып алып жүрүүчү чөйрө – суюк I - фаза , ал эми гранаттын куму катуу бөлүкчөлөр катары II-фаза. Анализде колдонулган эки фазанын баштапкы берилген параметрлери 1-таблицада берилди.

Таблица1.- Моделдөө үчүн материалдардын баштапкы берилген параметрлери

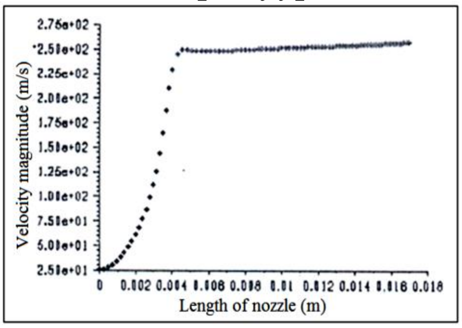
№	Параметрлер	Маанилери
1	Катуу бөлүкчөлөрдүн көлөмдүк үлүшү	5%, 10%, 15
2	I- фазанын – суюк фазанын тыгыздыгы	998,2кг/м^3
3	II -фазанын – катуу фазанын (гранаттын куму) тыгыздыгы	2300 кг/м^3
4	I –фазанын илешчээктиги	0,001003 кг/(м.с)
5	II- фазанын илешчээктиги	1,7894е-05 кг/(м.с)
6	бөлүкчөнүн өлчөмү	0.1 мм

G. Hu, W.Zhu, T.Yu J. Yuan эмгегиндеги жасалган эксперименттердин жыйынтыктары ушул сандык моделдин аныктыгын, адекваттуулугун тастыктоо үчүн колдонулду.

Сандык моделдөөдөн аныкталган суюк фазанын ылдамдыгынын таралышынын графиги (12-сүрөт) G. Hu, W.Zhu, T.Yu J. Yuan макаласында келтирилген график менен салыштырылды (13-сүрөт). Бул графиктерден көрүнүп тургандай эки моделде ылдамдыктар боюнча өз ара туура келди.



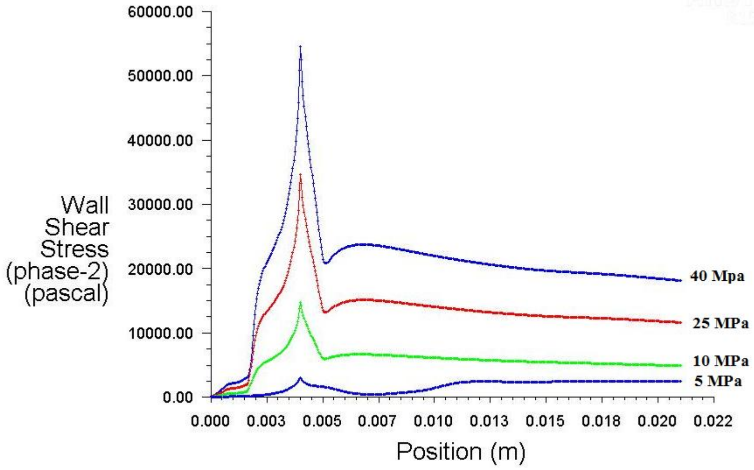
12-сүрөт. Соплонун огу боюнча ылдамдыктын таралышы



13-сүрөт. G. Hu жана башкалардын макаласындагы суюк фазанын ылдамдыгынын таралышы

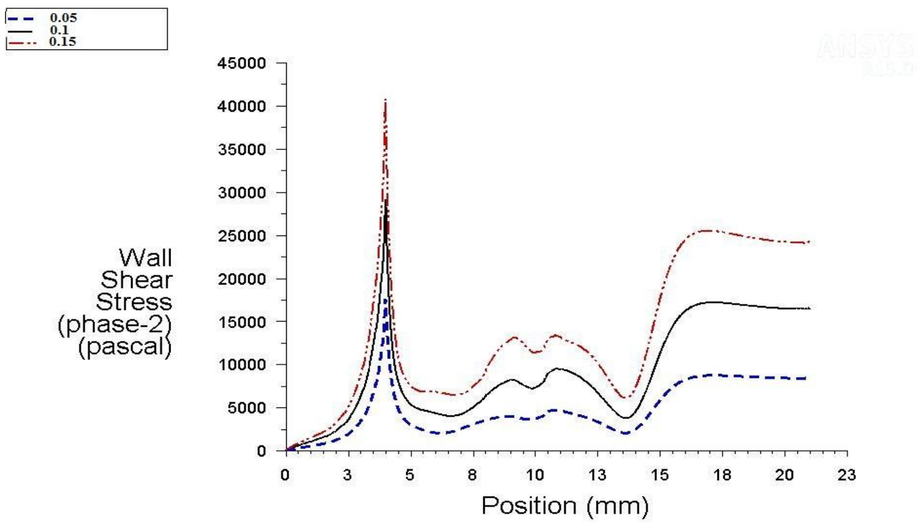
Эки фазалуу газдын жана катуу бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын кесилиши өзгөрүлмө каналдагы агымын эсептөө каралды жана турбуленттиктүүлүктүн k-ε моделин тестирлөө жүргүзүлдү.

Каналдын каптал беттериндеги жаныма чыңалууга каналга кире бериштеги жумушчу басымдын жана катуу бөлүкчөлөрдүн көлөмдүк үлүшүнүн тийгизген таасиринин мыйзам ченемдүүлүктөрү аныкталды (14-сүрөт).



14-сүрөт. Кирүүчү басымдын жана жаныма чыңалуунун көз карандылыгы

Түтүккө кире бериштеги жумушчу басымдын ар кандай берилген маанилери үчүн каптал беттин астындагы жаныма чыңалуу, б.а. сүрүлүү күчү түтүктүн моюнуна жакындаган сайын өсө тургандыгы, жана өзүнүн эң чоң маанисине критикалык тилкеде жете тургандыгы аныкталды. Бул каналдын критикалык кесилишинин аянды өзгөргөнүнө байланыштуу ылдамдыктын градиентинин тез өзгөргөнүнөн келип чыкты (15-сүрөт).



15-сүрөт. Аралашмадагы бөлүкчөлөрдүн көлөмдүк үлүшүнүн жана сүрүлүү күчүнүн көз карандылыгы

Аралашмадагы катуу бөлүкчөлөрдүн көлөмдүк үлүшүн жогорулаткан сайын каптал беттердин бетиндеги сүрүлүү күчүнүн чоңдугу да жогорулагандыгы, ушунун кесепетинен түтүктүн бетинин жышылуусу тездей тургандыгы аныкталды. Катуу бөлүкчөлөрдөн турган катмардагы импульстун бардыгы сүрүлүү күчүнүн таасиринде жок болот, жана аралашманын импульсуна кошкон салымы абдан эле аз экендиги далилденди.

Компьютердик эсептөөлөрдө каптал беттин астындагы катмарга контролдук көлөмдөр методу колдонулду.

4.4-бөлүктө инженерлерди даярдоодо компетенттик мамилени ишке ашыруу алкагында гидродинамиканын математикалык моделдерин, сандык методдорду, инженердик эсептөөлөрдүн системаларын жана технологияларын, атайын сабактарды окутууда CAE/CAD – технологияларын колдонуунун зарылдыгынын негизделиши берилди. Инженердик багыттар боюнча адистерди даярдоодо техникалык-экономикалык маселелерди чечүүдө түзүлгөн профессионалдык компетенциянын модели сунушталды. Моделдин негизин төмөндөгүдөй компетенциялар түздү: жалпы профессионалдык жана, профилдик-багытталган компетенциялар, базалык технологияларды билүү компетенциялары, баштапкы (жумушчу) компетенциялар, кошумча компетенциялар.

4.4-бөлүктө окутуунун технологиялары: «Эсептөө методдору», «Татаал системаларды моделдөө», «Эсептөо экспериментин пландаштыруу», «Эсептөө гидродинамикасы», «Гидрогазодинамика» жана башка сабактар боюнча проблемалык-багытталган маселелерди чечүүдө окуп билимдерди алууда, таанууда жана практикалык ыкма алууда зарыл түзүүчү катарында кейс-метод, имитациялык моделдөө, изилдөө методу сунушталды.

Кесилиши өзгөрүлмө каналдардагы газдардын жана суюктуктардын стационардык агымын эсептөөнүн усулу иштелип чыкты. Бул ыкмалар ушундай агымдарды изилдөөдө адекваттуу моделдерди жана анык жыйынтыктарды алууга мүмкүндүк түзөт. (3-тиркеме).

НЕГИЗГИ ЖЫЙЫНТЫКТАР ЖАНА КОРУТУНДУЛАР

1. “Пелена” түрүндөгү үзүлүш бети менен газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын бири бирине өтүшкөн эки суюктук катары каралган соплодогу агымынын модели жана тешиктери бар тосмосу менен кесилиши өзгөрүлмө түтүктөгү идеалдык газдын стационардык агымынын модели иштелип чыкты.

2. “Пелена” түрүндөгү үзүлүш бети менен газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын бири бирине өтүшкөн эки суюктук катары каралган соплодогу агымынын сандык эсептөөлөрү жүргүзүлдү, каптал беттин астында катуу бөлүкчөлөрдүн жыйналышынан улам пайда болгон пеленанын, б.а. жука калыңдыгы жок катмардын беттен түшүшү менен байланыштуу маселени өзгөчөлүктөрү белгиленди.

3. Кесилиши өзгөрүлмө тешиктери бар тосмосу менен каналда идеалдуу газдын агымы тууралуу маселенин сандык эсептөөлөрү ишке ашырылды, каралган эки катмардагы газдын агымынын параметрлери аныкталды, жалпы агымга тосмонун тийгизген таасири көрсөтүлдү. Перфорациялары бар тосмонун агымга тийгизген таасиринин аныктоочу фактору болуп анын өткөрүмдүүлүк даражасы экендиги аныкталды.

4. Лавалдын соплосунан окко симметриялуу газдын турбуленттик агып чыгышынын компьютердик моделдөөсү жана ANSYS Fluent 15.0. программалык комплексинде эсептөөлөр менен изилдөөлөрү жүргүзүлдү. Эсептөөлөрдүн жыйынтыгында агымдын уруу-толкундук структурасы канагаттандыраарлык түрдө чагылдырылды, турбуленттик агымдын жылышуу зонасында пайда болгон чоң куюндар басымдын пульсацияланган талаасын пайда кылаары аныкталды. Убакыт боюнча басымдын орточо мааниси агымдын туура кесилишине жайланган, куюн кептелген эки параллель сызыктардын ортосундагы салыштырма аралыктан көз каранды болоору көрсөтүлдү.

5. ANSYS Fluent 15.0. программалык комплексинде кесилиши өзгөрүлмө каналдарда газдын жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн эки фазадагы агымынын эсептөөлөрү жүргүзүлдү. Аралашмадагы катуу майда бөлүкчөлөрдүн көлөмдүк үлүшүнүн жана түтүккө кирип жаткандагы басымдын жогорулатуу түтүктүн каптал бетиндеги жаныма чыңалуунун б.а. сүрүлүү күчүнүн чоңдугунун жогорулашына, анын кесепетинен каптал беттин бузулушуна түтүктүн сынышына алып келээри аныкталды. Каптал беттин астына жыйналган бөлүкчөлөрдүн болгон бардык импульсу сүрүлүүдөн улам жок болот, жана каптал беттин асты менен жылган катуу бөлүкчөлөрдөн түзүлгөн катмардын импульсунун жалпы аралашмага тийгизген салымы жокко эсе экендиги да аныкталды.

6. Кесилиши өзгөрүлмө каналдарда идеалдык газдын стационардык агымынын адекваттуу моделдерди түзүүгө жана анык жыйынтыктарды алууга мүмкүндүк түзгөн эсептик изилдөөлөрүнүн ыкмалары жана компьютердик моделдөөсү иштелип чыкты.

ЖАРЫК КӨРГӨН ИЛИМИЙ ИШТЕРДИН ТИЗМЕСИ

1. Картанова, А.Дж. Технологические задачи объемного формоизменения [Текст] / А.Дж. Картанова, Я. И. Рудаев, С.М. Сулайманова //Материалы VII Междунар. науч. конф. «Прочность и разрушение материалов и конструкций». – Оренбург, 2010. – Т.2. – С.501-511.
2. Картанова, А.Дж. Компетентностный подход в подготовке IT-специалистов [Текст] / А.Дж. Картанова, А.А.Тороев // Вестн. Кырг. гос. ун-та строительство, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. Междунар. науч.-практ. конф. – Бишкек, 2011. – Т. 1, № 2(32). – С. 34-38. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22767507 – Загл. с экрана.

3. Картанова, А.Дж. Двухжидкостные течения смеси газа и твердых частиц с «пеленами» и «шнурами» в сопле Лаваля [Текст] / А. Дж. Картанова, С.М. Сулайманова // Вестн. Кырг. гос. ун-та строительство, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. Междунар. науч.-практ. конф. – Бишкек, 2014. – № 2(44). – С.116-121. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24325011 – Загл. с экрана.
4. Картанова, А.Дж. Расчет двухжидкостного течения смеси газа и твердых частиц в сопле с разрывами типа «пелены» и «шнура» [Текст] / А.Дж. Картанова, С.М. Сулайманова, Н. Кожомбердиева // Изв. КГТУ им. И. Раззакова. Материалы Междунар. науч. конф. «Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития». – Бишкек, 2014. – Ч. 2, № 32. – С.53-57. – Режим доступа: http://libkstu.on.kg/wp-content/uploads/2014/news_32_2_2014.pdf – Загл. с экрана.
5. Картанова, А.Дж. Численное моделирование истечения струи из сопла Лаваля [Текст] / А.Дж. Картанова // Современные проблемы механики сплошных сред. – Бишкек, 2014. – Вып.20. – С.205-210.
6. Картанова, А.Дж. Моделирование процессов течения газа в областях с перфорированными перегородками [Текст] / А.Дж. Картанова, С.М. Сулайманова // Вестн. НАН Респ.Казахстан. – Алматы, 2015. – № 3. – С.60-66. – Режим доступа: http://nauka-nanrk.kz/ru/assets/%D0%B6%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0%D0%BB%202015%203/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA_03_2015_%D0%93%D0%9E%D0%A2%D0%9E%D0%92.pdf – Загл. с экрана.
7. Картанова, А.Дж. Расчет двухфазного течения смеси газа и твердых частиц в канале с разрывами типа «пелены» и «шнура» [Текст] / А.Дж. Картанова, С.М. Сулайманова // Докл. НАН Респ. Казахстан. – Алматы, 2015. – № 3. – С.143-148. – Режим доступа: http://nblib.library.kz/elib/library.kz/jurnal/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4_03_2015/Kartanova0315.pdf – Загл. с экрана.
8. Картанова, А.Дж. Расчет течения в трубе переменного сечения с перфорированной перегородкой [Текст] / А.Дж. Картанова, С.М. Сулайманова, Ж. Темирбеков // Материалы третьей Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2015. – Ч. 3. – С.132-137. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24953696 – Загл с экрана.
9. Картанова, А.Дж. Технологии процесса обучения при изучении биоэтики [Текст] / А.Дж. Картанова, Ж.В. Чашина // Интеграция образования. – Саранск, 2016. – Т. 20, № 1. – С.97-104. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=25609164 – Загл с экрана.
10. Картанова, А.Дж. Компьютерное моделирование истечения струи из сопла Лаваля [Текст] / А.Дж. Картанова, С.М. Сулайманова // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – Бишкек, 2017. – Т.17, № 5. – С.31-33. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29729467 – Загл. с экрана.

Картанова Асель Джумановнанын «Кесилиши өзгөрүлмө түтүктөрдөгү газ агымдарынын процесстерин CAE-технологияларын колдонуу менен математикалык моделдөө» деген темадагы, адистиги: 05.13.18 «Математикалык моделдөө, сандык эсептөөлөр жана программалардын комплекси» боюнча физика-математика илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алууга диссертациясынын

ТАРЖЫМАЛЫ

Ачкыч сөздөр: математикалык модель, газдын агымы, катуу бөлүкчөлөр, эки фазалуу агымдар, дээрлик бир өлчөмдүү коюулуш, перфорацияланган тосмо, сопло, ANSYS Fluent, сандык методдор, программа.

Изилдөөнүн объекти жана предмети: кесилиши өзгөрүлмө каналдарда газдын жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн эки фазадагы агымдары жана бул процесстерди сандык эсептөөлөрү, ошондой эле ANSYS Fluent 15.0 программалык комплексте ушуга окшош агымдардын эсептөө изилдөөлөрүн жүргүзүү.

Диссертациялык иштин максаты: Сопло-түтүктөгү "пелена" түрүндөгү үзүлүш беттери менен эки фазадагы газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн биргелешкен агымынын, тешиктери бар тосмо орнотулган кесилиши өзгөрүлмө түтүктөгү таза газдын агымын математикалык моделдөөдөн жана жогорку басымдагы суюктук агымын колдонуунун натыйжалуулугун камсыздоочу гидротехникалык аппараттардын түтүктөрүндөгү татаал газ динамикасынын кубулуштарын сандык эсептөө мүмкүндүктөрүн изилдөөдөн турат.

Изилдөөнүн методдору: үзгүлтүксүз чөйрөнүн механикасынын теориясы, гидродинамикалык эсептөөлөрдүн методдору, жакындатылган эсептөөлөр методдору.

Аппаратура: ноутбук Intel Core i3, ANSYS Fluent 15.0.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы: "Пелена" түрүндөгү үзүлүш бети менен газ жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн аралашмасынын бири бирине өтүшкөн эки суюктук катары караган соплодогу агымынын модели жана тешиктери бар тосмосу менен кесилиши өзгөрүлмө түтүктөгү идеалдык газдын стационардык агымынын модели иштелип чыкты. Бул эки маселе тең дээрлик бир өлчөмдүү коюлушта каралды. ANSYS Fluent 15.0. программалык комплексинде кесилиши өзгөрүлмө каналдарда газдын жана катуу майда бөлүкчөлөрдүн эки фазадагы агымынын эсептөөлөрү жүргүзүлдү.

Изилдөөнүн корутундуларын колдонуу: Иштелип чыккан кесилиши өзгөрүлмө каналдардагы газдын жана катуу бөлүкчөлөрдүн эки фазалуу агымынын моделдери жана ыкмалар газдардын динамикасынын кеңири камтылган маселелерин сандык жактан чыгарууда инструмент, же чыгарылыштарды жакшыртуунун жолдору катары колдонулса болот.

Колдонуу тармактары: Сандык алгоритмдер жана программалар ар кандай гидротехникалык машиналардагы жогорку басымдагы агымдарды изилдөөдө жана суюктуктардын жана газдардын механикасын, эсептик гидродинамиканы окуп жаткан, даярдоонун инженердик багыттарына студенттерди окутууда колдонулат.

SUMMARY

The dissertation of Asel Dzhumanovna Kartanova "Mathematical modeling of gas flow processes in variable cross-section channels with the use of CAE-technologies" for the academic degree of candidate of physico-mathematical sciences in the specialty: 05.13.18 - Mathematical modeling, numerical methods and program complexes.

Keywords: mathematical model, gas flow, solid particles, two-phase flow, quasi-one-dimensional model, perforated partition, nozzle, ANSYS Fluent, numerical methods, program.

The object and subject of research: two-phase flows of a mixture of gas and solid particles in a variable cross-section channel and numerical modelling of these processes, as well as carrying out computational studies of similar flows in the

The purpose of dissertation: the development of mathematical models of two-phase flow of a mixture of gas and solids with discontinuity surfaces such as filament in a nozzle, gas flow in a variable cross-section channel with a perforated partition and the study of the possibilities of numerical simulation of complex gas-dynamic phenomena in nozzles of hydraulic devices, ensuring the efficiency of high jets pressure.

Research methods: theory of mechanics of continue, methods of computational fluid dynamics, approximate methods.

Hardware: Intel Core i3 laptop, ANSYS Fluent 15.0.

The obtained results and novelty: Mathematical models of two-fluid flow of a mixture of gas and solid particles in a nozzle and stationary flow of an ideal gas in a variable cross-section channel with a perforated partition in a quasi-one-dimensional two-layer formulation have been developed. Equations and relations are obtained for various flow regimes and the effects of discontinuity surfaces on flow. Calculation studies have been carried out, and results have been obtained that are suitable for computer simulation of the parameters of one- and two-phase gas flows in the ANSYS Fluent 15.0 medium.

Using the results of the research: The developed models of ideal gas flows, the proposed techniques and methods can be used in numerical modeling of a wide range of gas dynamics problems either as a solution tool or to improve the quality of a solution and increase the speed of algorithms implementing it.

Scope: Numerical algorithms and programs can be used in the study of ultra-high pressure jets in various hydraulic engineering machines and in teaching students of engineering training courses that study the mechanics of fluid and gas and computational fluid dynamics.

РЕЗЮМЕ

Диссертация Картановой Асель Джумановны «Математическое моделирование процессов течения газа в каналах переменного сечения с применением САЕ-технологий» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Ключевые слова: математическая модель, течения газа, твердые частицы, двухфазные течения, квазиодномерная модель, перфорированная перегородка, сопло, ANSYS Fluent, численные методы, программа.

Объект и предмет исследования: двухфазные течения смеси газа и твердых частиц в канале переменного сечения и численное моделирование этих процессов, а также проведение расчетных исследований подобных течений в расчетно-программном комплексе ANSYS Fluent 15.0.

Цель диссертационной работы: разработка математических моделей двухфазного течения смеси газа и твердых частиц с поверхностями разрыва типа пелены в сопле, течения газа в канале переменного сечения с перфорированной перегородкой и в исследовании возможностей численного моделирования сложных газодинамических явлений в соплах гидротехнических аппаратов, обеспечивающих эффективность применения струй высокого давления.

Методы исследования: теория механики сплошных сред, методы вычислительной гидродинамики, приближенные методы.

Аппаратура: ноутбук Intel Core i3, ANSYS Fluent 15.0.

Полученные результаты и их новизна: Разработаны математические модели двухжидкостного течения смеси газа и твердых частиц в сопле и стационарного течения идеального газа в канале переменного сечения с перфорированной перегородкой в квазиодномерной двуслойной постановке. Получены уравнения и соотношения различных режимов течения и влияния поверхностей разрыва на поток. Проведены расчетные исследования, получены результаты, пригодные для компьютерного моделирования параметров одно- и двухфазных течений газа в среде ANSYS Fluent 15.0.

Использование результатов исследования: Разработанные модели течений идеального газа, предложенные приемы и методы могут применяться при численном моделировании широкого круга задач газовой динамики либо как инструмент решения, либо для улучшения качества решения и повышения быстродействия реализующих его алгоритмов.

Область применения: Численные алгоритмы и программы могут применяться при исследовании струй сверхвысокого давления в различных гидротехнических машинах и при обучении студентов инженерных направлений подготовки, изучающих механику жидкости и газа и вычислительную гидродинамику.

Картанова Асель Джумановна

КЕСИЛИШИ ӨЗГӨРҮЛМӨ ТҮТҮКТӨРДӨГҮ ГАЗ АГЫМДАРЫНЫН ПРОЦЕССТЕРИН CAE-ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН КОЛДОНУУ МЕНЕН МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДӨӨ

(CAE /англ. Computer-aided engineering/ - инженердик эсептөөлөрдүн автоматташтыруу системасы)

Диссертациясынын авторефераты

Басылмага кол коюлган: 23.11.2018 ж.
Формат 60x84/16. Көлөмү 1,25 б.т.
Офсеттик кагаз. Нускамасы 100 даана. Буйрутма 616.

Н. Исанов ат. Кыргыз мамлекеттик курулуш, транспорт жана архитектура университети «Авангард» окуу-басма борбору
720020, Бишкек ш., Малдыбаев көч., 34, б