



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI

Fizika –matematika fakulteti

“Amaliy matematika va axborot texnologiyalari” kafedrası

5480100-“Amaliy matematika va informatika” ta’lim yo’nalishi bo’yicha bakalavr
darajasini olish uchun

Ergashov Mahmud Erkinovich

“Suyuqlik va gazlarda yopishqoqlikning molekulyar mexanizmlarni tadqiq
etish” mavzusida

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Ilmiy rahbar _____ o’qituvchi. **Mirzoyev A.**
“ _____ ” _____ **2014 y.**

BMI “Amaliy matematika va axborot texnologiyalari” kafedrasining
2014 yil _____ № _____ sonli yig’ilishida ko’rib chiqildi va
himoyagaruxsatberildi”

Kafedra mudiri _____ dots. **T.B. Boltayev**
“ _____ ” _____ **2014 y.**

Taqrizchi _____ dots. **Sh.S.Yo’ldoshev**
“ _____ ” _____ **2014 y.**

“Himoya qilishga ruxsat berildi”
Fakultet dekani _____prof.Sh.M.Mirzayev
“ _____ ” _____ 2014 y.

Buxoro-2014 y
Mundarija

KIRISH.....	3
I BOB. IDEAL SUYUQLIK VA GAZ MUHITLARI HAQIDA.	
IDEAL SUYUQLIK MODEL	
1.1. Suyuqlik va gazlarning oqimida ishqalanish kuchining ta'siri.....	10
1.2. Suyuqlikning issiqlikdan kengayishi.....	13
1.3. Gaz va gazsimon muhitlar.....	15
II BOB. SUYUQLIKLARNING MURAKKAB MODELLARI	
2.1. Yopishqoq plastik suyuqlik va uning xossalari.....	20
2.2. Yopishqoq bo'lmagan (ideal) suyuqlik dinamikasi.....	22
2.3. FEMLAB da suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblash.....	38
Xotima.....	47
Adabiyotlar.....	50

Kirish

O'zbekiston Respublikasi mustaqillikka erishib porloq kelajak sari dadil odim tashlamoqda. Bunda kelajagimiz poydevori bo'lmish yoshlar tarbiyasiga, ularning ma'naviy pok, insoniy fazilatlarga boy bo'lgan chuqur bilimliyetik mutaxassis bo'lib yetishishlariga katta e'tibor berilmoqda.

O'zbekiston Respublikasi mustaqil davlat sifatida istiqbol yo'lidan ildamlab bormoqda. Mustaqillik tufayli jamiyatimiz hayotida bo'lgani kabi ta'lim tizimida ham tub o'zgarishlar ro'y berdi. Ayniqsa, «Ta'lim to'g'risida»gi qonun va «Kadrlar tayyorlash milliy dasturi»ning qabul qilinishi [1, 2] respublika ta'lim tizimida muhim voqea hisoblanadi. Bu hujjatlarda Respublika ta'lim muassasalarida yuqori malakali, bilimdon kadrlar tayyorlash usul va yo'llari, bosqichlari aniq belgilab berilgan va ular ta'lim sohasida amalga oshiriladigan islohotlar dasturi hisoblanadi.

Shunday ekan, O'zbekiston Respublikasi taraqqiyotining muhim sharti xalqning boy intellektual merosi va umumbashariy qadriyatlar asosida, zamonaviy madaniyat, iqtisodiyot, fan, texnika va texnologiyalarning yutuqlari asosida kadrlar tayyorlashning mukammal tizimini shakllantirishdir.

Kadrlar tayyorlash milliy dasturining maqsadi ta'lim sohasini tubdan isloh qilish, uni yaqin o'tmishdan qolgan mafkuraviy qarashlar va sarqitlardan to'la xalos etish, rivojlangan demokratik davlatlar darajasida, yuksak ma'naviy va axloqiy talablarga javob beruvchi yuqori malakali kadrlar tayyorlash Milliy tizimini yaratishdir. Kadrlar tayyorlash milliy dasturi milliy tajribaning tahlili va ta'lim tizimidagi jahon miqyosidagi yutuqlar asosida tayyorlangan hamda yuksak umumiy va kasb-hunar madaniyatiga, ijodiy va ijtimoiy faolikka, ijtimoiy-siyosiy hayotda mustaqil ravishda mo'ljalni to'g'ri o'la bilish mahoratiga ega bo'lgan,

istiqbol vazifalarini ilgari surish va hal etishga qodir kadrlarning yangi avlodini shakllantirishga yo'naltirilgandir.

Prezidentimiz Islom Abdug'aniyevich Karimov "Yuksak ma'naviyat-yengilmas kuch" [2] kitobida aytganlaridek "Inson qalbiga yo'l avvalo ta'lim tarbiyadan boshlanadi. Dunyo imoratlari ichida eng ulug'i maktab bo'lsa, kasblarning ichida eng sharaflisi o'qituvchilik va murabbiylikdir". XXI asrning intellektual yoshlar asri, axborot texnologiyalari asri deb atalgani sababli, shu davr mobaynida axborotlar bilan ishlash va axborotlashtirish juda rivojlandi. Bunga sabab shundaki, kundalik turmushda, axborotlar, ularni qayta ishlash va uzatishning ahamiyati tobora ortib borishidadir. Bu esa o'z navbatida jamiyatning har bir a'zosidan axborotlashtirish va axborot texnologiyalari sirlarini, uning qoida va qonuniyatlarini mukammal bilishni taqozo etadi. Fan va texnologiyalarning rivojlanishi, taraqqiy etishi va o'zaro integratsiyalashuvi jadallashmoqda, shu bilan birga yangi innovatsion texnologiyalar yaratish hamda ishlab-chiqarishning turli jabhalarida qo'llanishi har bir yoshni o'z mutaxassisligini mukammal egallashini taqqazo etadi. Amaliy masalalarni matematik modelashtirish ayniqsa oxirgi davrlarda deyarli barcha jabhalarda juda keng foydalanilmoqda.

Bitiruv malakaviy ish mavzusining dolzarbligi.

Ishlab chiqarish tarmoqlarini doimiy tarzda rivojlantirib borish, foydalanilayotgan mashina va texnologiyalarda kechayotgan jarayonlarni mukammallashtirish zaruriyatini vujudga keltiradi. Ushbu jarayonlarga matematik modelashtirish metodlarini qo'llash, ilmiy ishlanmalarni ishlab chiqarishning dastlabki bosqichlarining o'zidayoq, jarayonlarni nazorat qilish, bashorat qilish va moslashtirish imkoniyatini ta'minlaydi. Bunday texnologik jarayonlarni bashorat qilish, takomillashtirish, rejaga mos holda loyihalash, sonli yechimlarga va tajriba natijalariga asoslanish lozimki, bu matematik model berilgan qurilmalardagi gidrodinamik va issiqlik-massa almashinuvi jarayonlarini tavsiflash uchun asos bo'lishi kerak.

Shu sababli ham, «Amaliy matematika va axborot texnologiyalar» yo'nalishi bo'yicha zarur bilim va ko'nikmalar egallashiga oid bo'lgan tutash muhitlar

mexanikasining bir qismi bo'lgan, suyuqlik va gazlar mexanikasi bo'limida keltirilgan tushunchalarni ham nazariy, ham amaliy o'rganish muhim ahamiyatga ega.

Bunga sabablardan yana biri bu suyuqlik va gazlar mexanikasi usullari shuningdek, neft va gazmexanikasi, gidrotexnika, irrigatsiya, suv ta'minoti va kanalizatsiya, ta'minoti kabi bir qancha sohalarning asosi hisoblanadi.

Ishlab chiqarish va tabiatda ro'y beradigan jarayonlarni o'rganishda qo'llash mumkin bo'lgan, ideal, laminar, turbulent oqimlarning matematik formulalarini, ya'ni massa, harakat miqdori va energiyaning saqlanish qonunlariga asoslangan matematik modellarni qurish, hamda mos jarayonlar uchun ularni tatbiq etish (Eyler, Navier - Stokes, hamda Reynolds(RANS) tenglamalari) so'ngi davr mobaynida ko'plab yirik matematik va mexanik olimlarni izlanishlari manbai bo'lib kelmoqda. Bu shu bilan izohlanadiki, birinchidan fizik hodisa sifatida, masalan, turbulentlik o'ziga xos murakkab, ikkinchidan, aynan suyuqlik va gazlar harakatining tabiat va turli texnologik jarayonlarda suyuqlik oqimi molekulalarning bir qatlamdan ikkinchi qatlamga faqat molekulyar mexanizm(laminar) yoki aynan shu jarayon bir qatlamdan ikkinchi qatlamga nafaqat molekulyar mexanizm, balki boshqa molekulalar ansambli-molekulyar mexanizm(turbulent) amalga oshadi.

Aytilgan fikrlardan shuni anglash qiyin emas, o'z yo'nalishimizdagi ko'plab [1-10] nazariyalarni ham o'rganishimiz kerak ekan. Mana shunday nazariyalardan biri bu suyuqlik(gaz)larning turli muhitlardagi laminar, turbulent oqimlar nazariyasidir. Bu nazariyalarni o'rganish, ularni real tabiatini tushunish ko'plab muammolarni hal etish, mavjud texnologiyalarda kechadigan jarayonlarni anglash juda dolzarbdir.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Har qanday harakat mexanik harakatlarni—materianing katta va kichik zarrachalari to'plamining siljishini, tezligini va tezlanishini o'z ichiga oladi. Shu harakatlarni tahlil etish va ularning harakatning boshqa formalar bilan uzviy bog'lanishini aniqlash mexanikaga tegishli masalalardir.

Mexanika [3, 5, 8] ko'plab tabiiy fanlar bilan uzviy bog'langan bo'lib, ularning asosi muhitlarning harakat va boshqa qonuniyatlari bo'lib xizmat qiladi. Chunki tabiat va texikadagihodisa, jarayonlarning har xil aspektlarini o'rganishda molekulalar va jismlarni massaga ega bo'lgan zarralar deb qaraladi. Mexanika qonuniyatlari fizika uchun poydevor bo'lib xizmat qiladi. Shunday eng qadimiypoydevorlardan biri suzuvchi jismlar muvozanati haqidagi Arximed (ya.e. oldingi 287-212 yy) qonunidir.

Tadqiqotchilar notirik sohasidagi ilmiy bilimlarini tirik organizm xossalari va fiziologik jarayonlarini tushunish uchun ham, qadim zamonlardan beri ishlatmoqdalar. Garvey (1577-1657 yy) tomonidan aniqlangan odam va hayvon organizmlaridagi suyuqlik aylanish mexanizmi juda katta muvaffaqiyat bo'lib, mexanika qonuniyatlariga asosan ishlaydigan mashinalar bilan tirik organizmni solishtirish sohalarining asosi bo'lib xizmat qiladi. Fiziologiya bilan juda qiziqqan mashhur fransuz faylasufi va matematigi Dekart (1596-1650 y) odamlar va avtomatlar orasidagi umumiylikni alohida ta'kidlagan edi. Shu o'rinda ko'plab suyuqlik va gazlar sohasida ilmiy ishlar olib borganolimlar Puazeyl va Reynoldslarning o'zlari tibbiyot sohasi vakillaridir.

Biz qaraydigan masalalar ham ana shu suyuqlik va gazlar sohasidagi nazariyaga asoslanadi. Amaliyotda qo'llash mumkin bo'lgan laminar va turbulent oqimlarning matematik modellarini yaratish birinchidan fizik hodisa sifatida o'ziga xos murakkab, ikkinchidan aynan suyuqlik va gazlar harakatining tabiat va turli texnologik jarayonlarda turbulent shaklda amalga oshadi. Ammo suyuqlik va gazlar oqimini yopishqoqlikning molekulyar mexanizmini o'rganmasdan turib, ularda ro'y berdigan boshqa o'zgarishlarni ifodalash also mumkin emas.

Adabiyotlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, bu sohada asosan xorij hamda hamdo'stlik mamlakatlaridagi olimlardan L. Prantdl, G. Shlixting, Yu.V. Lapin, L.G. Loytsyanskiy, G.N. Abramovich, Yu.A. Gostintsev, L.A. Vulis, Sh.A. Yershin, L.P. Yarin, va boshqalar, O'zbekistonlik olimlardan J. Fayzullayev, F. Aliyev, Z.Sh. Jumayev, I.Q. Xo'jayev va ularning o'quvchilari asosan shu sohada anchagina ishlarni qilganlar.

Tadqiqot obyekti va predmeti: Suyuqlik va gazlarning turli xil oqimlari tadqiqot obyekti, ulardagi yopishqoqlikning molekulyar mexanizmi esa predmeti hisoblanadi.

Ishning maqsadi va vazifalari: Suyuqlik va gazlarning turli xil oqimining yopishqoqlikning molekulyar mexanizmi tutash muhitlar mexanikasi nazariyasining modellari yordamida o'rganishdan iborat bo'lib, u quyidagi vazifalarni o'z ichiga oladi:

-suyuqlik va gazlarning oqimida ishqalanish kuchining ta'siri, suyuqliklar laminar va turbulentlik oqimi turlarini, Re sonini aniqlash;

-suyuqlik va gazlar haroratini o'zgarishi suyuqlik va gazlar yopishqoqligining kinematik, dinamik koeffitsientlariga ta'sirini topish;

-suyuqlikning issiqlikdan kengayishi, ideal suyuqlik, gaz va gazsimon muhitlar hamda gazlardagi kavitatsiya hodisasi va ularning suyuqlikda erishini o'rganish;

yopishqoq-plastik suyuqlik, yopishqoq bo'lmagan (ideal) suyuqlikning dinamikasi va uning xossalari o'rganish;

- FEMLAB dasturiy paketda suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblash. Ideal hamda real suyuqlik(gaz)larning, laminar va turbulent oqimlari harakat qonunlariga mos Eyler, Nave-Stoks, shu bilan birga FEMLAB dasturiy muhitida suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblash.

Bu bitiruv malakaviy ishning maqsadiga ko'ra, suyuqlik va gazlarni muvozanat va harakat qonunlarini va bu qonunlarni, tabiat va texnikaning turli soxalarda tadbiq etish usullarini o'rgatadigan suyuqlik va gazlar mexanikasi fanni asosi hisoblanmish tutash muhitlar mexanikasining qonuniyatlarini yanada yaqqolroq o'zlashtirishdir.

Tadqiqot usuli va uslubiyoti: Tutash muhitlar mexanikasi, turbulent chegaraviy qatlam nazariyasi, matematik modellashtirish, differensial tenglamalar nazariyalaridan hamda FEMLAB dasturiy paketdan foydalaniladi.

Olingan asosiy natijalar:

1. Mexanikaning baʼzi tabiiy jarayonlarni modellashtirishdagi roli haqida maʼlumot keltirilgan. Suyuqlik va gazlarning oqimida ishqalanish kuchining taʼsiri, yaʼni agar normal kuchlanish va urunma kuchlanish chekli boʻlganda, suyuqlik va gazlar harakatiga sarf etiladigan energiyaning bir qismi undagi mavjud boʻlgan ichki qarshilik kuchini-ishqalanish kuchini yengishga maʼlum miqdorda ish bajarishgasarf qilinadi. Bu suyuqlik va gazlarning ichki ishqalanish kuchi-yopishqoqlikning molekulyar mexanizmi asosida yuzaga chiqadi. Inerstiya kuchining ishqalanish kuchiga nisbati Re oʻlchovsiz mezoni aniqlaydiki, unga koʻra suyuqlik va gazlardalaminar yoki turbulent oqim vujudga kelishi, shu bilan birgaharoratining oʻzgarishi suyuqlik va gazlardayopishqoqlikning kinematik, dinamikkoeffisientlariga taʼsir etishi koʻrsatilgan.

2. Suyuqlikka issiqlik oqimini kiritilishi natijasida suyuqlikning harorati oshadi, natijada uning hajmi oshadi. Gaz va gazsimon muhitlar esa suyuqliklar kabi oquvchanlik xususiyatga ega boʻlsa ham, uning zichligi suyuqlik zichligidan ancha kam boʻlib, shunga koʻra ularning zarrachalarining oʻzaro tortish kuchi ancha kichik. Shuning uchun ham gazlarning siqish (choʻzish) deformatsiyasiga qarshiligi kuchsiz boʻladi va gazning bosimi va harorati oʻzgarishi bilan uning zichligi ham tez oʻzgaradi. Ideal suyuqlik, gaz va gazsimon muhitlarning turli modelari mavjud boʻlib, ayniqsa gazlardagi kavitasiya hodisasi va ularningsuyuqlikda erishi, suyuqlikning molekulyar bosimi sirtning formasigabogʻliq boʻlishioʻrganilgan.

3.Suyuqlikning harakati-massaviy kuch, bosim, qoʻshimcha energiya, issiqlik oqimi, kimyoviy reaksiya va boshqa suyuqlik yoki qattiq zarrachalarni suyuqlikdagi harakati mavjud boʻlgan taʼsirlar natijasida roy beradi, suyuqlik zarrachalari bu taʼsir natijasida tezlanish oladi va uning parametrlari suyuqlik egalab turgan sohada oʻzgaruvchan boʻladi. Yopishqoq-plastik suyuqlik, yopishqoq boʻlmagan (ideal) suyuqlikning dinamikasi va uning xossalari oʻrganish, bosimni markaziy yoʻnalish bosimi va koʻndalang qoʻshimcha bosimga ajratish maqsadga muvofiq ekanligi koʻrsatilgan.

4. FEMLAB dasturiy paketda suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblangan. Bunda suyuqlik va gazlarning oqimlari Eyler, Nave-Stoks harakat qonunlariga mos, hamda harorat o'zgarishlarini inobatga oluvchi chekli elementlar metodiga asoslangan FEMLAB dasturiy muhitida suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha o'zgarishlari aniqlangan.

Natijalarning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati: Suyuqlikning harakati-massaviy kuch, bosim, qo'shimcha energiya, issiqlik oqimi, kimyoviy reaksiya va boshqa ta'sirlar natijasida, suyuqlik zarrachalari parametrlari suyuqlik egalab turgan sohada o'zgaruvchan bo'lishi, hamda yopishqoq-plastik suyuqlik, yopishqoq bo'lmagan (ideal) suyuqlikning dinamikasi nazariyalaridan foydalanib, turli tabiiy va texnologik jarayonlarda kechadigan o'ziga xos murakkab hodisalarni o'rganish, ham nazariy, ham amaliy ahamiyati katta. FEMLAB dasturiy paketda suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblash orqali amaliy jihatdan ma'lum bir turkum masalalarni EHMda yechimlarini olish va ularni tahlil etish imkoniyatiga ega bo'lindi

Tadqiq etish darajasi va iqtisodiy samaradorligi qo'llanish sohasi. Xulosa va takliflar: Suyuqlik(gaz)larning turli muhitlardagi oqimlari tahlil qilingan Eyler, Nave-Stoks, hamda Reynolds(RANS) tenglamalaridan foydalanib, shunga o'xshash amaliy muammolarni hamda turdosh oliy va o'rta maxsus o'quv yurtlarining mos mutaxassislar tayyorlashda foydalanish mumkin.

Ishning hajmi va tuzilishi: Bitiruv ishi-44 betga bayon qilingan bo'lib, unda kirish, I bob, II bob, xotima, xulosalar va adabiyotlar ro'yxatidan iborat: suyuqlik va gazlar mexanikasining jarayonlarni tadqiq qilishda qo'llash, turbulentlik nazariyasi elementlari, suyuqlik turbulent oqim harakatini Reynolds tenglamalari, turbulentlik modellari qisqacha tahlili, uning (masala) yechish usuli, har bob uchun xulosalar, xotima va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati keltirilgan.

Kirish qismida Mustaqil O'zbekistonda ta'limga berilayotgan e'tibor, hamda yoshlarga berilayotgan imkoniyatlar haqida quyilgan mavzuning dolzarbligi, qisqacha bor bo'lgan adabiyotlar tahlili keltirilgan va qilinadigan ish asoslangan.

I BOB IDEAL SUYUQLIK VA GAZ MUHITLARI HAQIDA IDEAL SUYUQLIK MODEL I

1.1. Suyuqlik va gazlarning oqimidaishqalanish kuchining ta'siri

Tabiatdagimavjudharakatlarni o'rganishjarayonidako'pincha qattiq jismbilانبirgaungajoylashgan, yokiuningatrofinio'rabolganholdagi suyuqlik, gazvaplazmaharakatlarinijismgayokiidishdevoriga suyuqlikto-monidanbo'ladiganta'sirinivaaksinchadevorni suyuqlikzarrachalarigata'sirinianiqlashkerakbo'ladi. Bu muammoni o'rganish suyuqlik, gaz va plazmalar mexanikasi fanida beriladi. Suyuqlik, gazlar mexanikasi fanining gidrodinamika bo'limida suyuqlik va gazlarning muvozanat holati, ularning harakati qonuniyatlari o'rganiladi. Bu fan bajariladigan maqsadi bo'yicha ikkiga ajraladi: biri texnika fanlari bo'lib, unda asosan amaliyot uslublari bo'lsa, ikkinchisi esa sof nazariy yo'nalishi bo'ladi va ular texnik gidromexanika va nazariy gidromexanika (gidrodinamika) deb nomlanadilar. Texnik gidromexanika, gidravlika deb ataladi va unda nazariy gidrodinamikaning ma'lum bir gipotezalari asosida soddalashtirilgan holda suyuqlikning muvozanat va harakat holatlari o'rganiladi.

Gidrodinamika va uni amaliyotda qo'llanishi Arximed, Al-Farg'oniy, A.Beruniy, Ibn-Sinolarning ishlarida berilgan va ularda birqancha gidrostatik qonunlar olingan. Bu davrda nazariy bilimlarning rivojlanishi katta ahamiyatga ega bo'lib, suyuqlik va gazlarning ko'plab xususiyatlari aniqlandi. D. Bernullining ishlarida suyuqlik, gaz va plazmalar mexanikasida yangi yo'nalish ochdi, gidromexanikaning amaliyotga ancha yaqinlashdi.

Gidromexanika fani rivojida L.Eyler. D.Bernulli, Lagranj, M.Lomonosov, N.E.Jukovskiy, N.E.Kochinlar, aerodinamika va gazlar dinamikasiga katta hissa qo'shgan bo'lsa, taniqli o'zbek olimi X.A.Raxmatulin ko'pfazali muhitlar gidrodinamikasiga asos solganlar.

Ularning amaliyotdagi rivojida Leonardo Da Vinchi, S.Steven, G.Galiliy, Shezi, Darsi, Bussinesk, Veysbaxlar katta hissa qo'shganlar. Ko'pincha texnik muammolarni yechishda ishlatiladigan suyuqlik va gazlar holatiga oid qonuniyatlar, nazariy va tajribaviy natijalar asosida aniqlanadi, ba'zi nazariy tadqiqot va tajribaviy natijalarni birgalikda bajarilgan tahlilyordamida biror qonuniyat aniqlanadi. Shuning uchun ham turli tajribaviy yoki yarim nazariy, yarim tajribaviy qonuniyatlar ishlatiladi. Masalan, suyuqlik oqimini o'rganilganda uning oqimdagi biror kesim bo'yicha o'rtacha bosim, o'rtacha tezligi kiritilib, u yuzaga normal yo'nalishdagi o'zgarishi ko'riladi.

Odatda murakkab suyuqlik, gazlar mexanikasi masalalari turli gipotezalar, taqribiy qiymatlar kiritish yordamida soddalashtirilib oddiy usullar bilan taqribiy yechiladi. Amaliyotni ba'zi muammolarni hal qilishda gidravlik usulni nazariy tadqiqotlar bilan birgalikda olib berishga to'g'ri keladi. Bu ko'zlangan maqsadga bog'liq bo'ladi.

Tabiatdagi suyuqlik va gazlarning harakatini o'rganish ancha murakkab tenglamalar sistemasiga olib kelishi hamda ishqalanish kuchining unga qo'shilishi masalani juda murakkablashtiradi. Inerstiya kuchining ishqalanish kuchiga nisbati (uni odatda Re - Reynols soni deyiladi: $Re = \frac{ul}{\nu}$) anchagina katta son ($Re > 10^3$) bo'lganda ishqalanish kuchini suyuqlik garchand harakatda bo'lsa ham e'tiborga olmay, asosan normal kuchlanish-bosimni hisobga olish bilan masalani quyidagicha soddalashtirish mumkin. Harakatdagi suyuqlik va gazda faqat normal kuchlanishning ta'siri mavjud hisoblangan (ya'ni $|\vec{\tau}| \ll |\vec{\sigma}_n|$) suyuqlik (gaz) ideal suyuqlik (gaz) deyiladi va bu suyuqlik va gaz zarrachalari garchand qattiq jism sirtidagi (masalan, u qo'zg'almas bo'lsin) chekli tezlikda harakat qilsa ham, bu sirtida ishqalanish hisobiga olinmaydi. Agar suyuqlik ham jism kabi muvozanatda bo'lsa ideal suyuqlik va tabiiy (real) suyuqlik endi farqsiz bo'ladi.

Agarda normal kuchlanish va urunma kuchlanish chekli bo'lganda suyuqlik va gazlar harakatiga sarf etiladigan energiyaning bir qismi undagi mavjud bo'lgan ishqalanish kuchini yengishga sarf qilinadi, ya'ni qarshilik kuchini yengishga ma'lum miqdorda ish bajarishga to'g'ri keladi.

Urunma kuchlanish qo'shni suyuqlik va gazzarrachalar tezliklari $\vec{v}(\vec{r})$ va $\vec{v}(\vec{r} + \Delta\vec{r})$ miqdorlarning farqi mavjud bo'lgani uchun paydo bo'ladi degan fikrni analitik ifodasini birinchi marta I.Nyuton (1686 y.) aniqlagan. Asosan suyuqlikda urunma kuchlanish tezliklarning o'zgarishi (hosilasi) koordinatalari va vaqtga bog'liq bo'ladi:

$$\vec{\tau} = \vec{F} \left(\frac{\partial u^i}{\partial x^j}, x^k, t \right) \quad (1.1)$$

bog'lanishda bo'lsa, $\left| \frac{\partial u^i}{\partial x^j} \right| \ll 1$ bo'lganida undan urunma (ishqalanish)

kuchlanishi uchun Nyuton formulasini olamiz

$$\tau_{xy} = \pm \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1.2)$$

Bunda kiritilgan μ -miqdor yopishqoqlik (qovishqoqlik) dinamik koeffitsienti deyiladi va u SI sistemasida quyidagicha aniqlanadi:

$$[\mu] = \frac{[\tau]}{[d][u]} = \frac{H \bullet c}{\mathcal{M}^2}$$

bu birlikni Puaz (PZ) deb ataladi. Bu koefficientsuyuqlik va gazlar zarrachalarining harakat qilanganda hosil bo'lib, unda zarrachalarning massalari hisobga olingani uchun odatda yopishqoqligi kinematik ν koeffisienti kiritiladi, u berilgan sirti birligiga ta'sir etuvchi yopishqoqlik urunma kuch miqdorini unga mos kelgan massasiga nisbati (ya'ni massa birligiga) xos bo'lgan urunma kuchining nisbiy miqdori suyuqlikni kinematik yopishqoqlik koeffisienti ν olinadi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.3)$$

Bu yerda kiritilgan koeffisient ν miqdorning SI dagi birligi $[\nu] = \frac{\mathcal{M}^2}{\text{cek}}$, SGS sistemasida esa $\frac{c\mathcal{M}^2}{\text{cek}}$ yoki stoks o'lchami bilan aniqlanadi. Bu o'lchovlar

quyidagicha bog'langan. $1 \frac{\mathcal{M}^2}{cek} = 10^4 cm$. Suyuqlik uchun kinematik yopishqoqlik. Bu koeffisienti odatda viskoziometr nomli asbob yordamida o'lchanadi.

1.2. Suyuqlikning issiqlikdan kengayishi

Suyuqlik haroratini o'zgarishi uning kinematik, dinamik koeffisientlariga ta'sir etadi. Masalan, tajribalar asosida kinematik koeffisient uchun ushbu qonuniyatlar aniqlangan:

Suv uchun Ubbelode formulasi

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \left(at - \frac{b}{t} \right) 10^{-4} \\ \gamma_t &= \frac{0.0177}{1 + 0.0337t + 0.000221t \cdot 10^{-4}} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

Havo uchun

$$\gamma = (0.132 + 0.000918t + 0.00000066t^2) \cdot 10^{-4} \quad (1.5)$$

Mineral moylar uchun

$$\gamma_t = a \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (1.6)$$

yoki

$$\gamma_p = \gamma_0 (1 + k_p \cdot p) \quad (1.7)$$

bu erda p - suyuqlik bosimi.

Suyuqlik zichligi. $\sum$ sirt bilan chegaralangan V suyuqlik M massaga ega bo'lib, uning og'irligi G bo'lsin.

Suyuqlik og'irligini uning hajmiga nisbati suyuqlik hajm birligining og'irligini beradi va uni adabiyotlarda solishtirma og'irligi (γ) deyiladi:

$$\gamma = \frac{G}{M} \quad (1.8)$$

bundan V hajmli suyuqlik og'irligi ushbu tenglikdan aniqlanadi: $G = \gamma M$.

Bundan solishtirma og'irlik SI sistemasida quyidagicha aniqlanadi:

$$[\gamma] = \frac{[G]}{[V]} = \frac{H}{M^3}$$

bu erda $1 \frac{kg}{m^3} = 9.80665 \frac{H}{M^3}$.

Shuningdek $V = \frac{1}{\gamma}$ miqdor ham kiritiladi va uni solishtirma hajmi

hisoblanadi.

Suyuqlik hajmi birligining massasini suyuqlikning zichligi deyiladi va ular ushbu tenglik bilan aniqlanadi:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1.9)$$

SI o'lchovda $[\rho] = \frac{[M]}{[V]} = \frac{H \cdot c^2}{M^4}$, $[M] = \frac{H \cdot c^2}{M}$,

Suyuqlik zichligi uning bosimi, harorati va boshqa termodinamik parametrlarga bog'liq bo'lib, u o'zgarmas, o'zgaruvchan bo'lishi mumkin.

Suyuqlikka issiqlik oqimini kelishi natijasida suyuqlikning harorati oshadi, natijada uning hajmi oshadi. Bunga misol: idishga (bochka, yopiq shisha) suyuqlik solingan bo'lsa, va unga ma'lum vaqt davomida issiqlik oqimi kelib tursa (masalan, qizdirilsa, yoki quyosh nurida ko'p vaqt qolganda) idish kengayib boradi. Hajmni issiqlikdan kengayish xususiyatini aniqlovchi β_t sifatida uning hajm birligini harorat 1^0 ga qanchaga o'zgarishini olinadi

$$\beta_T = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta t} \quad (1.10)$$

Suyuqlikning siquvchanligi (hajmiy elastikligi). V hajmli suyuqlik muvozanatda bo'lib, unga har tamonlama tashqi bosim ta'sir etayotgan bo'lsin. Agar tashqi bosimni Δp ga oshirsak, u holda suyuqlik hajmi ΔV ga oshishini

(yoki kamayishini) kuzatish mumkin. Suyuqlikning tashqi Δp qo'shimcha yuklanishni olinganida oldingi holga qaytish elastiklik xususiyati deyiladi. Bosim kuchlanishi Δp ning kichik qiymatlarida Δp miqdor odatda hajm birligini o'zgarishi $\frac{\Delta V}{V}$ ga to'g'ri proporsional bo'ladi va u quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p = -K \frac{\Delta V}{V},$$

bu erda K suyuqlikni elastic siqilish o'lchami yoki suyuqlikni hajmiy elastiklik moduli deyiladi.

$$K = |\Delta p| : \left| \frac{\Delta v}{v} \right| \quad (1.11)$$

Oddiy sharoitdagi suv uchun bu miqdor $K = 22 \cdot 10^5 \text{ kPa} = 220 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2} = 22000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ ga teng bo'ladi. Bu miqdorga o'xshash bo'lgan yana suyuqlikning hajmiy siqilish koeffisientini ham kiritamiz:

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} = \frac{1}{k} \quad (1.12)$$

Bu β_p -koeffisientning fizik ma'nosi suyuqlik hajm birligi uning bosim birligiga o'zgarish miqdorini qabul qilingan.

1.3. Gaz va gazsimon muhitlar

Gaz va gazsimon muhitlar suyuqliklar kabi oquvchanlik xususiyatga ega bo'lib uning zichligi suyuqlik zichligidan ancha kam bo'lib, ularning zarrachalarining o'zaro tortish kuchi ancha kam. Shuning uchun ham gazlarning siqish (cho'zish) deformatsiyasiga qarshiligi kuchsiz bo'ladi va gazning bosimi va harorati o'zgarishi bilan uning zichligi ham o'zgaradi. To'yingan gazlar uchun ma'lum holat tenglamasi: Klayperon tenglamasi mavjud

$$p = \rho RT \quad (1.13)$$

bu yerda $R = c_p - c_v$ -Avagadro soni, c_p, c_v -bosim yoki hajm o'zgarmagandagi issiqlik sig'imi. Real gazlar (1.13) holat tenglamasiga bo'ysinmaydi, uning uchun termodinamik holat tenglamasi tutash muhit mexanikasida olingan. 1.3. jadvalda ba'zi gazlarni zichligi va solishtirma gaz o'zgarish miqdori qiymatlari keltirilgan.

Molekulyar bosim. Ma'lumki suyuqlik molekulalardan tuzilgan bo'lib, ular o'zaro biror kuch bilan ta'sir qiladi. Buta'sirkuchiularda o'zaro tengvaqarama-qarshiyo'nalغان bo'ladi.

Lekin idishga joylashgan suyuqlikning molekulalari uning o'rab turgan muhit molekulalari bilan ham ta'sir etadilar va buta'sir suyuqlik molekulalari ta'siridan farqlanib bo'ladi.

Natijada har bir molekulalar ustida uni siquvchi kuch - bosim kuchi hosil bo'ladi va uni molekulyar bosim deyiladi.

1.1. jadval. Gazlarning zichligi.

Gazlar	Zichlik $\rho_{\text{кг/м}^3}$	Avagadro soni $R_{\text{Дж/(кг·К)}}$	Gazlar	Zichlik $\rho_{\text{кг/м}^3}$	Avagadro soni $R_{\text{Дж/(кг·К)}}$
Xavo	1,293	287,0	Argon	1,783	208,2
Kislorod	1,429	259,8	Geliy	0,179	2078,2
Azot	1,251	296,8	Metan	0,717	518,8
Vodorod	0,090	4124,0	Etilen	1,251	296,6
Ugle-kislorod	1,977	188,9	Ammiak	0,771	488,3

Bu bosim ta'sirida suyuqlikning sirt qiqatlamining ichidagi larni siqib ezadi. Kuzatilgan tajribalar va olib borilgan hisoblash natijalariga 'zi hollarda bu kuchlarkatta qiymatga ega bo'lish imkonligini ko'rsatadi, shuning uchun ham bu hollarda molekulyar bosim kuchini suyuqlik xususiyati, holatlarini o'rganishda hisobga olishgato'g'ri keldi. Masalan, ba'zi suyuqlik sathining molekulyar bosimi $11 \cdot 10^5 \text{ кПа}$ (11.000 атм.) gayetish imkonin.

Yuqoridakeltirilgansuyuqlikningsiqiluvchanliginingkamligitashqikuchlarningmiqd orisiquvchimolekulyarbosimdananchakichikbo'lishibilantushuntirishmumkin.

Suyuqlikning molekulyar bosimi sirtning formasiga uning botiqligi, qavariqligiga bog'liq bo'ladi. Umumiy fizika kursida molekulyar bosim qavariq sirt bosimi va qobiq bosim miqdorlar orasida bo'lib, uni ushbu tengsizlik ko'rinishda yozish mumkin:

$$F_{qab} < F_{mol.bos} < F_{botiq}$$

Bu kuchlar qancha bo'lishidan qat'iy nazar u o'zini o'rab turgan sirtning bosimining idishga ta'siriga idish bardosh beradi. Shunday bo'lsa ham bu kuchlar ichidan kapillyar kuchlar ta'sirini hisobga olish kerak bo'ladi.

Gazlarning suyuqlikda erishi. Kavitasiya hodisasi haqida tushuncha.

Tabiatda va texnikada suyuqlik unda havoning tarkibidagi gazlar oz miqdorda erigan holda uchraydi. Bosim ortishi yoki temperatura kamayishi bilan erigan gazlar miqdori ortadi va aksincha, bosim kamayganda yoki temperatura ortganda ularning miqdori kamayadi. Shuning uchun bosim kamayishi yoki temperatura ortishi bilan suyuqlikdagi erigan gazlarning bir qismi ajralib chiqib, pufakchalar hosil qiladi, ya'ni yuqorida aytilganga ko'ra bosim kamayganda suv ham bug'lanadi, lekin engil komponent sifatida erigan gazlar tezroq ajralib chiqib, pufakchalar hosil qiladi. Boshqacha aytganda bu holat suyuqlikdagi bosimning undagi gazning to'yingan bug'lari bosimiga teng bo'lganda vujudga keladi. Gaz pufakchalari paydo bo'lishi bilan suyuqlikning tutashligi buziladi va tutash muhitlarga taaluqli qonunlar o'z kuchini yo'qotadi. Bu hodisa *kavitasiya* deyiladi. Pufakchalar suyuqlik ichida temperaturali yoki yuqori bosimli soxalar tomonga qarab harakat qiladi. Agar u etarli darajada bosimga ega bo'lgan soxaga kelib qolsa, yana erib ketadi (agar bug' bo'lsa, kondensastiyalanadi). Erigan gaz o'rnida paydo bo'lgan bo'shliqqa suyuqlik zarrachalari intiladi va bo'shliq keskin yopiladi. Bu esa hozirgina bo'shliq bo'lgan yerda gidravlik zarbani vujudga keltiradi va natijada bu erda bosim keskin ortib, temperatura keskin kamayadi.

Bunday gidravlik zarba va uni vujudga keltirgan kavitatsiya xodisasi truba devorlari va mashinalarning suyuqlik harakat qiluvchi qismlarining buzilishiga olib keladi (kavitatsiyaga qarshi kurash usullari to'g'risida keyinchalik to'xtalamiz).

Ideal suyuqlik modeli

Suyuqliklarning harakati tekshirilganda, odatda, hamma kuchlarni hisobga olib bo'lmagani uchun, ularning suyuqlik muvozanati yoki harakati holatiga ta'siri katta bo'lganlarini saqlab qolib, ta'siri kichiklarni tashlab yuboramiz. Shu usul bilan suyuqliklar uchun ideal va real suyuqliklar modeli tuziladi. Hozirgi vaqtda suyuqlik harakatini ifodalovchi umumiy tenglamalar juda murakkab bo'lib, uni yechishni osonlashtirish uchun yuqorida aytilgandek soddalashtirishlar kiritiladi. Bunday soddalashtirishlar esa suyuqliklarning fizik xossalariga chegara qo'yadi va bu suyuqliklar ideal suyuqliklar deyiladi. Ideal suyuqliklar absolyut siqilmaydigan, issiqlikdan hajmi o'zgarmaydigan, cho'zuvchi va siljituvchi kuchlarga qarshilik ko'rsatadigan abstrakt tushunchadagi suyuqliklardir.

Real suyuqliklarda esa yuqorida aytilgan xossalar mavjud bo'lib, odatda siqilishi, issiqlikdan kengayishi va hajm o'zgarishi juda kichik miqdorga ega. Shuning uchun bu soddalashtirishlar hisoblashda unchalik ko'p xato bermaydi. Ideal suyuqliklarning real suyuqliklardan katta farq qilishiga olib keladigan asosiy sabab, bu - siljituvchi kuchga qarshilik ko'rsatish xossasi, ya'ni ichki ishqalanish kuchi bo'lib, uning bu xususiyatini yopishqoqlik degan tushuncha orqali ifodalanadi. Shunga asosan ideal suyuqliklarni yopishqoq bo'lmagan (nevyazkiy), real suyuqliklarni esa yopishqoq suyuqlik deyiladi.

Xulosa. Suyuqlik va gazlarning oqimida ishqalanish kuchining ta'siri, ya'ni tabiatdagi mavjud harakatlarni o'rganishida ko'pincha qattiq jism bilan birga unga joylashgan, yoki uning atrofini o'rab olgan holdagi suyuqlik, gaz va plazma harakatlarini jismga yoki idish devoriga suyuqlik tomonidan bo'ladigan ta'sirini va aksincha devorni suyuqlik zarrachalariga ta'sirini aniqlashda ichki ishqalanish kuchining tabiatiga bog'liqligi o'rganilgan. Suyuqlik haroratini o'zgarishi uning kinematik, dinamik koeffisientlariga ta'sir etishi, suyuqlik zichligi o'zgarmas yoki

o'zgaruvchan bo'lib, u bosim, harorat va boshqa termodinamik parametrlarga bog'liqligi, masalan, suyuqlikka issiqlik oqimini kelishi natijasida suyuqlikning harorati oshadi, natijada uning hajmi oshishi ko'rsatilgan.

Gaz va gazsimon muhitlar oquvchanlik xususiyatga ega bo'lib, uning zichligi suyuqlik zichligidan ancha kam bo'lib, ularning zarrachalarining o'zaro tortish kuchi ancha kichikligi bois, gazlarning siqish (cho'zish) deformatsiyasiga qarshiligi kuchsiz bo'ladi shu bilan birga gazning bosimi va harorati o'zgarishi bilan uning zichligi ham o'zgarishi bayon etilgan.

Tabiatda va texnikada suyuqliklarda havoning tarkibidagi gazlar oz miqdorda erigan holda uchrashi, bosim ortishi yoki temperatura kamayishi bilan erigan gazlar miqdori ortishi (gazlarning suyuqlikda erishi) va aksincha, bosim kamayganda yoki temperatura ortganda ularning miqdori kamayishi (kavitatsiya hodisasi) o'rganilgan. Suyuqliklarning harakati tekshirilganda barcha kuchlarni hisobga olib bo'lmagani uchun, ularning suyuqlik muvozanati yoki harakati holatiga ta'siri katta bo'lganlarini saqlab qolib, ta'siri kichiklarni tashlab yuborilgan, shunga ko'ra, suyuqliklar ideal varezal suyuqliklarga ajratilgan.

II. SUYUQLIKLARNING MURAKKAB MODELARI.

2.1. Yopishqoq-plastik suyuqlik va uning xossalari

Suyuqliklarda ichki shqalanish kuchlari suyuqlikning ikki qo'shnizarrachalariturlitezlikdaha harakat qilish natijasida hosil bo'ladi. Bu - asosan suyuqlikning oquvchanlik xususiyatiga kattabo'lganda o'rinli bo'lib, uning qiymati kamayganda tezliklar farqidan boshqata'sirlarni ham hisobga olishgato'g'rikeladi. Tabiatda Nyuton qonuniga bo'ysinmaydigan suyuqliklarmavjud, masalan neft va neft maxsulotlari, turlimoylar. Odatda tutash muhitni, shujumladan suyuqlik turini aniqlovchi qonuniyatning reologik chiziq (reogramma) yoki oqim chizig'ibilan aniqlanadivau asosan suyuqlikdagi urunma kuchlanish nis suyuqliktezligining gradientiga bog'liqligisifatida, ya'ni

$$\tau = f(\dot{\gamma})$$

ko'rinishda olinadi, bu yerda $\dot{\gamma} = \frac{du}{dy}$.

Odatda bu chiziq maxsus tajriba natijalari tahlili asosida unga qisman nazariy tadqiqotlarni qo'shib olinadi.

Oqimchiziqlari-reogrammalarturlisuyuqliklaruchunturlichabo'ladi, buhattoNyutonsuyuqliklaridahammavjud.

Dilatantsuyuqliklargamisolturlibo'yoqlarningsirtlaripsevdoplastiksuyuqliklargaesapolimerlarningturlieritmalariniolsabo'ladi. Smola, mo'mlardaqovushqoqlikvaelastiklikxususiyatlaribirvaqtda'siretadivaularnielastik-yopishqoqsuyuqlikdeyiladi.

Suyuqliklarning ularning modellari ham turlicha bo'lib va ularning reologik diagrammalari ham mos ravishda turlicha bo'ladi. Gidrotexnikada ko'p ishlatiladigan yopishqoq-elastik suyuqliklarni ko'ramiz. Bu suyuqliklar suyuqlikning yopishqoqlik xususiyati (Nyuton suyuqligi kabi), hamda plastik qattiq jism xususiyatlariga ega. Bunday suyuqliklarga turli suspenziya-aralashmalar va kolloid eritmalar (suyuq va qattiq zarrachalar, loyqa va stement aralashmalari, parafinist neftlar). Yuqorida keltirilgan Nyuton modeliga mos suyuqlik modeli kuchlanishlar va deformatsiya tezligi kichik bo'lgan holda tegishli bo'lib, undagi kuchlanish oshib borib τ_0 miqdorga etsa (τ_0 -har bir muhitga xos miqdor) suyuqlikda (muhitda) plastik jism oquvchan bo'ladi. Shuning uchun ham τ_0 -ni oquvchanlik chegarasi, yoki siljishni boshlangich kuchlanishi deyiladi. Jismda bu kuchlanish saqlanib qoladi va uning oqishi kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi. Endi muhitda yopishqoqlik va plastik oquvchanlik xususiyati birgalikning yangi modeli-Bingam modeli hosil bo'ladi va uning reogrammasi ushbu tenglama bilan yoziladi:

$$\tau = \tau_0 + \mu_{nl} \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

Bu suyuqliklarda kichik kuchlanishlar ($\tau \ll \tau_0$) bo'lganda suyuqlik Nyuton suyuqligi bo'lsa, $\tau \approx \tau_0$ bo'lganda unda plastiklik xususiyati paydo bo'ladi, suyuqlik Nyuton suyuqligi kabi bo'lsa ham kuchlanish olinsa avvalgi holga qaytmaydi. Bingam suyuqligining mexanizmini qo'zg'almas suyuqlikda qattiq fazoviy reshetka (masalan parafinik neftlarda parafin kristallaridan) paydo bo'ladi va u suyuq faza (neft) bilan to'ldirilgan bo'ladi. Bu jism $\tau < \tau_0$ bo'lganda reshetkasi (tuzilishi) suyuqlikda harakatlanuvchanlik hususiyatini to'la yo'qotadi. $\tau > \tau_0$ -

oshganda bu reshetka buziladi va suyuqlik aralashmasi Nyuton suyuqligi sifatida harakatlanadi, agar τ kuchlanish τ_0 dan yana kichkina bo'lsa bu reshetka yana tiklanadi va suyuqlik qo'zg'olmaydi. Albatta yopishqoq-plastik suyuqlikning bunday reologik talqini xususiy hol bo'lib, (2.1) bog'lanish ham ancha murakkab bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, yopishqoq-plastik muhitlarda-suyuqliklarda harakat bo'lmasa ham urunma kuchlanishi (siljish kuchlanishi) mavjud bo'lar ekan. Misol sifatida tutash idish ichiga yopishqoq- plastik suyuqlik joylashgan bo'lsin.

Demak, suyuqlikning H balandlikdagi ustuni og'irligi suyuqlikning siljish-urunma kuchiga teng bo'ladi, bundan ushbu tenglikni olish mumkin:

$$H = \frac{4\tau_0 L}{\rho g d}.$$

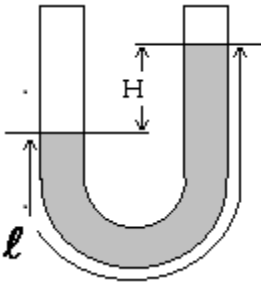
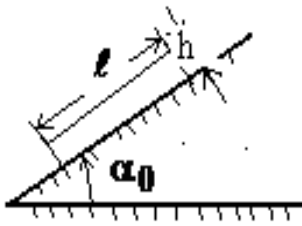
Chizma 2.1 dagi U simon naychaning diametri d uzunligi ℓ ga, suyuqlik zichligi ρ , undagi boshlangich siljish kuchlanishi τ_0 ga teng bo'lsin. Ma'lum vaqtdan so'ng suyuqlik idishda mu'tadil holatga erishadi va uning idishdagi joylashishi turli bo'lib, sathlarning farqi H bo'lsin. Bundan boshlang'ich siljish kuchlanish τ_0 ni aniqlash formulasini olamiz:

$$\tau_0 = \frac{H\rho g d}{4L}. \quad (2.2)$$

Agar suyuqlik og'ma tekislikda joylashgan(chizma 2.2) bo'lib, uning uzunligi ℓ , qalinligi h bo'lsa bu yopishqoq-plastik suyuqlikning yupqa qatlami α burchagi ma'lum miqdoriga α_0 yetguncha ($\alpha < \alpha_0$) sirt bo'ylab sirpanmaydi-muvozanat holatda bo'ladi.

Muvozanat tenglamasidan $G \sin \alpha_0 - T = 0$ tenglikni olamiz. Bundan suyuqlik qatlami og'irligi $G = \rho g \ell b h$ va suyuqlikning siljishiga qarshi kuchi $T = \tau_0 b \ell$ bo'lganidan α_0 ni aniqlaymiz :

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{\tau_0}{\rho g h}.$$

 2.1-chizma. U simon naychadagi suyuqlikning siljishi jarayonidagi muvozanati	 2.2-chizma. Suyuqlikning og'ma tekislikda joylasggandagi muvozanat holati
---	---

2.2. Yopishqoq bo'lmagan (ideal) suyuqlikning dinamikasi.

Suyuqlikning harakati unga bo'lgan ta'sirlar (massaviy kuch, bosim, qo'shimcha energiya, issiqlik oqimi, ximik reaksiya, boshqa suyuqlik yoki qattiq zarrachalarni suyuqlikdagi harakati va hokazolari) natijasida bo'lib, suyuqlik zarachasi bu ta'sir natijasida tezlanish oladi va uning parametrlari suyuqlik egalab turgan sohada o'zgaruvchan bo'ladi. Suyuqlik va gazlarning harakatini unga ta'sir (bu yerda asosan kuch deb olamiz) etuvchi kuchdan suyuqlikning harakati bog'liqligini o'rganuvchi fan gidroaerodinamika (agar faqat suyuqlik bo'lsa gidradinamika) deyiladi.

Suyuqlikka ta'sir etuvchi kuchlar ma'lum bo'lsa ko'pincha suyuqlik zarrachalarini harakatlantiruvchi miqdorlar-suyuqlik egallagan hajmning har bir elementlarida ta'sir kuchlari natijasida paydo bo'ladigan kuchlarni aniqlaydi. Va shuningdek suyuqlik zarrachasining gidrodinamik-parametrlarini suyuqlik egalagan hajmning har bir nuqtasida ixtiyoriy on uchun aniqlash, hamda hosil bo'lgan suyuqlik harakatini undagi yoki uning atrofidagi jismlarga bo'lgan ta'sir kuchini aniqlash suyuqlik dinamikasini masalasi hisoblanadi.

Suyuqlik egallagan har bir elementlar hajm o'rganan sirtga yuzaga ta'sir etuvchi bu kuchlar shu yuza bo'ylab taqsimlanadi va kuchning ana shu taqsimlangan miqdori $\vec{P}_n$ vektorlari bo'ladi va u yuza yo'nalishi $\vec{n}$ ga bog'liq bo'ladi. Odatda $\vec{P}_n$ -vektorni normal $\vec{n}$ bo'lgan yuzadagi suyuqlik kuchlanishi deyiladi va bu kuchlanish vektori kuch ta'siri yotgan suyuqlik sirtning nuqtasidan

o'tkazilgan urunma tekisligi va tekislikni normal yo'nalgan $\vec{n}$ vektor bo'yichayoyiladi va ular mos ravishda $P_{n\tau}$ va P_{nn} miqdorlar bilan ifodalanadi.

Hosil bo'lgan miqdorlar $P_{n\tau}$ va P_{nn} lar mos ravishda urunma kuchlanish va normal kuchlanishni beradi. P_{nn} -normal kuchlanishi suyuqlik zarrachasini $\vec{n}$ bo'ylab va u suyuqlik egalagan elementar hajmni siqish (yoki cho'zish)-ya'ni hajmini o'zgartirishga olib keladi. $P_{n\tau}$ -urunma kuchlanishi esa suyuqlik zarrachasini urunma tekisligi bo'ylab harakatlantiradi, natijada suyuqlik zarrachasi shu tekislik bo'lab aylanma harakatda bo'ladi va bu zarrachalar shu urunma tekislikka parallel bo'lgan boshqa urunma tekislik zarrachasiga ishqalanib ta'sir etadi.

Ma'lumki, suyuqlik va gazlar muvozanat holatida bo'lsa Paskal qonuniga ko'ra uning zarrachalari o'zi egallagan hajmni o'rab turuvchi sirtga uning har bir nuqtasida normal bo'yicha ta'sir etadi. Demak muvozanatdagi suyuqlik uchun urunma kuchlanishi $P_{n\tau} = 0$ bo'lib, faqat P_{nn} -kuchlanish mavjud bo'lar ekan.

Suyuqlik va gazlarning shu xususiyati suyuqlik harakat qilganda ham saqlansin deb suyuqlikning bir modelini olamiz va bunday suyuqlik uchun suyuqlikning barcha nuqtalari uchun $P_{nn} \neq 0$ bo'lib, $P_{n\tau} \equiv 0$ bo'lsin deyiladi.

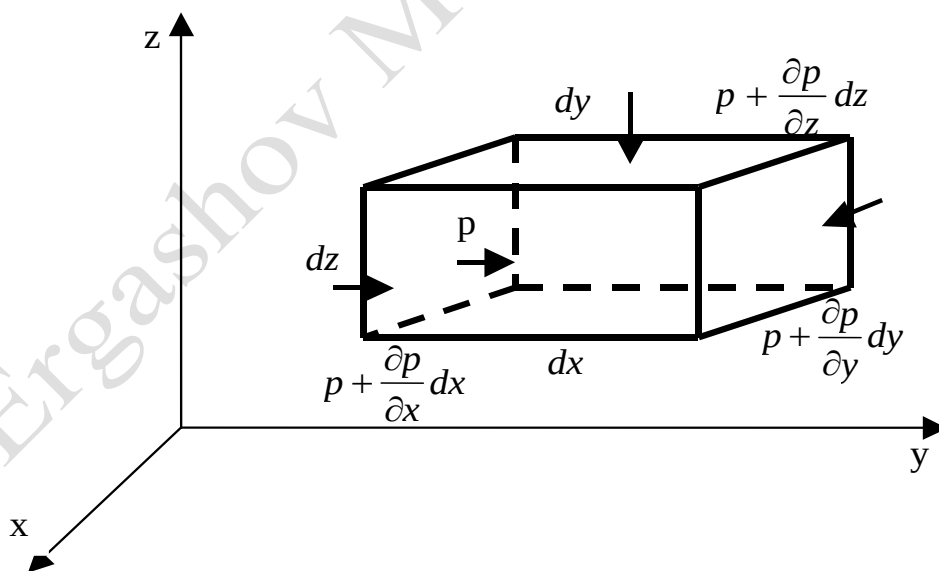
Bunday suyuqlikga, ideal suyuqlik deyiladi va bu modeldagi suyuqlik harakati davomida faqat siqiladi (cho'ziladi) va unda zarrachalarni o'zaro ishqalanishi mavjud bo'lmaydi.

Ideal suyuqlik modeli, suyuq muhitning ideallashtirilgan modeli bo'lib, u tabiat va texnikada mavjud bo'lmaydi. Lekin tabiat va texnikaning ko'pgina masalalarini yechishda real suyuqlik harakatini ideal suyuqlik modeli bilan almashtirish natijasida suyuqlik harakatining tezlik va kuchlanishlar taqsimoti tabiatda kuzatiladigan miqdorlarni ko'pincha sifati ba'zan esa miqdoran aniq natijalarni beradi.

Bunday hol asosan suyuqlikda hatto uni ideal suyuqlik deyilsa ham urunma kuchlanish $P_{n\tau}$ doimo mavjud, lekin ba'zan ana shu urunma kuchlanish undagi P_{nn} normal kuchlanishdan anchagina kam bo'ladi $|P_{n\tau}| \ll |P_{nn}|$ va u suyuqlikning

kinematik va dinamik parametrlarga juda ham kam ta'sir etadi. Uning uchun ham ideal suyuqlik oqimini o'rganganda uning oqimdagi tok chizig'i oqim naychalarini o'rganib, oqimni modellarini to'g'ri tanlash natijasida o'rganilayotgan masalani ba'zan aniq echimini olish mumkin bo'ladi. Shuning uchun ham bu yo'nalishda juda ko'p ilmiy ishlar bajarilgan bo'lib u ko'pgina tabiiy oqimlarni o'rganish masalalarini aniq echimini olinib, analitik tahlil qilish imkoniyatini beradi. Ushbu paragrafda biz shu modeldagi suyuqlikni harakatini o'rganish uchun zarur bo'lgan tenglamalar sistemasini olib, bir qancha oddiy masalalar yechimini keltiramiz.

Ideal suyuqlik harakat tenglamasi. Ideal suyuqlik egalagan V hajm ichida cheksiz kichik dV hajmni olamiz. Uni o'rab turgan sirtini parallelepiped deb olib, qirralari dx, dy va dz ga teng bo'lsin. Suyuqlik zichligini $\rho (\rho = \rho(x, y, z, t))$ deb olsak shu elementar hajm massasi $dm = \rho dx dy dz$ ga teng bo'ladi. Ularning ta'siridagi suyuqlik harakat tenglamasini tuzamiz. Bu tenglamani Ox o'qiga proeksiyasini tuzamiz. Bu yo'nalish bo'ylab suyuqlik dm massasi uning shu Ox o'qi bo'ylab tezlanish vektori komponentlariga ko'paytmasini olamiz va inersion kuch ajratilgan suyuqlik hajmining inersion kuchini Ox o'qiga proeksiyasi bo'ladi (chizma 2.3):



2.3-chizma. Inersion kuch ajratgan suyuqlik hajmining Ox o'qiga proeksiysi

$$dF = dx dy dz \frac{du}{dt} \quad (2.3)$$

bu yerda $u = pr_{ox} \vec{v}$ ($\vec{v}$ -tezlik vektorini Ox o'qiga proeksiyasi).
Endiungata'siretuvchitashqivasirtqikuchlarnianiqlaymiz:
tashqikuch $\vec{F}$ ni quyidagichayozamiz:

$$\vec{F} = \rho \vec{f} dx dy dz$$

tashqikuchning Oxyo'nalishigaproeksiyasini yozamiz (chizma 2.3):

$$F_x = \rho F_x dx dy dz \quad (2.4)$$

Suyuqlikegalaganhajmni o'rabturgansirtparallelpipedaunio'rabturgansirtgasu
yuqliklarnisirtqibosimkuchlarita'siretadivaularsirtnormalibo'ylabyo'nalgan
(idealsuyuqlikmodelibo'lganiuchun) bo'ladi.

Shuta'sirniolsak $P(x, y, z, t)$ deb bukuch sirtganormalbo'lganivauchun $\vec{P}_n$ qgradPde
bolsabo'ladi, chunkigradPva $\vec{n}$ vektorlarparallelbo'ladi.

DemakOxyo'nalishibo'ylabta'siretuvchisirtqikuch (chizma 2.3)
quyidagichayoziladi.

$$P_x = \frac{dp}{dx} dx dy dz \quad (2.5)$$

Ajratilgan suyuqlik hajmiga ta'sir etuvchi kuchlar $\vec{F}_x, \vec{P}_x$ lar yig'indisi uning
inersion kuchiga teng bo'ladi:

$$\rho \frac{du}{dt} dx dy dz = \rho F_x dx dy dz - \frac{dp}{dx} dx dy dz$$

Bundan ushbu tenglamani olamiz:

$$\frac{du}{dt} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.6)$$

Shuningdek Oy, Oz o'qlar bo'yicha ham kuchlar munosabati yordamida ushbu
tenglamalarni olamiz:

$$\frac{dv}{dt} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

$$\frac{dw}{dt} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (2.7)$$

Bu differensial tenglamalar sistemasini birinchi marta L.Eyler olgan bo'lib, u
Eyler tenglamalar deyiladi. Endi shu tenglamani vektor ko'rinishda yozamiz,

buning uchun tezlik, bosim va ta'sir etuvchi kuchlarni vektor ko'rinishida yozib olamiz:

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}; \vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j} + F_z\vec{k} \quad (2.8)$$

Bu erda

$$\text{grad}p = \frac{\partial p}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial p}{\partial z}\vec{k} \quad (2.9)$$

$\vec{V}, \vec{F}, p$ mos ravishda suyuqlik zarrachasining tezlik, hajm birligiga mos kelgan massaviy kuch va bosim deyiladi.

Eyler tenglamasining vektor ko'rinishida yozilishi

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho}\text{grad}p + \vec{F} \quad (2.10)$$

yoki

$$\frac{d\vec{V}}{dt} + (\vec{V}, \vec{\nabla})\vec{V} = -\frac{1}{\rho}\text{grad}p + \vec{F}$$

Bu tenglamalarni koordinatalar o'qlari bo'yicha yozilishi

Yopishqoq suyuqliklardagi kuchlanishlar. Suyuqlik tashqi ta'sir natijasida harakatlanadi va bu ta'sir uning egallab turgan elementar hajmini o'ragan $d\sigma$ sirtiga taqsimlanadi. Bu taqsimlash sirtning har bir nuqtasining koordinatalariga bog'liq bo'lishdan tashqari shu nuqtadan sirtga o'tkazilgan urunma tekislikning yo'nalishiga (unga normal $\vec{n}$) ham bog'liq bo'ladi.

Shuning uchun ham ta'sir $d\sigma$ sirtiga (bunday sirt sifatida suyuqlik egallagan uchi $A(x_0, y_0, z_0)$ nuqtasida yotgan qirralari mos ravishda dx, dy, dz ga teng bo'lgan parallelepipedga suyuqlik elementar hajmini olamiz) ta'sir etuvchi kuchlar uning devoriga ta'sir etadigan kuchlarning parallelepiped yon tomonlari bo'yicha taqsimoti $\vec{P}_x(x, y, z, t)$, $\vec{P}_y(x, y, z, t)$ va $\vec{P}_z(x, y, z, t)$ vektorlar bilan aniqlanadi va bu vektorlarning har biri olingan bazis vektorlar $\vec{i}, \vec{j}$ va $\vec{k}$ bo'yicha yoyiladi:

$$\begin{cases} \vec{P}_x = \vec{p}_{xx}\vec{i} + \vec{p}_{xy}\vec{j} + \vec{p}_{xz}\vec{k} \\ \vec{P}_y = \vec{p}_{yx}\vec{i} + \vec{p}_{yy}\vec{j} + \vec{p}_{yz}\vec{k} \\ \vec{P}_z = \vec{p}_{zx}\vec{i} + \vec{p}_{zy}\vec{j} + \vec{p}_{zz}\vec{k} \end{cases} \quad (2.11)$$

Shunday qilib, suyuqlik tashqi, sirtqi ta'sir etuvchi kuchlari uning har bir nuqtasida taqsimlanib, kuchlanishlar hosil bo'ladi va ular to'qqizta miqdor bilan aniqlanadi:

$$\vec{p}_n = \begin{pmatrix} p_{xx} p_{xy} p_{xz} \\ p_{yx} p_{yy} p_{yz} \\ p_{zx} p_{zy} p_{zz} \end{pmatrix}$$

Bu yerda p_{xx} ,

p_{yy} , p_{zz} lar parallelepiped yon tomonlari normallarga mos ravishda Ox , Oy va Oz o'qlar bo'lgan yuzalardagi $\vec{P}_x$, $\vec{P}_y$ va $\vec{P}_z$ kuchlanish vektorlarining o'qlariga proeksiyalari bo'lgani uchun bu kuchlanishlarga normal kuchlanish deyiladi va ular shu sirtlarni normal bo'ylab cheksiz kichik hajmni siqadi (yoki cho'zadi). Indeksleri turlicha bo'lgan holda esa $\{p_{xy}p_{xz}p_{yx}p_{zx}p_{yz}p_{zy}\}$ lar sirtga o'tkazilgan urunma tekislik bo'ylab yo'nalgan va suyuqlik qatlami shu yuzalar bo'ylab o'zaro ishqalanadi va ular kuchlanish vektorining shu tekisliklardagi proeksiyalari bo'ladi, ularga urunma kuchlanish deyiladi va uning ta'sirida suyuqlik sirtlari o'zaro ishqalanadi.

Ideal suyuqlik modeli esa kuchlanishlar sirtiga normal yo'nalishi ma'lum bo'lib, uning urunma yo'nalishidagi miqdorlari nulgacha teng bo'ladi va

$$p_{xy} = p_{xz} = p_{yx} = p_{zx} = p_{yz} = p_{zy} = 0$$

ya'ni suyuqlikda ichki ishqalanish bo'lmaydi.

Aslida barcha suyuqliklarda ichki ishqalanish mavjud bo'lib,

urunma kuchlanishlar ham noldan farqlib o'ladi.

Lekin ideal suyuqlik modelida hajmiy deformatsiyatezligi ishqalanish deformatsiyatezligidan ancha katta bo'lgani uchun $p_{xy} \approx 0$, $p_{yz} \approx 0$ va $p_{zx} \approx 0$ deb olinadi.

Yopishqoqsuyuqlik harakat tenglamasi. Elementar hajm-

ABCDEFH parallelepiped ichida joylashgan yopishqoqsuyuqlik massasining harakat tenglamasi tuzamiz.

Buning uchun shu parallelepiped qirralari Ox , Oy va Oz o'qlari bo'yicha yo'nalish yuzada gisuyuqlik massaga ta'sir etuvchi kuchlarni yig'indisini hisoblaymiz.

Ma'lumki buyig'indi Nyuton qonuniga ko'ra shu parallelepiped massasining tezlanish v

ektorining Ox, Oy va Oz o'qlariga proeksiyasini parallelepiped hajmiga ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Chizma 2.4 da ajratilgan ABCDEFKFH parallelepiped hajmning tomonlariga ta'sir etuvchi kuchlar berilgan. Shu kuchlarning Ox o'qiga proeksiyasi yordamida suyuqlik massasining harakat tenglamasini yozamiz:

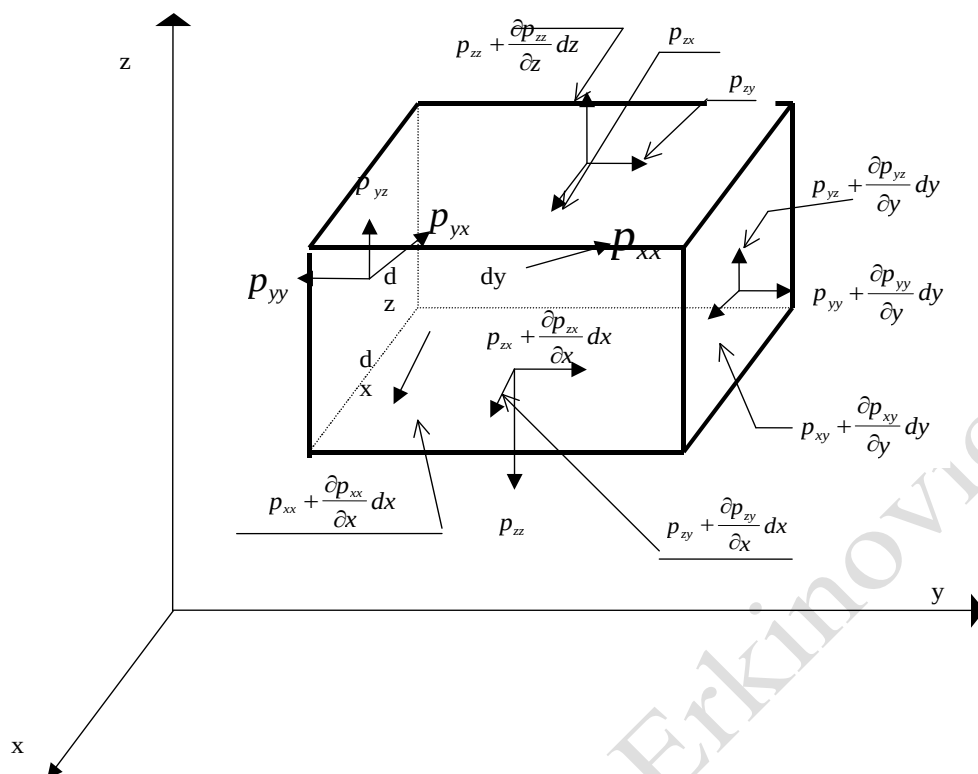
$$dF_x - p_{xx} dydz + (p_{xx} + \frac{\partial p_{xx}}{\partial x}) dydz - p_{yx} dx dz + (p_{yx} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y}) dx dz - p_{zx} dy dx + (p_{zx} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z}) dx dy = \rho \frac{du}{dt} dx dy dz \quad \text{bu}$$

erda $dF_x = \rho F_x dx dy dz$ F_x -esa tashqi kuchning suyuqlik massa birligiga ta'sir etuvchi F tashqi kuchning Ox o'qiga proeksiyasi. Olingan tenglikni $dx dy dz$ hajmga qisqartirsak tenglamani olamiz:

$$\rho \frac{du}{dt} = \rho F_x + \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} \quad (2.12)$$

Shuningdek Oy, Oz o'qlar bo'yicha ham yozamiz.

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dv}{dt} &= \rho F_y + \frac{\partial p_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial z} \\ \rho \frac{dw}{dt} &= \rho F_z + \frac{\partial p_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$



2.4-chizma. Ajratilgan ABCDEFKFKH parallelepiped hajmning tomonlariga ta'sir etuvchi kuchlar

Shunday qilib, yopishqoq suyuqlik zarrachasining harakat tenglamasini oldik. Bu tenglamalar sistemasida asosan suyuqlik zarrachasiga ta'sir etuvchi kuchlar berilgan deb hisoblasak (2.12), (2.13) tenglamalar va uzluksiz tenglamasi o'rta bo'lgan uchta noma'lum miqdorlar $u, v, w, p_{xx}, p_{xy}, p_{xz}, p_{yx}, p_{yy}, p_{yz}, p_{zx}, p_{zy}, p_{zz}$ va ρ ni aniqlash uchun yetarli emas. Yozilgan (2.12), (2.13) lar suyuqlik harakat miqdorini o'zgarish qonuniyatiga ko'ra olingan bo'lib, endi suyuqlik va gazlarning klassik modellari uchun harakat miqdori moment o'zgarishi qonuniyatidan (2.12), (2.13) larni hisobga olsak ushbu tengliklar olinadi:

$$p_{xy} = p_{yx}, p_{yz} = p_{zy}, p_{xz} = p_{zx} \quad (2.14)$$

Suyuqlik oqimining mexanik parametrlarini aniqlash uchun yana 6 ta tenglikni olishimiz kerak bo'ladi. Buning uchun kuchlanishlar bilan suyuqlik zarrachalarining deformatsiya tezliklari bilan bog'lanishini aniqlansa, tenglamalar soni etarlicha bo'ladi.

Suyuqlik massasining deformatsiyasi tezligi va kuchlanishi orasidagi munosabat. Suyuqlik massasidagi har bir zarracha turli tezlikda harakat qilishi natijasida bu zarrachalar orasidagi masofa o'zaro holatlari o'zgarib turadi. Suyuqlik massasi oquvchanlik xususiyatiga ega bo'lgani uchun uning elementar massasining siljish deformatsiyasi ancha katta miqdor bo'lgani uchun suyuqlik atrofga tezda yoyilib ketadi. Shuning uchun ham suyuqlik va gazlarni o'rganilganda suyuqlikning deformatsiyasi tezligini o'rganiladi. Suyuqlik massasining kuchlanishini uning deformatsiya tezligi o'zaro to'g'ri proporsional bo'lishini birinchi maratoba I. Nyuton aniqlagan va unga Nyuton qonuni deyiladi va ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\tau_n = \mu \frac{du}{dn}$$

Bu yerda $\frac{du}{dn}$ suyuqlik harakat yo'nalishiga ko'ndalang yo'nalish bo'yicha olingan gradient bo'lib, u -suyuqlik zarrachasi tezligi, $\vec{v}$ ning O_x yo'nalishga proeksiyasi, μ esa suyuqlikning dinamik yopishqoqlik koeffitsienti. Bu esa yonma-yon ikki suyuqlik sirtini o'zaro ishqalish koeffitsientini beradi.

Harakatdagi yopishqoq suyuqlikda urunma kuchlanishlardan tashqari normal kuchlanishlar ham mavjud bo'lib u asosan ta'sir yo'nalishiga, yuzaga bog'liq bo'ladi. Normallari o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta yuzalarga ta'sir etuvchi normal kuchlanishlarning $p = \frac{p_{xx} + p_{yy} + p_{zz}}{3}$ yig'indisi invariant miqdor bo'lib, u suyuqlik ichida olingan ixtiyoriy yo'nalishli yuza uchun o'rinli bo'ladi. Bu xususiyat umuman barcha izotrop tutash muhitlar uchun o'rinli bo'lib, xususan suyuqlik va gazlar uchun ham invariantlik xususiyat saqlanadi. Shuning uchun normal kuchlanish ikki qismga ajratiladi. Biri bosim deb ataladigan ixtiyoriy yo'nalish uchun umumiy bo'lgan miqdor u suyuqlikning muvozanat holatdagi kuchlanganligi bo'lib, ikkinchisi esa suyuqlik yopishqoqligi hisobiga suyuqlik egallagan hajm shaklini, miqdorini o'zgarishi yig'indilariga teng deb

olinadi. Shunday qilib yopishqoq suyuqlikning $\vec{n}$ normalidagi kuchlanishi $\vec{P}_n$ ikki qismdan iborat bo'ladi:

$$\vec{P}_n = \vec{P}_{n1} + \vec{\tau}_n$$

Bu yerda $\vec{P}_{n1}$ -suyuqlik, gazlarning muvozanatdagi holatdagi kuchlanishi, $\vec{\tau}_n$ -suyuqlik, gazlarning harakatga kelishidan hosil bo'lgan kuchlanishi. Agar suyuqlik zarrachasining tezlik vektori $\vec{V}\{u, v, w\}$ bo'lsa, deformatsiya bo'lishi uchun ushbu tenglik o'rinli bo'ladi:

$$\begin{aligned}\tau_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \tau_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \tau_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}, \\ \tau_{xy} &= \tau_{yx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \\ \tau_{xz} &= \tau_{zx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right), \\ \tau_{yz} &= \tau_{zy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)\end{aligned}\quad (2.17)$$

Ideal suyuqlik modeli uchun $\mu = 0$ va $P_{1xy} = P_{1xz} = P_{1yz} = 0$ bo'ladi bu esa Paskal qonuniga mos keladi.

(2.15), (2.16) va (2.17) tengliklardan yopishqoq suyuqliklardagi normal va urunma kuchlanishlar uchun yopishqoq suyuqlik zarrachasi tezlik vektori komponentlari orqali quyidagicha yoziladi va buni umumlashgan Nave-Stoks qonuni deyiladi:

$$\begin{aligned}p_{xx} &= -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \\ p_{yy} &= -p + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \\ p_{zz} &= -p + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \\ p_{xy} &= p_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ p_{yz} &= p_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ p_{zx} &= p_{xz} = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)\end{aligned}\quad (2.18)$$

Yopishqoq suyuqlikning harakat tenglamasi.

Yuqorida yopishqoq suyuqlik massasining harakat miqdorini o'zgarishini unga ta'sir etuvchi massaviy va sirtqi kuchlar yordamida olingan harakat tenglamasi kuchlanishlar uchun yozilgan

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = \rho F_i + \nabla_j P_{ij} \quad i, j = (\overline{1,3})$$

tenglamalarga kuchlanishlarning tezlik (4.1.8) tengliklar orqali berilgan ifodalarini o'rniga qo'ysak siqilmaydigan suyuqlik zarrachasi tezligi, bosimi va ta'sir etuvchi kuchga bog'lanish tenglamasini olamiz:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \gamma \nabla^2 u + F_x \\ \frac{dv}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \gamma \nabla^2 v + F_y \\ \frac{dw}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \gamma \nabla^2 w + F_z \end{aligned} \quad (2.19)$$

Bu yerda $\nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$ Laplas operatori, $\gamma = \frac{\mu}{\rho}$ suyuqlikning kinematik yopishqoqlik koeffistienti. (2.19) tenglamada kinematik yopishqoqlik koeffistienti γ o'zgarmas miqdor deb olingan bo'lib, suyuqlik siqilmaydigan deb hisoblangan va shuningdek $\rho = \text{const}$ bo'lishini hisobga olingan Gidravlikada asosan siqilmaydigan suyuqlikni ko'riladi.

Endi (2.19) tenglamada berilgan tezlanishni lokal va konvektiv qismlarga ajratib yozsak Nave-Stoks tenglamasi ushbu ko'rinishni oladi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \gamma \nabla^2 u, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \gamma \nabla^2 v, \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \gamma \nabla^2 w \end{aligned} \quad (2.20)$$

Olingan tenglamani vektor ko'rinishida(Eyler tenglamasi):

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \nabla) \vec{v} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad} p + \gamma \nabla^2 \vec{v} \quad (2.21)$$

yoki Gromeko-Lamb tenglamasi:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \text{grad} \frac{V^2}{r} + 2[\vec{\omega}, \vec{v}] = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad} p + \gamma \nabla^2 \vec{v} \quad (2.22)$$

ko'rinishida yozish mumkin.

Bu erda $\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$ Laplas operatori. Umuman olganda,

suyuqlikning dinamik yopishqoqlik koefitsienti μ , bosim p va harorat T funksiyasi bo'ladi. Bu erda $\mu = \text{const}$ deb qabul qilingan.

Odatda tashqi-massaviy kuch vektori $\vec{F}$ berilgan hisoblanadi suyuqlikning zichligi va yopishqoqlik kinematik koeffitsientlarini o'zgarmas miqdor deb hisoblanadi. Bu holda olingan (2.20) tenglamalar sistemasida tezlik vektori komponentlari u, v, w va bosim noma'lum hisoblanadi (tashqi kuch berilgan ρ - zichlik o'zgarmas) hisoblanadi. Shuning uchun ham (2.20) tenglamalar sistemasi, uzluksizlik tenglamasi bilan birgalikda 4 ta noma'lumli 4 ta tenglamalar sistemasini beradi. Bu tenglamalar sistemasi Nave-Stoks tenglamasi deyiladi.

Olingan tenglamalar sistemasini uchun boshlang'ich va chegaraviy shartlar berilishi kerak bo'ladi. Boshlang'ich shart sifatida tezlik va bosimning suyuqlik egallagan hajm nuqtalaridagi tezlik va bosimlarini boshlang'ich ondagi qiymatlari

$$\begin{aligned} u(x, y, z, 0) &= \varphi_1(x, y, z), v(x, y, z, 0) = \varphi_2(x, y, z), \\ P(x, y, z, 0) &= P_0(x, y, z), w(x, y, z, 0) = \varphi_3(x, y, z), \end{aligned} \quad (2.23)$$

Chegaraviy shartlar sifatida suyuqlik egallagan hajmni o'rab turgan sirt $S = S_1 + S_2 + S_3$ uch xil sirtidan iborat bo'ladi.

a) S_1 - Sirt qattiq jism bo'lib, unda suyuqlik zarrachasi shu sirtga yopishgan hisoblanadi va uning tezligi, shu nuqtadagi qattiq jism tezligiga teng hisoblanadi, jism qo'zg'almas bo'lsa undan suyuqlik zarrachasi qo'zg'almas bo'lib, tezligi nolga teng bo'ladi.

b) S_2 - sirt erkin sirt bo'lsa, bu sirt bo'ylab undagi ichki va tashqi muhitlar kuchlanishlari teng bo'ladi. Agar suyuqlik tashqarisidagi muhit qo'zg'almas bo'lsa suyuqlikning tezligi va bosimi o'zgarmas miqdor bo'ladi.

c) S_3 - sirt ikki xil o'zaro aralashmaydigan suyuqliklarni ajratuvchi sirtlar, bu holda uning har bir nuqtasidagi bosimlari tashqi suyuqlik bosimiga teng bo'ladi.

Bu shartlar yana suyuqlikni chegaralab turgan sirt uning ko'p nuqtalari uchun tok chizig'i bo'ladi va o'zgarmas bo'ladi.

Agar tashqi kuchlar konservativ $\vec{F} = -grad\Pi$, oqim stasionar bo'lsa, yopishqoq suyuqlikning Gromeko-Lamb ko'rinishidagi tenglamasi (2.21) koordinata o'qlari bo'yicha quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{V^2}{2} + \Pi + \frac{p}{\rho}\right) + \gamma\nabla^2 u &= 2(w\omega_y - v\omega_z) \\ -\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{V^2}{2} + \Pi + \frac{p}{\rho}\right) + \gamma\nabla^2 v &= 2(u\omega_z - w\omega_x) \\ -\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{V^2}{2} + \Pi + \frac{p}{\rho}\right) + \gamma\nabla^2 w &= 2(v\omega_x - u\omega_y) \end{aligned} \quad (2.24)$$

Olingan tenglamalarni dx, dy, dz larga ko'paytirib qo'shsak ushbu ko'rinishini olinadi:

$$d\left(\Pi + \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2}\right) - \gamma[\nabla^2(udx + vdy + wdz)] = -2 \begin{vmatrix} dx & dy & dz \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ u & v & w \end{vmatrix} = -2([d\vec{r}, \vec{\omega}], \vec{V}) \quad (2.25)$$

Olingan tenglikni L_v -tok chizig'i deb olsak bu chiziq bo'ylab $d\vec{r} \parallel \vec{V}$ bo'lgani uchun (2.24) tenglikning o'ng tarafidagi determenant nolga teng bo'ladi.

$dA = -\gamma\nabla^2(udx + vdy + wdz) = -\gamma\nabla^2(\vec{V}, d\vec{r})$ miqdor suyuqlik massasining tok chizig'i bo'ylab yo'nalgan bo'lib, u yopishqoqlik kuchlarini tok chig'igi bo'ylab siljishi uchun bajarilgan ish bo'ladi.

Oxirgi tenglikdan $dB = dA = 0$. Bu yerda $B = \left[\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + \Pi\right]$. Bundan L_v tok chizig'i bo'ylab ushbu tenglikni olamiz:

$$BA = const$$

Shunday qilib, agar bajarilgan ish to'liq differensial bo'lsa, ideal suyuqlik kabi bu erda ham birinchi integralni olish mumkin:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + \Pi + A = const \quad (2.26)$$

Bu tenglik tok sirti, uyurma sirti va vint sirti bo'ylab o'zgarmas miqdor bo'ladi. Suyuqlik ideal bo'lsa yopishqoq kuchlar bajargan ish nol bo'ladi.

Shunday qilib, tok chizig'i bo'ylab yopishqoq suyuqlik uchun Bernulli integralini olamiz.

Suyuqlikning yopishqoqlik kuchlarini yengish uchun ish bajarishiga sarf bo'lgan energiya A —bo'lib u suyuqlikning og'irlik birligiga mos keladi va u energiya deyiladi va mexanik energiyadan issiqlik energiyasiga aylanadi. Bu jarayon asosan qaytmas jarayon bo'ladi.

Olingan (2.25) tenglamadan yopishqoq suyuqlikning tok naychasini olsak uning ikki ko'ndalang kesimi uchun ushbu tenglik o'rinli bo'ladi:

$$\Pi_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + A_1 = \Pi_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + A_2.$$

Ko'pincha $A_2 > A_1$ bo'ladi, shuning uchun oxirgi tenglik

$$\frac{A_2 - A_1}{g} = h_{TAZ} \quad \text{deb belgilasak.}$$

Bu yerda h_{TAZ} suyuqlikdagi ishqalanish kuchi hisobiga yo'qolgan solishtirma energiya-taziyqni yo'qolishi deyiladi.

Oxirgi tenglik siqilmaydigan yopishqoq suyuqlikning elementar naychasidagi stasionar og'irlik kuchi ta'siridagi tenglamasi deb hisoblanadi va uni Bernulli tenglamasi deyiladi. Suyuqlik oqimini o'rganishda undagi energiyaning o'zgarishi katta ahamiyatga ega bo'lib, buni kengroq qilib, keyingi boblarda bayon qilamiz.

Yopishqoq suyuqlik harakatini sodda masalalari. Yopishqoq suyuqlikning quvurdagi laminar oqimi.

Yopishqoq suyuqlik harakatining oddiy masalalari sifatida uning cheksiz kichik uzun stilindrik quvurdagi harakatini ko'ramiz. Ko'ndalang kesimi R radiusli aylana bo'lgan cheksiz uzun stilindrik quvurda yopishqoq suyuqlik laminar oqim masalasini ko'ramiz. Oz o'qi stilindr bo'ylab yo'nalgan bo'lsin va suyuqlik zarrachasining harakat traektoriyasi bu o'qqa parallel bo'lsin, bu holda suyuqlik tezlik vektorining ko'ndalang yo'nalishdagi komponentlari nolga ($v = 0, u = 0$) teng bo'ladi va Nave-Stoks tenglamasi ushbu ko'rinishga keladi:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \rho \frac{\partial u}{\partial t}; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

Shunday qilib bu tenglamalar va Nave-Stoks tenglamalaridan bosim $p = p(z, t)$ o'zgaruvchilari tezlik esa $u(x, y, t)$ yoki (x, y, t) lar funksiyasi bo'lar ekan. Tenglikning o'ng tarafi (z, t) o'zgaruvchilarning funksiyasi, chap tarafi esa (x, y, t) funksiyasi bo'lgani uchun $\frac{\partial p}{\partial z} = -i^* = \text{const}$ deb olamiz va quyidagi tenglamani olamiz:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u + \frac{i^*}{\rho}.$$

Bu tenglamani echish uchun $u|_{t=t_0} = f(x, y)$ boshlang'ich shart olinadi. Yopishqoq suyuqlikning ko'ndalang kesimi doira bo'lgan quvurdagi stasionar oqim ko'rilsa tenglama $\nabla^2 u = \frac{i^*}{\mu}$ ko'rinishga keladi va uning yechimini quyidagicha yozish mumkin $u = \frac{i^*}{4\mu} (R^2 - r^2) + C$ Chegaraviy shartlardan ushbu yechimni olamiz

$$u = \frac{i^*}{4\mu} (R^2 - r^2).$$

Quvur ko'ndalang kesimidan vaqt birligi ichida o'tadigan suyuqlik miqdori uchun $Q = 2\pi \int_0^R r U^2 dr$ -bundan suyuqlik sarfi uchun Puazel formulasini olamiz

$$Q = \frac{\pi i^* R^4}{8\mu}$$

Bu formula texnikada ko'p tadbiquqa ega: masalan, vodoprovodlarda suv taqsimoti, suyuqlik, gazlar va boshqa muhitlarni quvurlarda uzoq masofaga yetkazish masalalarini echish, turli konstrukstiyali mexanizastiya asboblarni yasash hisobotiga va boshqalarga tadbiq qilinishi mumkin.

Yopishqoq suyuqlikning shar atrofidagi harakati.

Jism yopishqoq suyuqlik ichidagi harakati masalasi Nave-Stoks tenglamasini yechishga keltiriladi va uni analitik echish ancha murakkab hisoblanadi, chunki uning konvektiv qismi chiziqsiz. Bu tenglamalarni chiziqli ko'rinishga keltirish uchun ba'zi bir gipotezalarni qabul qilishga to'g'ri keladi.

Stoksning taqribiy echimi. Shar formasidagi qattiq echim qo'zg'almas suyuqlikda v_0 tezlikda Ox bo'ylab stasionar harakatda bo'lsin. Koordinata boshini shar markaziga quyib uni shar bilan birga ko'chsin desak, yopishqoq suyuqlik sharni oqib o'tayotgan bo'ladi va (2.20) tenglamalar sistemasi bu hol uchun quyidagicha yoziladi:

$$\operatorname{div} \vec{v} = 0, \operatorname{grad} p = \mu \Delta \vec{v}$$

Ikkinchi tenglamadan divergensiya operatsiyasini bajarsak, $\operatorname{div} \operatorname{grad} p = \nabla^2 p$ bo'ladi va $\operatorname{div} \vec{v} = 0$ bo'lgani uchun bosim uchun Laplas tenglamasini olamiz: $\nabla^2 p = 0$. Hosil bo'lgan oqim mo'tadil va Ox o'qqa simmetrik bo'lgani uchun $\frac{\partial p}{\partial \Theta} = 0$ bo'ladi. Bundan bosim uchun ushbu tenglamani olamiz

$$\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} = \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0.$$

Bu tenglamani xususiy yechimi sifatida $p = p_0 + \frac{\mu R}{r^3} x$ funksiya bu erda $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ olinsa bo'ladi.

Bundan suyuqlik zarrachasining tezligini ushbu tenglamalardan olish mumkin: $\Delta u = \frac{1}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x}$; $\Delta v = \frac{1}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y}$; $\Delta w = \frac{1}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z}$. Olingan har bir Puasson tenglamasini sfera tashqarisi uchun echimlari sifatida olingan suyuqlik zarrachalarining tezliklari quyidagicha yoziladi:

$$u = -\frac{3}{4} R V_0 \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right) \frac{x^2}{r^3} - \frac{3}{4} V_0 \frac{R^2}{r^2} + V_0,$$

$$v = -\frac{3}{4} R V_0 \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right) \frac{xy}{r^3}, \quad w = -\frac{3}{4} R V_0 \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right) \frac{xz}{r^3}$$

Bu tezlik va bosim taqsimotidan foydalanib sfera sirtiga ta'sir etuvchi kuchlanishlarni hisoblash mumkin. Sharning harakatiga yopishqoq suyuqlik qarshilik kuchi ushbu formuladan aniklanadi: $A = \int_{\Sigma} P_n dr$ Bu kuchni Ox o'qi bo'ylab ta'sir etuvchi kuch proeksiyasini hisoblaymiz:

$$w = np_{ox} \bar{A} = 18\mu\pi RV_0 \int_0^x \frac{\lambda d\lambda}{(1 + \lambda^2)^{\frac{5}{2}}} = 6\mu\pi RV_0$$

Buni Stoks formulasi deb ataymiz.

2.3. FEMLAB da suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblash.

COMSOL Multiphysics –bu xususiy hosilali differensial tenglamalarni chekli elementlar metodiga asoslangan ko'plab ilmiy va muhandislik masalalarini modellashtirish hamda hisoblash imkoniyatini beruvchi kuchli interaktiv muhit.

Yuqoridagi usullardan foydalanib, tahlili tipini o'zgartirish mumkin:

- Statsionar va o'tish tahlili
- Chiziqli va chiziqsiz tahlil
- Model tahlil va xususiy chastotalarning tahlili

Xususiy hosilali va differensial tenglamani yechish uchun COMSOL Multiphysics (FEM) chekli elementlar metodidan foydalaniladi. Dastur ta'minoti chekli element tahlil qilgan holda muhitning konfiguratsiyasidagi setka(to'r) qoplaydi hamda turli xil sonli yechish(hisoblash) usullari yordamida hisoblaydi. Ko'pgina fizik qonuniyatlar xususiy hosilali differensial tenglamalar orqali ifodalanganligi sababli, turli spektrdagi ilmiy va injenerlik hodisalar: akustika, ximiyaviy reaksiya, diffuziya, elektromagnetizm, gidrodinamika, filtirlash, issiqlik massa almashinuvi, optika, Kvant mexanikasi, yarim o'tkazgichli qurilmalar, materillar qarshiligini va boshqalarni ushbu dastur yordamida modellashtirish mumkin bo'ladi.

Yuqorida sanab o'tilganlardan tashqari, (coupling variables) o'zgaruvchilarni bog'lash yordamida turli xil geometriyadagi modellarni bog'lash, hamda bu model turli o'lchovlarini o'zaro almashtirish imkomiyatini beradi.

Dasturxususiy hosilali differensial tenglamalar sistemasini chekli elementlar metodiga asoslanib, bunday sistemalarni berilishining uch xil matematik usuli mavjud:

- koeffisient shakli, chiziqli va unga yaqin modellaruchun;

- bosh shakli, chiziqsiz modellar uchun;
- kuchsiz shakli(Weak forma), aralash masalalar uchun.

Masalani yechish uchun quyidagi amallarni ketma-ket bajarish talab etiladi:

1. Model Navigator dan mos fizik jarayon (har qaysi fizik jarayon) bo'limini tanlab olamiz, har bir bo'limda o'shanga mos differensial tenglama bilan aniqlanadi, hamdastatsionar yoki nostatsionar temperatura maydoni tahlilini tanlaymiz.

2. Ishi soha va geometriyani aniqlab olamiz.

3. Boshlang'ich berilganlarni ya'ni vaqt va koordinatalarga bog'liq o'zgaruvchilarning qiymatlari kiritiladi.

4. Teplofizik xossalari va boshlang'ich shartlarni kiritamiz.

5. Chegaraviy shartlarni ko'rsatamiz.

6. To'ring parametrlarini beramiz va uni quramiz.

7. Qaysi parametrlarni topishni aniqlab olamiz va hisoblashni boshlab yuboramiz.

8. Akslantirish rejimini sozlaymiz.

9. Natijalarni olamiz.

Conduction and Convection

Heat Transfer amaliy rejimining bu bo'limida suyuqlik temperaturasi maydoni va jismni o'rab olgan jismdagi temperaturani suyuqlik tezliklari maydoni ma'lum bo'lgan holda topishga mo'ljallangan. Heat Transfer > Conduction bo'limida issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasida uning hadlaridan biri suyuqlik tezligiga bog'liq. Bu issiqlik rejimida sterjenda issiqlik tarqalishi suyuqlik oqimi bilan sovushi masalasini aniqlaymiz

Ikki o'lchovli o'qqa nisbatan simmetrik statsionar rejimdagi modelda hisoblashni o'tkazamiz. Quyidagi cheklanishlarni va sharoitlarni inobatga olamiz: trubaning tashqi chegarasida adiabatik shart bajariladi chunki issiqlik oqimining asosiy qismini suv molekullari o'tkazadi. Parametrik hisoblagichlardan foydalanamiz. Bunda suyuqlik tezligi 0 va 2 m/s orasida o'zgaradi. Sterjen po'latdan yasalgan bo'lib (diametri 2 sm, uzunligi 20 sm) uni sovutadigan suyuqlik suv bo'lib,

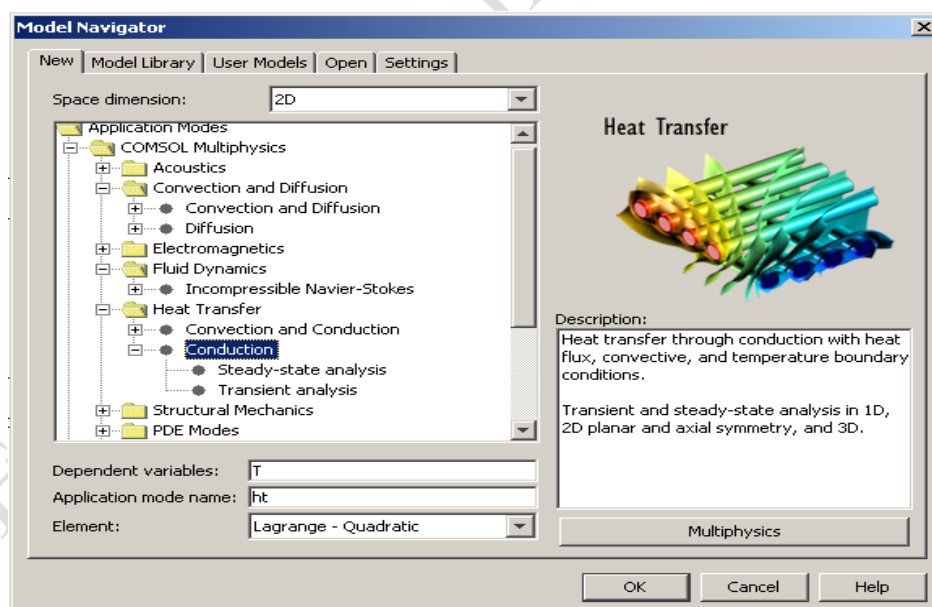
xona temperaturasida parabolik profildagi tezlikda harakatlanib(oqib) sovutadi. Sterjenning manbaa quvvati 2kvv ga teng deb olinadi. Sterjenning hajmi uning geometrik parametrlarini integral o'zgaruvchilarning bog'lanishlarini hisobga olgan holda topiladi. Bunda suvning qatlam qalinligi 2sm gateng. Suvning teplofizik xossalari temperatura va oqim tezligiga bog'liq emas deb hisoblanadi.

Sterjenning teplofizik xossalari. 2.1-jadval

Zichlik	$\rho=7805 \text{ kg/m}^3$
Issiqlik sig'imi	$C=475 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Issiqlik o'tkazuvchanlik	$k=44.5 \text{ Wt/(m}^2\cdot\text{K)}$

Suyuqlik tezligiga bog'liq holdagi chiqishi suyuqlikning o'rtacha temperaturasini topish kerak.

Biz yuqorida keltirilgan jarayon statsionar rejimda kuzatayotganimizga qaramasdan suyuqlik uchun zichlik,issiqlik sig'imini ham keltirish zarur. Chunki energiya miqdori suyuqlik oqimining parametrlariga bog'liq.



2.5-chizma. Modellar Navigatori oynasi

ModellarNavigatori

1. **Model Navigator** ni ochamiz, Spase dimension ro'yxatidan **Axial symmetry(2D)** ni tanlaymiz.

2. **COMSOL Mutiphysics[FEMLAB]>Heat Transfer** papkasining amaliy rejimlari ro'yxatidan **Convection and Conduction** elementni tanlaymiz.

3. **Steady-State analysis** ni tanlaymiz

4. **OK** tugmasini bosamiz.

Geometriyasini modellashtirish

1. **Draw** menyusidan **Spescify Objects** ni tanlaymiz.

2. **Rectangle** oynasidan **Size** sohasini topamiz va **Width(eni)** 0.01ni kiritamiz (bu o'qqa nisbatan simmetrik bo'lgani uchun radiusni kiritish kerak) so'ngra **Height(balandlik)** 0.2 ni kiritamiz.

3. **OK** tugmasini bosamiz.

4. **Draw** menyusidan **Spescify Objects** ni tanlaymiz va **Rectangle** ni tanlaymiz.

5. **Rectangle** oynasidan **Size** sohasida 0.02 ni **Width(eni)** gakiritamiz, **Height(balandlik)** 0.2 ni kiritamiz. **Position** sohasidan **r** maydoniga 0.01 ni kiritamiz

6. **OK** tugmasini bosamiz.

7. **Zoom Extents** tugmasini bosamiz.

O'zgarmaslar va ifodalar

1. **Options** meyusini ochamiz va **Expressions> Global Expressions** ni tanlaymiz.

2. **Name** maydoniga **S** ni kiritamiz, **Expression** maydoniga esa $-(0.01 - (r)) * 50$ ni kiritamiz. Bu **S** esa suv qatlami qalinligining normallashtgan koordinatasidir.

3. **OK** tugmasini bosamiz.

4. **Options** meyusini ochamiz, **Integration Coupling Variables>Boundary Variables** ni tanlaymiz.

5. **Sourse** ro'yxatidan 6 chi chegarani tanlaymiz(undan issiqlikni olib o'tuvchi suv oqadi).

6. **Name** maydoniga **Tint** ni kiritamiz, **Expression** maydoniga $T * 2 * \pi * r / (0.0008 * \pi)$ ni kiritamiz va **OK** tugmasini bosamiz.

7. **Options>Integration Coupling Variables>Subdomain Variables**soynasini ochamiz.

8. 1 chi sohani tanlaymiz so'ngra **Name** maydoniga **Vsterj** so'zini yozamiz, **Expression**maydoniga $2 * \pi * r$ ni kiritamiz.

9. **OK** tugmasini bosamiz.

Fizikaviy parametrlarini sozlash.

1. **Physics**menyusidan **SubdomainSettings**ni tanlaymiz.

2. **Subdomain Settings**soynasidan keyin 1va 2 chegara larga o'tib quyidagi jadvaldagi parametrlarni kiritamiz:

SUBDOMAIN	1	2
k (isotropic)	44.5	0.61
C	7850	995.6
Cp	475	4178
Q	2000/Vsterj	0
U	0	0
V	0	$6 * V_{mean} * S * (1-S)$

Endi temperaturaning boshlang'ich qiymatlarini tanlaymiz.

3. Shu oynaning o'zida **Init**ni ochamiz.

4. **Temperature** maydonida ikkala soha uchun boshlang'ich qiymat 300 ni kiritamiz.

5. **OK** tugmasini bosamiz.

Chegaraviy shartlar: **Physics**menyusini ochamiz va **Boundary Settings** ni tanlaymiz.

1. **Boundary Settings**soynasidan 1-chegarani tanlaymiz.

2. **Boundary condition**ro'yxatidan **Axial symmetry** ni aktivlashtiramiz.

3. 5- chegarani tanlaymiz.

4. Chegaraviy shartlar oynasidagi **Temperature** maydonini tanlab unga 300 ni kiritamiz.

5. 6-chegaradan **Convectiveflux** ni o'rnatamiz.

6. Qolgan barcha chegaralarda adiabatik shart **Thermal insulation** ni qoldiramiz.

7. OK tugmasini bosamiz.

Shunday qilib kiritilayotgan suvning harorati 300K deb olinadi.

To'ring generatsiyasi

Mesh>Meshparameters... oynasini ochamiz. **Predefinedmeshsizes** ro'yxatidan, **Global** bo'glanishini va **Finer** rejimini tanlaymiz va **Remesh** tugmasini bosamiz so'ngra OK tugmasini bosamiz. Bunda to'r 416 chekli elementga bo'linadi.

Hisoblash

1. **Solve[Hisoblash]** menyusidan **SolverParameters**ni tanlaymiz.
2. **Solve[Hisoblashlar]** ro'yxatidan **Parametriclinear** ni tanlaymiz.
3. **General** bog'lanishlardan, birinchi *Name of parameter* maydoniga *Vmean* ni, *List of parameter[parameter ko'rsatkichlari ro'yxati]* maydoniga esa 0:0.1:2 ni kiritamiz.

4. **OK** tugmasini bosamiz

5. So'ngra **Solve[Hisoblash]** tugmasini bosamiz.

Vizualizatsiya

Hisoblashlardan keyin siz 2m/s tezlikdagi temperature taqsimotini ko'rasiz.

Animation , tugmasi yordamida issiqliktashuvchi tezligi o'zgarishining Animatsiyasini olishimiz mumkin. Agar **Postprocessing>Plotparameters... (F12)** oynasini ochib, **Parameter value** ro'yxatidan parametrlar qiymatini o'zgartirib hisoblangan ixtiyoriy qiymat uchun vizualizatsiyani olishimiz mumkin.

1. **Postprocessing>Cross-Section Plot Parameters** oynasini ochamiz.
2. **General**(buyruq) orqali barcha vaqt qadamlari tanlanganini tekshiramiz.
3. So'ngra **Point** buyrug'ini tanlaymiz.

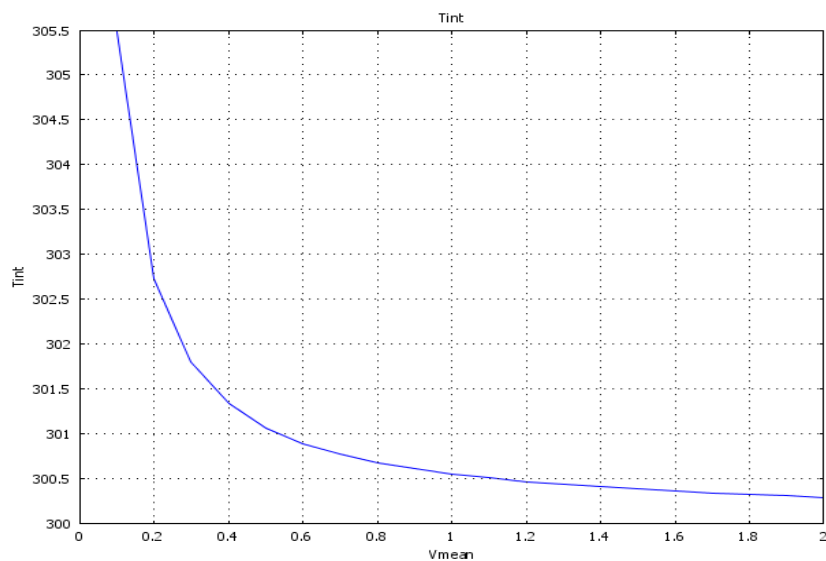
Agar biz ixtiyoriy bir nuqtaning kordinatasini kiritib OK tugmasini bossak suyuqlik oqimi shu nuqtadagi tezligining temperaturaga bog'liqligi grafigi ekranda kelib chiqadi. Chekli elementli metodni qo'llash ning ba'zi bir xususiyatlari sababli issiqlik o'tkazuvchi (suyuqlik)ning turli nuqtalardagi temperaturasi keskin

tebranishi hattoki ba'zi bir nuqtalardagi qiymati 300 K dan ham tushib ketishi mumkin. Bunday holatlarning oldini olish uchun **SubdomainSettings** bo'limiga kirib **ArtificialDiffusion [sun'iy diffuziya]** qurilmasidan foydalaniladi.

4. *Expression* maydoniga o'zgaruvchi nomi Tint ni kiritamiz.

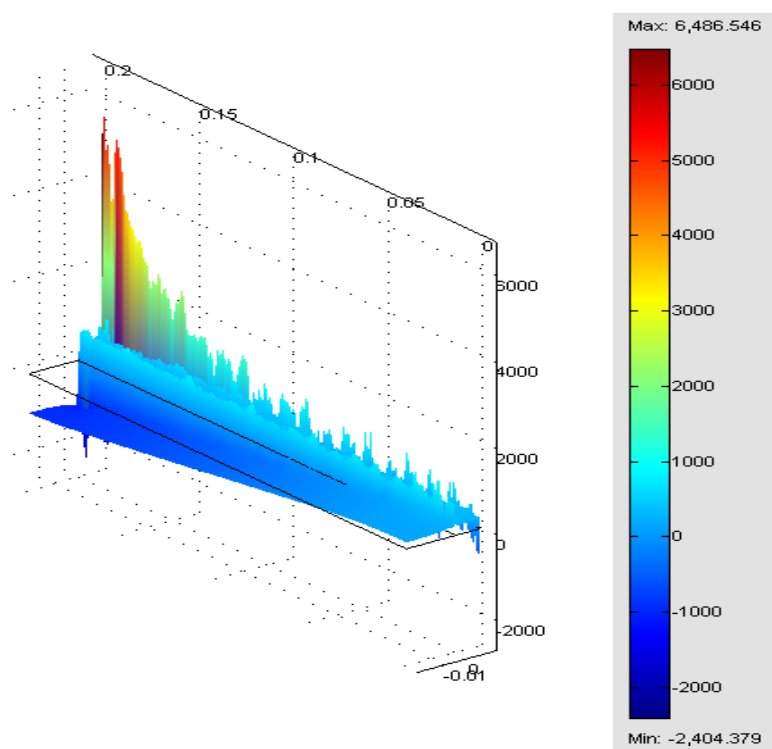
5. OK tugmasini bosamiz.

Yuqorida bajarilgan ishlar natijasida quyidagi grafikga ega bo'lamiz:



2.6-chizma. Suyuqlik(suv) oqimi tezliginig temperaturaga bog'liqlik grafigi

Biz bu grafikni boshqacha korinishda ham korishimiz mimkin:



2.7-chizma. Suyuqlik(suv) oqimi tezliginig temperaturaga bog'liqlik grafigining uch o'lchovli fazoda(3D grafikada) ko'rinishi.

Sunday qilib sterjenda suyuqlik(suv)ning harakatlanishi(oqishi) davomida uning tezligiga qarab temperaturasi o'zgarar ekan.

Xulosa. Tabiatdagi ba'zi suyuqliklarda urunma kuchlanishni suyuqlik tezligining gradientiga to'g'ri proporsional bog'liqligiga ya'ni, Nyuton qonuniga bo'ysunadigan va bo'ysinmaydigan suyuqliklar mavjud, bularga ideal, yopishqoq, dilatant, yopishqoq-plastik suyuqliklar va ularning harakat qonuniyatlari qisqacha o'rganilgan. Suyqliklardaurunma kuchlanish-ichki ishqalanish kuchlari suyuqlikning ikki qo'shni zarrachalari turli tezlikda harakat qilish natijasida hosil bo'ladi. Bu - asosan suyuqlikning oquvchanlik xususiyati katta bo'lganda o'rinli bo'lib, uning qiymati kamayganda tezliklar farqidan boshqa ta'sirlarni ham hisobga olishga to'g'ri kelishi bayon etilgan.

Yopishqoq suyuqlik harakatini sodda masalalari, trubadagi yopishqoq suyuqlikning laminar oqishi, ya'ni yopishqoq suyuqlik harakatining cheksiz kichik uzun silindrik quvurdagi, va yopishqoq suyuqlikning shar atrofidagi harakati

o'rganilgan . Ko'ndalang kesimi radiusli aylana bo'lgan cheksiz uzun silindrik quvurda yopishqoq suyuqlik laminar oqim masalasi ko'rilgan.

Jism yopishqoq suyuqlik ichidagi harakati masalasi Nave-Stoks tenglamasini yechishga keltiriladi va uni analitik yechish ancha murakkab hisoblanadi, chunki uning konvektiv qismi chiziqsiz. Bu tenglamalarni chiziqli ko'rinishga keltirish uchun ba'zi bir gipotezalarni qabul qilishga to'g'ri keladi.

FEMLAB (COMSOL Multiphysics) – xususiy hosilali differensial tenglamalarini chekli elementlar metodiga asoslangan ko'plab ilmiy va muhandislik masalalarini modellashtirish hamda hisoblash imkoniyatini beruvchi kuchli interaktiv muhitda suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblangan, kerakli grafiklar keltirilgan.

Xotima

Tabiatdagi mavjud harakatlarni o'rganishida ko'pincha qattiq jism bilan birga unga joylashgan, yoki uning atrofini o'rab olgan holdagi suyuqlik, gaz va plazma harakatlarini jismga yoki idish devoriga suyuqlik tomonidan bo'ladigan ta'sirini va aksincha devorni suyuqlik zarrachalariga ta'sirini aniqlashda, suyuqliklarning oqimida ishqalanish kuchining ta'siri, ya'ni ichki ishqalanish kuchining tabiatiga bog'liqligi o'rganilgan. Suyuqlikning kinematik, dinamik koeffitsientlariga, haroratini o'zgarishining ta'sir etishi, hamda suyuqlik zichligi o'zgarmas yoki o'zgaruvchan bo'lib, u bosim, harorat va boshqa termodinamik parametrlarga bog'liqligi, masalan, suyuqlikka issiqlik oqimini kelishi natijasida suyuqlikning harorati oshadi, natijada uning hajmi oshishi ko'rsatilgan.

Juda tez oquvchanlik xususiyatga ega muhitlar gaz va gazsimon muxitlar bo'lib, uning zichligi suyuqlik zichligidan ancha kam bo'lib, ularning zarrachalarining o'zaro tortish kuchi ancha kichikligi bois, gazlarning siqish (cho'zish) deformastiyasiga qarshiligi kuchsiz bo'ladi shu bilan birga gazning bosimi va harorati o'zgarishi bilan uning zichligi ham o'zgarishi bayon etilgan.

Turli jarayonlarda suyuqliklar ichida joylashgan havoning tarkibidagi gazlar oz miqdorda erigan holda uchrashi, bosim ortishi yoki temperatura kamayishi bilan erigan gazlar miqdori ortishi (gazlarning suyuqlikda erishi) va aksincha, bosim kamayganda yoki temperatura ortganda ularning miqdori kamayishi (kavitatsiya hodisasi) o'rganilgan. Suyuqliklarning harakati tekshirilganda barcha kuchlarni hisobga olib bo'lmagani uchun, ularning suyuqlik muvozanati yoki harakati holatiga ta'siri katta bo'lganlarini saqlab qolib, ta'siri kichiklarni tashlab yuborilgan, shunga ko'ra, suyuqliklar ideal varezal suyuqliklarga ajratilgan.

Tabiatdagi ba'zi suyuqliklarda urunma kuchlanishni suyuqlik tezligining gradientiga to'g'ri proporsional bog'liqligiga ya'ni, Nyuton qonuniga bo'ysunadigan va bo'ysinmaydigan suyuqliklar mavjud, bularga ideal, yopishqoq, dilatant, yopishqoq-plastik suyuqliklar va ularning harakat qonuniyatlari qisqacha o'rganilgan. Suyuqliklarda urunma kuchlanish-ichki ishqalanish kuchlari suyuqlikning ikki qo'shni zarrachalari turli tezlikda harakat qilish natijasida hosil bo'ladi. Bu - asosan suyuqlikning oquvchanlik xususiyati katta bo'lganda o'rinli

bo'lib, uning qiymati kamayganda tezliklar farqidan boshqa ta'sirlarni ham hisobga olishga to'g'ri kelishi bayon etilgan.

Yopishqoq suyuqlik harakatini sodda masalalari, trubadagi yopishqoq suyuqlikning laminar oqishi, ya'ni yopishqoq suyuqlik harakatining cheksiz kichik uzun silindrik quvurdagi, va yopishqoq suyuqlikning shar atrofidagi harakati o'rganilgan. Ko'ndalang kesimi radiusli aylana bo'lgan cheksiz uzun silindrik quvurda yopishqoq suyuqlik laminar oqim masalasini ko'rilgan.

Jism yopishqoq suyuqlik ichidagi harakati masalasi Nave-Stoks tenglamasini yechishga keltiriladi va uni analitik yechish ancha murakkab hisoblanadi, chunki uning konvektiv qismi chiziqsiz. Bu tenglamalarni chiziqli ko'rinishga keltirish uchun ba'zi bir gipotezalarni qabul qilishga to'g'ri keladi.

FEMLAB (COMSOL Multiphysics) – xususiy hosilali differensial tenglamalarini chekli elementlar metodiga asoslangan ko'plab ilmiy va muhandislik masalalarini modellashtirish hamda hisoblash imkoniyatini beruvchi kuchli interaktiv muhit da suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblangan, kerakli grafiklar keltirilgan.

Yoqorida keltirilganlardan kelib chiqqan holda eng asosiy natijalar quyidagilar:

- ba'zi birsuyuqlik va gazlar mexanikasi tabiiy jarayonlarni modellashtirishdagi roli haqida ma'lumot keltirilgan, hamda oqimiga ishqalanish kuchining ta'siri, ya'ni agar normal kuchlanish va uru nma kuchlanish chekli bo'lganda, suyuqlik va gazlar harakatiga sarf etiladigan energiyaning bir qismi undagi mavjud bo'lgan ichki qarshilik kuchini-ishqalanish kuchini yengishga ma'lum miqdorda ish bajarishgasarf qilinadi. Bu suyuqlik va gazlarning ichki ishqalanish kuchi-yopishqoqlikning molekulyar mexanizmi asosida yuzaga chiqadi. Inersiya kuchining ishqalanish kuchiga nisbati Re o'lchovsiz mezoni aniqlaydiki, unga ko'ra suyuqlik va gazlardalaminar yoki turbulent oqim vujudga kelishi, shu bilan birgaharoratining o'zgarishi suyuqlik va gazlardayopishqoqlikning kinematik, dinamik koeffistientlariga ta'sir etishi ko'rsatilgan.

- suyuqlikni issiqlik oqimi ta'siri natijasida uning harorati va hajmi ortadi. Gaz muhitlari esa suyuqliklar kabi oquvchanlik xususiyatga ega bo'lsa ham, uning zichligi suyuqlik zichligidan ancha kichik bo'lib, shung uchunularning zarrachalarining o'zaro tortish kuchi past. Shuning uchun ham gazlarning siqish (cho'zish) deformastiyasiga qarshiligi kuchsiz bo'ladi va gazning bosimi va harorati o'zgarishi bilan uning zichligi ham tez o'zgarishi ko'rib chiqilgan.

-suyuqlikning harakati-massaviy kuch, bosim, qo'shimcha energiya, issiqlik oqimi, kimyoviy reakstiya va boshqa suyuqlik yoki qattiq zarrachalarni suyuqlikdagi harakati mavjud bo'lgan ta'sirlar natijasida sodir bo'ladi, suyuqlik zarrachalari bu ta'sir natijasida tezlanish oladi, hamda parametrlari suyuqlik egalab turgan sohada o'zgaruvchan bo'lishi o'rganilgan. Yopishqoq-plastik suyuqlik, yopishqoq bo'lmagan (ideal) suyuqlikning dinamikasi va uning xossalari o'rganish, bosimni markaziy yo'nalish bosimi va ko'ndalang qo'shimcha bosimga ajratish maqsadga muvofiq ekanligi ko'rsatilgan.

- FEMLAB(COMSOL Multiphysics) – xususiy hosilali differensial tenglamalarini chekli elementlar metodiga asoslangan dasturiy paketda suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha sonli hisoblangan. Bunda suyuqliklarning oqimlari Eyler, Nave-Stoks harakat qonunlariga mos, hamda harorat o'zgarishlarini inobatga oluvchi chekli elementlar metodiga asoslangan FEMLAB dasturiy muhitida suyuqlikning haroratini tezliklar maydoni bo'yicha o'zgarishlari aniqlangan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi "Kadrlartayyorlashmilliydasturi" // Barkamol avlod – O'zbekistontaraqqiyotiningpoydevori.- T: "Sharq" nashryoti, 1997 y.
2. Karimov I. A. "Yuksakma'naviyat – yengilmas kuch". –T: Ma'naviyat, 2008 y.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц В.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1988. 733 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.– М.: Дрофа, 2003. –840с.
5. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. В 2-х т. – М.: Наука, 1987 –464 с., –360 с.
6. Стасенко А.Л. Физическая механика многофазных потоков. – М.: Изд-во МФТИ. – 2004. –348 с.
7. Турбулентность: принципы и применения. // Под ред. У. Фроста, Т. Моулдена. – М.: Мир. 1980. –535 с.
8. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементом пакете COMSOL / FEMLAB Методическое пособие – СПбГУИТМО. 2006 г.