

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

Qo'lyozma huquqida
UDK 532.539

Nuznazarova Nargiza Rashidovnaning

**Ikki fazali muhitlarning kuchlanma deformatsion modelini
ishlab chiqarish.**

Mutaxassislik: 5A130202 - “Amaliy matematika va axborot texnologiyalari”

Magistrakademikdarajasiniolishuchun yozilgan

DISSERTATSIYA

Ilmiy rahbar:
f. –m.f.n., dots. Mirzayev A.A.

Buxoro-2014y.

MUNDARIJA

Kirish.....

I BOB. FENOMENOLOGIK REOLOGIYA NAZARIYASINING UMUMIY TUSHUNCHALARI.

1.1. Muammoning holati, dispers fazali zarrachalarning oqimdagi migratsiyasi

1.2. Nonyuton muhitlarining oqimi va reologik modellari.....

1.3. I bobga xulosa.....

II BOB. FAZALARNING HAJMIY TARKIBIGA KO`RA REOLOGIK MODELLARI.

2.1. Ikki fazali muhitlarda molyar ko`chish

2.2. Inertsia bo'yicha deformatsiyalanuvchi muhitlar

2.3. II bobga xulosa.....

III BOB. RELAKSATSION VA RETARDATSION YOPISHQOQ-INERT MODELLAR.

3.1 Deformatsiyalanish jarayonlariga inert qarshilik ko'rsatadigan muhitlarning umumlashgan bog'lanishlari.....

3.2 Yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlarning relaksatsion va retardatsion modellari tadqiqi

3.3 Oquvchan muhitlarning umumlashgan modellarini va superpozitsiya prinsipini ishlab chiqish.....

3.4 III bobga xulosa.....

XOTIMA.....

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO`YXATI.....

KIRISH

O'zbekiston Respublikasi mustaqillikka erishgandan so'ng, asta-sekin bozor munosabatlariga o'tish va jahon hamjamiyatiga qo'shilish davrida ta'lim tizimida ham boshqa sohalardagi kabi boshqarishni tubdan o'zgartirish, demokratlashtirish, uning yangi ilmiy – uslubiy asoslarini yaratish zaruriyati paydo bo'ldi. Bu dolzarb va murakkab muammoning echimini topish maqsadida qabul qilingan O'zbekiston Respublikasining “Ta'lim to'g'risida”gi qonun va “Kadrlar tayyorlash milliy dasturi”da uzluksiz ta'lim tizimini takomillashtirish, yuksak kasbiy, ma'naviy va axloqiy talablarga javob beruvchi yuqori malakali pedagogik kadrlar tayyorlash tizimini yaratish ko'zda tutilgan [1].

2012 yil 21 mart kuni O'zbekiston Respublikasi Prezidenti tomonidan “Zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini yanada kengroq joriy qilish va rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi qaror qabul qilindi. Bu qaror asosida Vazirlar Mahkamasida bo'lib o'tgan Kompyuterlashtirish va axborotkommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish bo'yicha muvofiqlashtiruvchi kengash yig'ilishida 2012-2014 yillarda O'zbekistonda zamonaviy axborotkommunikatsiya texnologiyalarini yanada keng joriy etish va rivojlantirish bo'yicha dasturning ijrosini ta'minlash yuzasidan reja-jadval tasdiqlandi

I.A. Karimov ta'kidlaganidek, oldimizda turgan eng ezgu maqsadlarimiz – mamlakatimizning buyuk kelajagi ham, ertangi kunimiz, erkin va farovon hayotimiz ham, O'zbekistonning XXI asrda jahon hamjamiyatidan qanday o'rin egallashi ham – bulaming barcha-barchasi, avvalambor, yangi avlod, unib o'sib kelayotgan farzandlarimiz qanday insonlar bo'lib voyaga yetishiga bog'liqdir [2].

Prezident I.A.Karimovning “O'zbekiston mustaqillikkka erishish ostonasida” asarida keltirilganidek: Asosiy vazifa – ishlab chiqarilayotgan va qazib olinayotgan xom-ashyoni kompleks qayta ishlashda, aytish mumkinki, chiqindisiz qayta ishlashda, respublikaning o'zida uni tayyor mahsulotga aylantirishdadir. Boshqacha aytganda, respublikada zamonaviy texnika va texnologiya bilan jihozlangan qudratli qayta ishlash

sanoatini bunyod etish va shunday qilib, uzluksiz o`sb borayotgan mehnat resurslarini ish bilan ta`minlash, respublika milliy daromadining yuqori sur`atlarda o`shiga erishish hamda mamlakatimizdagi har jihatdan uyg`un rivojlangan respublikalar darajasiga yetib olishdir.

Hozir respublika har qachongidan ham ilgarilab ketishi, o`shishi, yangi sifat bosqichiga ko`tarilishi juda zarur. Buning uchun avvalo ilm fanda ham, texnikada ham, texnologiyada ham, ishlab chiqarishni tashkil etishda ham, shitob bilan ishlash, shunga yarasha odamlar ongida, dunyoqarashida ham o`zgarishlar bo`lishi kerak.

Qurilish, oziq-ovqat, kimyo, neft va gaz hamda boshqa ishlab chiqarish tarmoqlarida materiallarni qayta ishlash, murakkab reologiyaga ega bo`lgan muhitlardan mahsulotlarni shakllantirish, neft va gaz quvurlarini burg`ulash va boshqa jarayonlarni intensivlashtirish, texnik taraqqiyotning bosh yo`nalishlaridan biridir.

Magistrlik dissertasiya mavzusining dolzarbligi.

Qurilish, oziq-ovqat, kimyo, neft va gaz hamda boshqa ishlab chiqarish tarmoqlarini doimiy tarzda rivojlantirib borish, foydalanilayotgan mashina va apparatlarda kechayotgan jarayonlarni mukammallashtirish zaruriyatini vujudga keltiradi. Ushbu jarayonlarga matematik modellashtirish metodlarini qo`llash, ilmiy ishlanmalarni ishlab chiqishning dastlabki bosqichlarining o`zidayoq, nazorat qilish, bashorat qilish va korrektirovka qilish 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.

Ko`plab amaliy masalalarni, masalan, neft va gaz quduqlarini burg`ulashda murakkab muammolarni yechishda, burg`ulash jarayonlarini gidrodinamik nazorat qilishning samarali metodlarini to`g`ri tanlash lozim. Quduqdagi gidrodinamik bosimni, quvurlar orasida va quvurlar halqalarida oqib o`tish jarayonlarini gidravlik xarakteristikalarini o`zgarishini o`z vaqtida tahlil

qilib borish, gidravlik zarba, plastlarning uzilishi va yuvuvchi suyuqliklarni shimilishi kabi turli nosozliklarni sezilarli tarzda oldini olish imkonini beradi. Odatda bunday oquvchan muhitlar murakkab “reologiya”ga ega bo`lib, u sodda elementar oquvchan muhitlardan tashkil topgan bo`ladi.

Quvurlar va kanallarda murakkab reologiyaga ega bo`lgan nonyuton suyuqliklarning, ya`ni Nyuton qonunlariga bo`ysunmaydigan oqimlar va issiqlik-massa almashinuvi masalalarining zamonaviy muammolari holatining tahlili mazkur muhitlarda ro`y beradigan harakat miqdori almashinuvini yetarli aniqlikda izohlaydigan matematik modellarni qurish masalalari nisbatan juda kam o`rganilganini ko`rsatadi. Ko`pgina ilmiy tadqiqotlarda murakkab reologiyaga ega ikki fazalali muhitlarni yopishqoq-elastik deb qaraladi. So`nggi yillarda harakat miqdorini nafaqat molekulyar va makromolekulyar suyuqlik zarrachalarida, balki (bir jinsli va bir jinsli bo`lmagan muhitlarda) yirik zarrachalar fizik-mexanik nuqtai nazaridan yaxlit molyar zarrachalardan tashkil topganligini hisobga oluvchi yangi ikki fazali yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlarni reologik modellari ishlab chiqildi. Bu modellarda hozirgi vaqtgacha inobatga olinmagan, ammo real tabiatda mavjud bo`lgan suyuqliklarda kechadigan inertsiyal deformatsiya relaksatsiyasi va yopishqoqlikni kechikishi jarayonlari xossalarini hisobga oladi. Bu xossalar deformatsiyalanuvchi oquvchan muhitlarning fundamental xossalaridan biridir. Hozirgi davrda materiallarni qayta ishlash: murakkab reologiyaga ega bo`lgan oquvchan muhitlardan shakllantiriladigan mahsulotlar hamda neft va gazni chuqur burg`ulash jarayonlarini intensivlashtirish kabi muayyan texnologik masalalarni yechish va yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar nazariyasini rivojlantirish zaruriyati vujudga kelmoqda.

Shunday qilib, mahsulotlar shakllanadigan ko`pgina harakat miqdori va issiqlik-massa almashinuvida, masalan, neft va gaz quduqlarini burg`ulashda ishlatiladigan quvurlardagi aralashmalar oqimida, shuningdek yuqori yopishqoqli nonyuton xususiyatiga ega bo`lgan neft konlarini ishlab chiqishda

oqimlarni yetarlicha aniqlikda izohlaydigan matematik modellarini yaratish bilan bog`liqmasalalar juda ham dolzarb hisoblanadi.

Mavzuning respublikada olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlarningustivor yo`nalishlariga mosligi.

Tadqiqot muammosi O`zbekiston Respublikasida 2012-2016 yillarga mo`ljallangan fundamental tadqiqotlar “F4. Matematika mexanika va informatika” mavzusidagi Davlat ilmiy texnika dasturiga hamda deformatsiyalanuvchi qattiq jism, suyuqliklar, gazlar va ko`p fazali muhitlar mexanikasining mummolarini nazariy tadqiq etish vazifalari yo`nalishida olib borilayotgan ilmiy tadqiqot yo`nalishiga mos keladi.

Ishning davlat dasturlari yoki ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog`liqligi.

Tadqiqot ishi YoF4-FQ-0-36071/ YoF4-012 “Dispers zarrachalarni eltuvchi suyuqlikka aralashganda anomal xossalarning reologik holatiga ta`siri” yosh olimlar fundamental Davlat ilmiy-texnika dasturlarida ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog`liqlikda amalga oshiriladi.

Muammoning o`rganilganlik darajasi.

XIX asrdayoq materiallar haqidagi fan mustaqil fan sifatida, uning reologik asoslari vujudga kelgan. Maksvell va Puasson ilmiy ishlarida relaksatsiya, sudralib oqish (ползучесть) va qattiq jismlar “yopishqoqligi” konsepsiyasimuhokama etilgan, Veber esa tolalarning kengayishi va relaksatsiyasi nochiziqli hodisalarni kuzatgan. XIXasrning birinchi yarmida M.P.Volorovich va A.P.Aleksandrovning ishlarida polimerlar reologiyasiga bog`liq: yuqori elastiklik va yuqori plastiklik, shuningdek, rezinani katta plastic deformatsiyalanishi (Leaderman H.),polimer aralashmalarining yuqori elastikligi (Ferry J.D.), oqim jarayonida nonyuton effektlari (Murnargen F.D., Hensky H.A.), yirik deformatsiyalar nazariyasi rivojlantirilib (Ostwald W., James I.M., Guth E.) asosiy holatlar bayon etilgan. Ikkinchi jahon urushi tugagandan so`ng,

polemer materiallar va reologik aralashmalarni ishlab chiqarish shiddat bilan rivojlanganda, reologiya ham nazariy, ham amaliy mazmunda mustaqil bir bilim sohasi sifatida ajralib chiqdi. XIX asrning ikkinchi yarmida aynan aralashmalar reologiyasi (Tanner F.M., Walters K.) boshqa materiallar reologiyasiga nisbatan ustunlik holatiga ega bo'ldi.

“Reologiya” termini keng ma'noda barcha muhitlarga taalluqli bo'lib, deformatsiya, deformatsiya jarayonida Gukning yoki Nyutonning chiziqli qonunlariga bo'ysunmaydi, balki reologik metodlardan turli-tuman muhitlar uchun qo'llaniladi. Oquvchan muhitlarning harakatini tavsiflash uchun Nave-Stoks tenglamalaridan, uzluksizlik tenglamalaridan va reologik tenglamalardan foydalaniladi, reologik tenglamalar kuchlanish bilan deformatsiya tezligi orasidagi o'ziga xos munosabatni o'rnatadi. Suyuqlikdagi kuchlanish tenzori bilan oqimning kinematik xarakteristikalarini bog'lovchi muhit holatining reologik tenglamasini tezliklar maydoni bilan bog'laydi.

Hozirgi davrda fenomenologik va mikroskopik (molekulyar-kinetik) nazariyalar bo'yicha ilmiy adabiyotlar yetarli darajada ko'p.

Murakkab reologiyali muhitlarning holat tenglamalarini qurishni umumiy usullari ko'pgina mualliflarning fundamental tadqiqotlarida (Green A.E., Rivlin R. S., Coleman B.D., Noll W., Oldroyd J.G., Treloar L. R.G., Truesdel C., Noll W., Седов Л.И. va boshqalar) ko'rsatilgan, ya'ni materiallarning qaytarilmas deformatsiya jarayonida oqim va yirik plastic deformatsiyaga olib keladigan holatlarni vujudga keltirilishi. Bu ishlarda va keyingi qator tadqiqotlarda holat reologik tenglamalarini qurishning umumiy prinsplari o'rnatilgan va ularni formulirovka qilishdagi inobatgaolinadigan cheklanishlar aniqlangan.

Z.I. Shulman va V.G. Litvinovning umumlashgan Nyuton suyuqliklarini modeli juda keng tarqalgan bo'lib hisoblanadi.

Har xil suyuq oquvchan muhitlar orasidan shunday materiallar sinfini ajratish mumkinki, masalan, deformatsiyalanish xotirasini yodda tutuvchi va

elastik xossalarni namoyon etuvchipolimer aralashma va oquvchan qotishmalar bo`lib, bu maateriallar Kuett oqimida normal kuchlanishlarning katta farqi bilan xarakterlanadi. Bu muhitlarning maxsus tomonlari shundan iboratki, oqimlarning relaksatsiya vaqtiga bog`liq effektlar juda muhim rol o`ynamaydigan oqimlarni tavsiflash uchun qo`llaniladigan Reyner-Rivlin suyuqliklari nazariyasi doirasida qarash to`g`ri kelmaydi, chunki bunda yopishqoqlikning anomaliyali effektlari yetakchi o`ringa ega.

Reologik holat tenglamalarini qurishda boshqa konseptual yondashuvlar orasida ko`pgina izlanuvchilar termodinamikaning muvozanatda bo`lmagan jarayonlarining umumiy prinsplariga asoslangan Leonov modelidan foydalanishmoqda. Bu modelda elastik deformatsiyalar yopishqoq-elastik suyuqliklarni ichki termodinamik holatiga bog`liq deb qabul qilingan. Barcha nonyuton, ya`ni Nyuton qonuniga bo`ysunmaydigan reologik xarakterdagi fenomenologik modellar oquvchan muhitning relaksatsion spektri va elastik potensial kabi fundamental xususiyatlarga asoslangan. Bunga turg`un oqim rejimida o`lchangan effektiv yopishqoqlikning ko`chish tezligiga bog`liqligini hisobga olish lozim.

Murakkab muhitlardagi ilmiy va amaliy izlanishlar natijalari tahlili shuni ko`rsatadiki, hozirgi davrda tutash muhitlar mexanikasining prinsplari asosida ko`riladigan reologik tenglamalar holatlarining mumkin bo`lgan sinflarini tanlashni nazariy asoslari bor, lekin ularning hammasi yopishqoq-elastik muhitlar holatining reologik tenglamalariga tegishli. Bunda asosiy muammo yopishqoq-elastik muhitning qaytmas jarayon oqimida, katta deformatsiyani korrekt tavsiflash bo`lib hisoblangan.

Bu sohada hozirgi vaqtgacha taklif etilgan modellar va yechilgan masalalar materiallarning xususiyatlari yopishqoq-plastik xususiyatlarga ega deb qaralgan.

Monodispers yopishqoq-elastik materiallarni o`ziga xos maxsusliklarini ma`lum modellar to`g`ri namoyon qiladi.

I.N. Husanov oquvchan muhitlar harakatida ichki ko`chish jarayonlarida nafaqat molekulyar va makromolekulyar balki zarrachalar yig`indisi ya`ni katta zarrachalar orqali – molyar qismlar bilan harakat miqdori va massa ko`chishi eksperimental natijalar orqali taqazo etib muhitlarning deformatsion inertsia qonunini o`rnatgan. Bu qonun asosida hozirgi paytda yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlarning reologik va matematik modellari yaratilgan. Bu modellar bir vaqtning o`zida bir necha xil (hajm, massa va deformatsiya xususiyatlari bilan farqli bo`lgan) zarrachalar orqali fizik substansiyalarni ko`chirilishi va shu bilan birga tezlik va tezlanma deformatsiyalanishni hisobga olishi bilan boshqa deformatsiyalanuvchi qattiq jism, suyuqlik va yopishqoq-elastik modellardan farqlanadi. Bir vaqtning o`zida yopishqoqlik va deformatsion inertlik xususiyatlarini muhitlarda namoyon bo`lishi bu muhitlarda oldin kechirgan holatlarini eslab qolish qosiliyati-relaksatsion, retardatsion va boshqa o`ziga xos jarayonlar bo`lishini taqazo etadi.

Bu esa o`z navbatida ikki fazali muhitlarni mexanik reologik xususiyatlarini o`rganish uchun umumiyroq tushunchalar kiritish va ulardan foydalanishni taqazo etib, bunday muhitlarni oqish va deformatsiyalanishini o`rganishga esa shunday o`ziga xos xususiyat kasb etadiki, uni alohida yangi “Yopishqoq-inert deformatsiyalanib oquvchi muhitlar mexanikasi”deb nomlanadigan sohaga ajratish kerakligini taqazo etadi. Shuning uchun yopishqoq-inert deformatsiyalanib oquvchi muhitlarda harakat miqdorini molyar ko`chish jarayonlarini tadqiq etish, ularni nazariy tadqiqot etish usullarini ishlab chiqish, amaliy masalalarni yechish hozirgi paytda dolzarb fundamental muammolardan biri deb hisoblanadi. Bu o`z navbatida mazkur magistrlik disertatsiyasining tadqiqot ob`yekti va predmeti hamda ilmiy ishning maqsadini yuzaga chiqaradi.

**Tadqiqot ob`yekti:** ikki fazali oquvchan muhitlarning reologik modellari, ya`ni muhitning deformatsiyasi bilan unga ta`sir etuvchi kuchlanish orasidagi munosabat.

Tadqiqot predmeti: oquvchan ikki fazali muhitlar harakati jarayonlarida yopishqoqlik (Nyuton qonuni) va yangi inertsiya deformatsiya (Husanov I.N. qonuni) fundamental xususiyatlari.

Ishning maqsadi: murakkab reologiyaga ega bo`lgan ikki fazali oquvchan muhitlarning kuchlanma deformatsion holati (HDC) tenglamasi-reologik yangi modellarini nazariy ishlab chiqish.

Bu maqsadga erishish quyidagi vazifa va masalalarni o`z ichiga oladi:

- fundamental muammoning holati, dispers fazali zarrachalarning oqimdagi migratsiyasi masalalarini yoritish;

- nonyuton muhitlarining oqimi va reologik modellari, hamda bu muhitlarning reologik xossalarini tahlil etish;

- ikki fazali muhitlarda molyar ko`chish tabiatdagi eng asosiy xossalarini o`rganish;

- inertsiya bo`yicha deformatsiyalanuvchi muhitlarda kechadigan ba`zi murakkab jarayonlarning tahlili;

- deformasiyalanish jarayonlariga inert qarshilik ko`rsatadigan muhitlarning umumlashgan bog`lanishlarini nazariy, yani formula va tenglamalar orqali keltirib chqarish;

- yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlarning relaksatsion va retardatsion modellari tadqiqi;

- oquvchan muhitlarning umumlashgan modellarini va superpozitsiya prinsipini ishlab chiqish.

Tadqiqot usuli va uslubiyoti: Tutash muhitlar mexanikasi va reologiya nazariyasi, matematik modellashtirish, differensial tenglamalar nazariyalaridan foydalaniladi.

Tadqiqot farazi: mazkur disertatsiya ishida muhitlarning asosiy alomati oqish imkoniyatining mavjudligi hisoblanib, oquvchan reologik murakkab muhitlarni xususiyatlarini modellarini tuzishda, markaziy masalalardan biri qilib aralashma tarkibi bilan molyar zarrachalar orasidagi bog`lanishni hamda muhitning reologok parametrlarini o`zaro moslik qonuniyatlarini o`rnatish hisoblanadi.

Masalan, neft va gaz quvurlarini burg`ulashning texnologik jarayonlarida ko`pgina muammolarni yechishda, eng avvalo quduq qazish ustida gidrodinamik nazoratni to`g`ri, samarali metodlarini tanlash muhim. Quduqlardagi gidrodinamik oqimlarni o`zgarishini o`z vaqtida tahlili, quvurdagi oqimning gidravlik xarakteristikalarini o`rganish ko`plab noxushliklarni, gidravlik zarba, plastlarni uzilishi va yuvuvchi suyuqlikni so`rilishlarini oldini olishi mumkin.

Shuni ta`kidlash kerakki, hozirgi paytda neft quduqlarini qazishda ishlatiladigan gidrodinamik nazariyalar suyuqliklarning muvozanat reologik modellarini qo`llashga asoslangan. Jumladan, Shvedov-Bengam yopishqoq-plastik-modeli, X.A. Raxmatulin, D.F. Fayzullayev, R.I. Nigmatulinlarning o`zaro kirishuvchi aralashmalar modeli va yaqinda shakllangan Z.P. Shulmanning yopishqoq-plastik modellari kiradi. Bunga asoslanib qator nazariy va amaliy masalalar yechilgan, bu esa neft va gaz quduqlarini qazishda gidrodinamik tahlil qilishda muhim rol o`ynaydi.

Biroq, ma`lumki quduqlarni qazishda ishlatiladigan burg`ulash aralashmalarini statsionar oqimini yopishqoq-plastik modellar yaxshi tavsiflamaydi, nostatsionar oqim uchun esa bu modelni qo`llash ko`p bahslarga sabab bo`lmoqda. Eksperiment natijalari esa burg`ulash aralashmalari oqimi muvozanatda bo`lmasligini taqazo etib, uning gidrodinamik xarakteristikalarini o`zgarishi aynan relaksatsion xossalarga bog`liqligi aniqlangan (Chkuaseli I.A., Chitashvili T.G., Sattorov R.M., Xo`jayorov B., Mamatqulov M. Va boshqalar).

Bu mualliflarni ilmiy ishlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, bir va ko'p fazali muhitlar harakati jarayonlarida molyar ko'chish masalalari yetarlicha o'rganilmagan va molyar ko'chish mexanizmi haqida fikrlar bildirilmagan. Inert deformatsion model va relaksatsion parametrlar relaksatsiya va retardatsiya vaqtining ta'siri, oqimni tezlanma harakati va to'xtash jarayoni, murakkab reologiyaga ega oquvchan muhitlardan tashkil topgan ishchi muhitni, tenologik jarayonning davomiyligini o'zaro bog'lovchi holatlar o'rganilmagan.

Yopishqoq-inert deformatsion muhitlarning quvurlarda, kanallarda va halqasimon fazodagi harakati masalalarini I.N. Husanov yechib, yopishqoq-inert deformatsion muhit oqimida relaksatsion va retardatsion xossalar gidrodinamik parametrlarni o'zgarishiga katta ta'sir ko'rsatishini aniqlagan. Natijada, burg'ulash aralashmalari muvozanatda bo'lmagan holatlarini hisobga olmagan gidrodinamik tadqiqotlarni yechimlari tajriba ko'rsatkichlaridan ancha farqlanishi kabi muhim faktorlar isbotlangan.

Yuqorida bayon etilganlardan disertatsiya ishining mavzusi dolzarbligi kelib chiqadi, chunki mavzu murakkab reologiyaga ega bo'lgan oquvchan ikki fazali muhitlarning gidrodinamik muammolarini tadqiqotiga tegishli.

Ishning kutilayotgan yangiligi.

Murakkab reologiyaga ega bo'lgan ikki fazali oquvchan muhitlatlarning kuchlanma-deformatsion holati (HDC) tenglamasi reologik modellarini nazariy ishlab chiqishda, ikki fazali muhitlar harakatini matematik modellashtirishda yopishqoq-elastik va yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar modelini qo'llash.

Olingan asosiy natijalar:

-fundamental muammoning holati, dispers fazali zarrachalarning oqimdagi migratsiyasi masalalarini yoritish Nonyuton muhitlarining oqimi va reologik modellari, hamda bu muhitlarning reologik xossalarini o'rganilgan;

-suyuqlik aralashmalarda struktura shakllanish ikki fazali muhitlarda molyar ko'chish tabiatdagi eng asosiy xossalarini inertsia bo'yicha deformatsiyalanuvchi muhitlarda kechadigan ba'zi murakkab jarayonlarning tahlil qilingan;

-deformatsiyalanish jarayonlariga inert qarshilik ko'rsatadigan muhitlarning umumlashgan bog'lanishlarini nazariy, ya'ni formula va tenglamalar orqali keltirib chqarish va yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlarning relaksatsion va retardatsion modellari tadqiq qilingan;

-oquvchan muhitlarning umumlashgan modellari va superpozitsiya prinsipi ishlab chiqilgan.

Natijalarning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati.

Ushbu ishda mexanik modellarning umumlashtirish va yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhit oqimlari tadqiqotining nazariy metodlari muammolari ko'rilgan.

Yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar deb, shunday yopishqoq-inert materiallarga aytiladiki, ular bir vaqtda ham yopishqoqlik ham deformatsion inertlik xossalariga ega.

Ko'pgina real(haqiqiy) muhitlar turli-tuman fizik va gidrodinamik xossalari,ularga turli yondashuv hamda tadqiqot metodlarini qo'llashni taqozo etadi.

Suyuqliklar oqimida vujudga keladigan deformatsion inertlik qonuniyati ilgari o'rnatilgan bo'lib:turbulent oqim jarayonida oqim yadrosini shakllanishi,ya'ni harakat miqdori va massasini molyar ko'chish orqali amalga oshiriladi;laminar oqimda esa aralashma harakati-dispers fazoning suyuqlik bilan oqimi,oqim yadrosida va aralashmaning dispers zarrachadan iborat yig'ilgan konsentratsiyalangan devoriy qatlamning shakllanishi,ichki ko'chishlarda substansiyalarning molyar portsiyalarda kechishiga ya'ni yirik(eltuvchi fazoning zarrachalariga nisbatan) zarrachalar,shu bilan birga yopishqoq-plastik muhitlar(suspenziyalar,turli eritmalar parafinli buyumlar va boshqalar)harakati jarayonlarida oqim yadrosining vujudga kelishi yoki

yemirilishi(buzilishi) yopishqoq inertlik deformatsiyalanuvchi muhitlar oqimi modelini yaratishga sabab(asos) bo'ldi.Bu model shunisi bilan xarakterlanadiki,unda bir vaqtning o'zida ikki turdagi struktura birliklari orqali fizik substansiyalarni ko'chishi inobatga olinadi.Bir vaqtning o'zida yopishqoq hamda deformatsion inertlik xossalarning muhitlarda kuzatilishi,shu turkumdagi muhitlar oldingi holatidan darak beruvchi xotiraga, ya'ni retartsatsion,relaksatsion va boshqa turli spetsifik xossalarga ega.Bundan yanada umumiyroq termin va oquvchan muhitlarning mexanik xossalari tushunchalar,masalan,yopishqoqlik,elastiklik,plastiklik kabi oddiy(qattiq va suyuq) muhitlarning klassik xarakteristikalariga yetarli bo'lgan bunday muhitlar oqim va deformatsiya nazariyasining o'ziga xosligi,qaysikim ikki yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar ajratishni taqozo etadi.

Shuning uchun yopishqoq–inert deformatsiyalanuvchi muhitlar oqimini tasdiqlaydigan umumlashgan mexanik modellar va nazariy metodlarni ishlab chiqish zamonaviy dolzarb fundamental muammo hisoblanadi.Yuqorida keltirilgan ushbu sohaning dolzarbligini asoslanganligi va bu soha bo'yicha bilimlarni kengaytirish zaruriyati mazkur ishda o'z yechimini topgan.

I.N.Husanov tomonidan kuchlanish tenzorining deformatsiya tezlanishiga proporsionalligini ifodalovchi qonuniyat muhitlarning yangi xossasini aniqlashni taqozo etdi. Mazkur sodda mexanik model boshqa sodda modellar bilan ketma-ket yoki parallel ulashdan, ya'ni Guk, Nyuton va Sen-Venan mexanik modellaridan turli relaksatsion va retardatsion modellar olindiki, ular murakkab muhitlarni reologik bayon etdiki: bular elastik, yopishqoq, plastik va deformatsion inertlik (I.N.Husanov kiritgan) xossalariidir.Relaksatsiya(retardatsiya)ning ikkita davri tushunchasi kiritilgan bo'lib,ular chiziqli zichlik koeffitsiyentining dinamik yopishqoqlik koeffitsiyentiga nisbati va m_l chiziqli zichlik koeffitsiyentiga nisbatidan olingan kvadrat ildiz.

Ko'pgina moddalarni, asosan ikki va ko'p fazali moddalarni oddiy reologik model orqali xarakterlab bo'lmaydi. Murakkab materiallar reologik

nuqtai nazardan birtadan ortiq relaksatsiya yoki retardatsiya davriga va juda ko'p hollarda relaksatsiya yoki retardatsiya davrlarning to'la bir spektrlarga ega bo'ladi. Masalan, deformatsiyalanuvchi strukturaviy elementlar, qaysikim oquvchan muhitlar ulardan tashkil topgan, xususan bir va ikki fazali aralashmalar(molekulalar,makromolekulalar,qattiq faza,zarracha segmentlari va ularning struktura hosil qilgan qismlari hamda hokazolar) relaksatsion yoki retardatsion jarayonlarda turli o'lcham va turli harakat qobiliyatlariga ega kinetik birliklar rolini o'ynaydi.Har qanday kinetik birlik tipi o'zini xarakterli eng katta ehtimol t_{relj} va t_{retj} retardatsiya vaqtiga ($i,j=1,2,\dots,n$ bunda n -kinetik birliklar soni) hamda turli relaksatsion va retardatsion o'tishlar soni bo'lib relaksatsiya vaqti spektrida yo u yoki boshqa maksimumlar tarzida namoyon bo'ladi.Ushbu ishda biz yopishqoq–inert materiallar xususiyatini ochib beradigan, relaksatsion va retardatsion vaqt spektri mavjud bo'lgan metodlarni ishlab chiqamiz. Deformatsiya tezligi muayyan xossalarga ega materialning kuchlanishga (u ham vaqtga bog'liq) analitik bog'lanishni o'rnatamiz.Yopishqoq inert muhitlarning kuchlanish va deformatsiya tezlanishi vaqtga bog'liq bo'lgan holni qisqacha reodinamikasini ko'ramiz.

Bunda ishlab chiqiladigan metodlar yopishqoq-inert holatning chiziqlisi bilan, ya'ni yopishqoq oqim Nyuton qonuniga, deformatsion inertlik esa I.N.Husanov o'rnatgan qonuniyatga bo'ysunadiganlari bilan chegaralanamiz.

Tadbiq etish darajasi va iqtisodiy samaradorligi qo'llanish sohasi.

Xulosa va takliflar: Odatda bu fazalarning biri sifatida havo, gaz yoki suyuqlikdan tuzilgan, zarrachalar dispers fazaning butun fazasini qamrab olgan bo'lib, harakat davomida eltuvchi faza sifatida namoyon bo'ladi. Dispers fazaning konsentratsiyasi aralashmaning birlik hajmida oshishi, dispers fazani dispersion fazaga, dispersion fazani esa dispers fazaga o'tishiga olib keladi.

Tadqiqotlar yopishqoq-inert materiallarning umumiy metodlarini ishlab chiqishda, ularni siljib oqish vaqtiga bog'liqligini inobatga olish zarurligini ko'rsatdi.

Shuning uchun yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlarning, relaksatsion va retardatsion modellari tadqiqotini olib boramiz.

Oquvchan ikki fazali muhitlar uchun Boltsmanning superpozitsiya prinsipini eksperiment natijalariga asoslanib ishlab chiqilgan va bu prinsip retardatsion modelni umumlashtirish uchun foydalanilgan. Yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar oqimining umumlashgan mexanik modeli qurilgan.

Yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar oqimi kuchlanma deformatsion holati uchun umumlashgan retardatsion mexanik modelining analitik formulalari o'rnatilgan. Umumlashgan retardatsion model uchun oquvchanlik funksiyasi olingan va bu modelning retardatsiya bog'liqligining tahlili o'tkazilgan.

Mazkur magistrlik dissertasiyasidan foydalanib, shunga o'xshash amaliy muammolarni hamda turdosh oliy va o'rta maxsus o'quv yurtlarining mos mutaxassislar tayyorlashda foydalanish mumkin.

Magistrlik dissertasiyaishining hajmi va tuzilishi.

Ushbu magistrlik dissertasiyasi kirish, uch bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar hamda ilovadan iborat, u—74 betga (ilova bilan birga hisoblaganda) bayon qilingan. Dissertatsiyaning kirish qismida fenomenologik (nazariy) reologiyaning asosiy tushunchalari, fanning asoschilari, hozirgi kunda shug'ullanib kelayotgan respublikamiz ilmiy tadqiqotchi olimlari haqida hamda hozirga qadar yaratilgan olimlar tomonidan yaratilgan bir nechta reologik modellar keltirilgan. Birinchi bob fenomenologik reologiya nazariyasining umumiy tushunchalariga bag'ishlangan. Ikkinchi bobda esa fazalarning hajmiy tarkibiga ko'ra reologik modellari bayon etilgan. Oxirgi uchinchi bob relaksatsion va retardatsion yopishqoq-inert modellar keltirilgan. Dissertasiyaning xulosasida reologiyaning asosiy tushunchalari, muammolari holati, oqim jarayonida dispers fazali zarrachalarning oqimdagi ko'chishi (migratsiyasi) borasidagi qaralgan masalalari va bajarilgan ishlar haqida umumiy, xulosaviy fikrlar bayon qilingan.

I BOB. FENOMENOLOGIK REOLOGIYA NAZARIYASINING UMUMIY TUSHUNCHALARI.

1.1. Muammoning holati, dispers fazali zarrachalarning oqimdagi migratsiyasi

Ko'pgina yuqorida bayon etilgan ishlarda katta tezliklarda harakatlanayotgan (masalan turbulent rejimdagi oqim sohasida) suyuqlik va gazlarda kechadigan ichki molyar almashinuv muammolarga e'tibor qaratilgan.

Qattiq zarrachalar bilan tekis taqsimlangan suyuqliklarning laminar oqimida [11] Serte-Zilberbergning eksperimental tadqiqotlarida shunga o'xshash muammo yuzaga keldi. Bu effektning ma'nosi shundaki, aniq bir gidrodinamik parametrlarga ega dispers muhitlarning yuqori laminar oqimida, dispers fazaning zarrachalari (molekuladan zarrachalar 10 va undan ortiq tartibda yirik) ko'ndalang oqim bo'ylab va oqimning yadrosida to'planish tendensiyasiga ega. Pastki laminar oqimida esa zarrachalar to'plami markaz o'qidan truba devoriga tomon migratsiyaga uchraydi. Serge-Zilberbergning bu eksperimental tadqiqotlari, bu effektning sabab-oqibatlarini munosabatlarini o'rnatish va zarrachalarga ko'rsatilayotgan suyuqlik kuchini aniqlash bilan bog'liq ko'plab sonidagi ilmiy izlanishlarni vujudga kelishiga sabab bo'ldi.

Djefrey va Pirson [34]lar bu effektda asosiy rolni zarrachalarning aylanma harakatlari yuzaga keltiradideb hisoblashgan va zarrachalarning bir bo'lagini oqim o'qi bo'yicha radial hamda aylanma tezliklarini tadqiq etib, laminar rejimdagi oqimning vertikal harakatida zarrachalar guruhi kolonna shakliga kelishi mumkinligini aniqladilar.

Mendi va Jern [35] hamda Oliver [36]lar eksperimental tarzda qattiq zarrachalar konsentratsiyasi va oqim tezligiga bog'liq holda devor oldi pik (yuqori) effektni aniqladilar. Glina (loy) vasementaralashmalarining trubalardagi oqimlarini E.P. Melnikov [17] va M.N.

Maxmudovlar [32]ning eksperimental tadqiqotlarida bu aralashma (qorishma)larda Serge-Zilberbergning effekti mavjudligini o`rnatdilar.

Zarrachalarning migratsiya jarayonida oqim yadrosida konsentratsiyalangan dispers faza hosil qilishidan tuba uchastkasini uzunligini aniqlash uchun D.F. Fayzullayev, A.I. Umarov va O. Rasulovlarning [8] eksperimental tadqiqotlar natijalari laminar oqimda suyuqlik tomonidan ta`sir etadigan kuchning molyar zarrachalar (diametri 0,72-1,25 sm) ning ko`ndalang harakatini vujudga keltiradigan kuchlar mavjudligini eksperimental aniqladilar. Hozirgi davrda yon tomondan asosiy oqim bo`ylab zarrachalar ko`chishini effektlarini yuzaga chiqaradigan gidrodinamik shartlarni aniqlash bo`yicha ko`plab eksperimental tadqiqotlar mavjud. Bu eksperimentlarning barchasi laminar va turbulent oqimlarda ichki molyar massa almashinuvi va harakat miqdorining harakatlanuvchi (oquvchi) dispers muhitlarda mavjudligidan dalolat bermoqda.

Koks va Neyson [18] tomonidan o`tkazilgan ko`plab eksperiment tadqiqotlari natijalari tahlil etilgan. Ular tomonidan vertical oqimda qattiq zarrachalar migratsiyasining asosiy o`ziga xosligi o`rnatilgan va zarrachalarning harakat mexanizmi formulirovka qilingan bo`lib, u quyidagicha hisoblanadi. Sferik zarracha suyuqlik(eltuvchi faza)ga nisbatan juda zich, chiquvchi oqimda (yoki tushuvchi oqimda sferalar-suyuqlikka nisbatan unchalik zichmas) tuba oqimi yo`nalishida ko`chadi (migratsiya sodir bo`ladi). U holda sfera zichligi suyuqlikdan kichik bo`lsa, chiquvchi oqimda (yoki tushuvchi oqimda sfera zichligi suyuqlikka nisbatan zichroq bo`lsa) tuba devorlari yo`nalishida migratsiya qiladi. Natijada shunday soha shakllanadiki, bu ham trubaprovod oqimi bo`ylab, ham periferiya (chetki qism) bo`ylab qattiq zarrachalardan xoli bo`ladi.

N.A. Slyozkin [29] yon kuchlarni inobatga olish zarurligini asoslab berdiki, u laminar oqimda zarrachaga ta`sir qiladi va u muallaq zarrachalarning turg`un harakati masalasini yechib berdi. Sirkulyatsion oqib o`tishda yon

kuchlarni inobatga olish zarur yoki jismlarning o'z aylanma harakatining mavjudligi, oqimda sirkulyatsiyaning vujudga kelishi suyuqlikning yopishqoqligi ta'siridan kelib chiqadi deb hisoblaydi muallif. Parabolik taqsimotga mos tezliklar bilan parallel devorlar orasidagi kesim bo'ylab A.M. Lyapunov metodiga ko'ra laminar oqimdagi muallaq zarrachalarning harakat tenglamalarini tuzib, Reynolds soni uchun tengsizlik olindiki, u zarrachalar harakati turg'unligini beradi. Olingan tengsizlik bo'yicha Reynolds soni uchun chetki qiymat quyidagi munosabatga bog'liq:

-yon kuch ko'effitsiyentiga o'zini namoyon qiladigan zarrachalarning tashqi shakli;

-zarrachalar xarakterli o'lchovining kvadratini laminar oqimning xarakterli o'lchamiga nisbatiga;

-oqim o'rta chizig'ining uning oqim xarakteri o'lchamiga nisbatining zarrachaning boshlang'ich masofaga;

Biroq ko'taruvchi kuch ko'effitsiyentining sonli qiymatining noaniqligi uchun bu natija Reynolds sonining aniq qiymatini topish imkonini bermaydiki, bu mezon zarrachalar harakatini turg'un emasligini aniqlaydi.

Zamashnikov va Popovlar [30] vertikal trubada Puazeyl oqimida zarrachalar harakatini tenglamalarini tuzdilar va bu zarrachalar harakat trayektoriyalarini aniqlash uchun sonly hisoblashlarni o'tkazdilar. Hisoblashlar ikki variant (hol) uchun o'tkazildi: birinchi variantda Jukovski ko'tarish (подъемная) kuchi, ikkinchi variantda esa Sefmanning ko'tarish kuchi va emperik berilganlar bilan aniqlangan kuch (bosim gradiyentiga proporsional). Bu bilan Djefrey va Pirson [31] eksperimental kuzatishlarini sonly hisoblashlar bilan sifatiy mosligi olindi.

Oxirgi ishda ko'rilgani kabi, xuddi shuningdek boshqa ko'plab hollardagi hisoblashlarda ham, ya'ni suyuqliklarda molyar zarrachalarning migratsiyasi effektlarini bayon qilishga eksperimentta'luqli bo'lsa, ko'tarish kuchlarini

nazariy o`rganish va ulardagi jarayonlarni sifatli qirralarini ochish, kuchning sonli qiymatlari bir necha tartibda kuzatish, ularda qo`shimcha gipotezalar va empirik berilganlardan foydalanishga olib keladi.

1.2. Nonyuton muhitlar oqimining reologik modellari

Aralashmalarda struktura shakllanish jarayonlari tadqiqi va struktura parametrlarini mexanik xarakteristikalar bog`lanishlarni o`rnatishga bag`ishlangan ba`zi masalalarni ko`rib chiqamiz.

Bizga ma`lumki, tutash muhitlar mexanikasining fizik asosi – Nyuton qonunlari va jismlarning kuchlanma-deformatsion holati (HDC)ning reologik modellari hisoblanadi.

Reologiya – deformatsiya va moddalarning oquvchanligi haqidagi fan bo`lib, u hozirgi davrda tutash muhitlar mexanikasining mustaqil bir sohasi hisoblanadi.

So`nggi vaqtlarda materillarni tadqiq qilishning reologik metodlari juda keng quloch yozmoqdaki, u turli tuman: metallurgiya, quduqlar burg`ulash, plastmassa va polimerlarlar ishlab chiqarish, shisha sanoatidagi texnologik masalalarda, ya`ni qurilish va ma`ishiy materiallar yaratishda, kon ishida, neftni qazish va qayta ishlashda, transport sanoatida va meditsinada qo`llanilmoqda.

Reologiya yordamida o`rganiladigan muhit, materiallarning katta qismi dispers sistemalardan tashkil topganki, ular ikki va undan ortiq fazalardan iborat. Reologiya nuqtai-nazaridan dispers sistemalarni zola(kul) (o`zini suyuqlik kabi tutadi) studni (ilviriq) (o`zida qattiq jism xususiyati ko`proq) va oraliq holatni o`zida mujassamlashtirgan gellarga ajratiladi. Kul(зола)larda tutash faza yoki dispersion faza suyuqlik hisoblanadi; dispers faza suyuq, emulsiya holida, ham qattiq, suspenziya holida bo`lishi mumkin. Gellarda qattiq faza ustunlik qiladi, biroq har doim ham butun jism chegarasida bir jinsli strukturani tashkil etmaydi.

Yuqoridagi barcha aralashmalar aniq oquvchanlikka ega. Kuchlanma-deformatsion holati (HDC) Nyutonning reologik tenglamasi, ya`ni kuchlanish deformatsiya tezligiga to`g`ri proporsional, proporsionallik koeffitsiyenti esa

Nyuton suyuqliklarida bo`ladigan dinamik yopishqoqlikdir, Nyutonning yopishqoq ishqalanish qonuniga bo`ysinmaydigan muhit oqimlari esa Nonyuton muhitlari oqimi deyiladi.

R. Koks, C. Meyson [19]da keltirilganidek, hozirgi vaqtda Nyuton suyuqliklari oqimni yagona bir universal bog`lanish bilan bayon etib bo`lmaydi. Turli tuman holat tenglamasi model deb ataluvchi ko`plab nazariyalar mavjud. Reologik muhitlarni yagona klassifikatsiya qilishga urinishlar ko`p bo`lgan. Bulardan tan olinganlari bu Dobj klassifikatsiyasi bo`lib, reologik egri chiziq xarakteridan kelib chiqqan holda suyuqliklar uchta yirik guruhga ajratishni taklif etgan:

-ko`chish (сдвиг)tezligi faqat unga qo`yilgan kuchlanishga bog`liq va quyidagi reologik tenglama

$$\dot{\gamma} = f(\tau), \quad (1.1)$$

bilanbayonetiladigan, reologikstatsionarsuyuqliklar; (1.1) funksiyaning ko`rinishiga qarab bu suyuqliklar yopishqoq-plastik (Bingam modeli) va anomal-yopishqoq suyuqliklarga bo`linadi.

-reologikxarakteristikalariniurinma kuchlanish ta`sir vaqtiga yoki uning kelib chiqishiga hamda nostatsionar ko`rinishdagi qonuniyatga bo`ysinadigan suyuqliklar;

$$\dot{\gamma} = f(\tau, t). \quad (1.2)$$

-yopishqoq-elastik suyuqlilar, ya`ni ham qattiq jism, shu bilan birga ham suyuqlik xossalariga ega va kuchlanish olingan (to`xtatilgan)dan so`ng shaklda qisman tiklanish vujudga keladigan suyuqliklar; bu suyuqlikka tipik misol bu smola hisoblanadi va u Maksvell modeli orqali ifodalanadi,

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau}{\mu} + \frac{\dot{\tau}}{G}, \quad (1.3)$$

bunda G – ko`chishmoduli; μ - dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti.

Birinchi guruh suyuqliklariga, xususan glinali va boshqa ko`pgina aralashmalar tegishli bo`lib, ular uchun zarrachalarni dispers fazalar bilan o`zaro

ta'siri hamda dispersion muhitning molekulalari sistemada tinch holatdagi strukturani tashkil etadiki, tashqi tomondan aralashmani qotishi hodisasi kuzatiladi. Buning natijasida glinali aralashmalar yopishqoq-plastik muhitlarga o'xshab ketadiki, ularda elastik deformatsiya mavjud bo'lib, qattiq va suyuq muhitlar oralig'idagi holatni egallaydi.

Bu guruhga sement qorishmalari, turli shlamlar, lak bo'yoqlar, tish pastasi, kremlar, ko'plab konlardagi neftlar va boshqalar kiradi. Strukturaning ustivorligi (прочность) yopishqoq-plastik muhitlar uchun urinma kuchlanish kattaligi bilan xarakterlanadiki, bu muhitlarda muvozanat holatidan chiqib harakat boshlanishi kuzatiladi. Bu kattalik ko'chishning statik kuchlanishi (CHC) bo'lib, Bingham tomonidan quyidagicha hisobga olingan:

$$\tau = \mu_n \dot{\gamma} + \theta, \quad (1.4)$$

bunda μ_n - strukturaviy yopishqoqlik ko'effitsiyenti; τ - yuklangan urinma kuchlanish; θ - ko'chishning statik kuchlanishi (CHC).

Shunday qilib, Bingham muhiti (1.2-rasm, 5-egrichiziq yoki 1.1-rasm, 2-egrichiziq) ni o'zini tutishidagi bitta parameter emas, balki ikki ta parametr $1/\mu_n$ - to'g'richiziqning egilish burchagivakesmak kattaligi (0 kuchlanish o'qidan buto'g'richiziq orqalikesadigan)

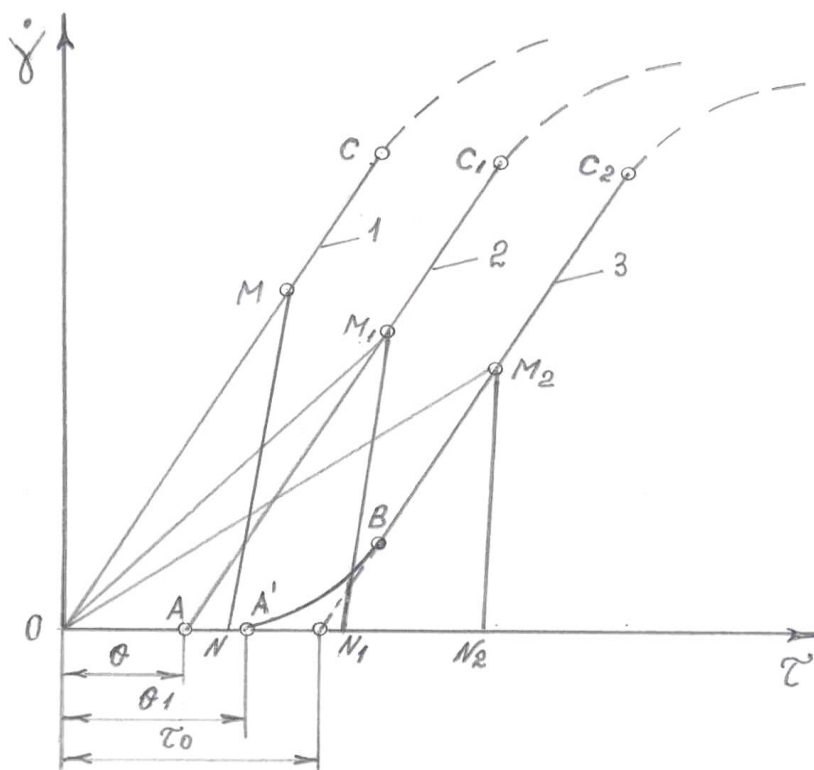
A⁰BC₂ egri chiziq (1.1-rasm) xarakteristikasi uchun bir nechta bog'lanishlar taklif etilgan, ammo amalda A⁰BC₂ egri chiziqning hammasi emas, balki BC₂ to'g'ri chiziqli qismi qaraladi. Bu holda uning tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\tau = \tau_0 + \mu_n \dot{\gamma}, \quad (1.5)$$

bunda τ_0 - ON₁ kesmak kuchlanish o'qidan A⁰BC₂ egri chiziqni BC₂ to'g'ri chiziq qismini absissalar o'qi bilan kesganacha bo'lgan masofa; τ_0 - ko'chishning dinamik ko'effitsiyenti.

Ko'chishning statik kuchlanishi (CHC) (OA, 1.1-rasm) sistema harakati boshlangan momentdagi ko'chishni xarakterlaydi, dinamik kuchlanish esa bu - yopishqoq-plastik suyuqlikka qo'yilgan minimal kuchlanish bo'lib, uni

muvozanat holatidan chiqarishga sabab bo`ladi, shunday shartdagi suyuqlik Bingam plastik muhiti deb qaralganda, ya`ni agar $A'BC_2$ egri chiziqni N_1BC_2 to`g`ri chiziq bilan almashtirib bo`lsa (1.1-rasm).



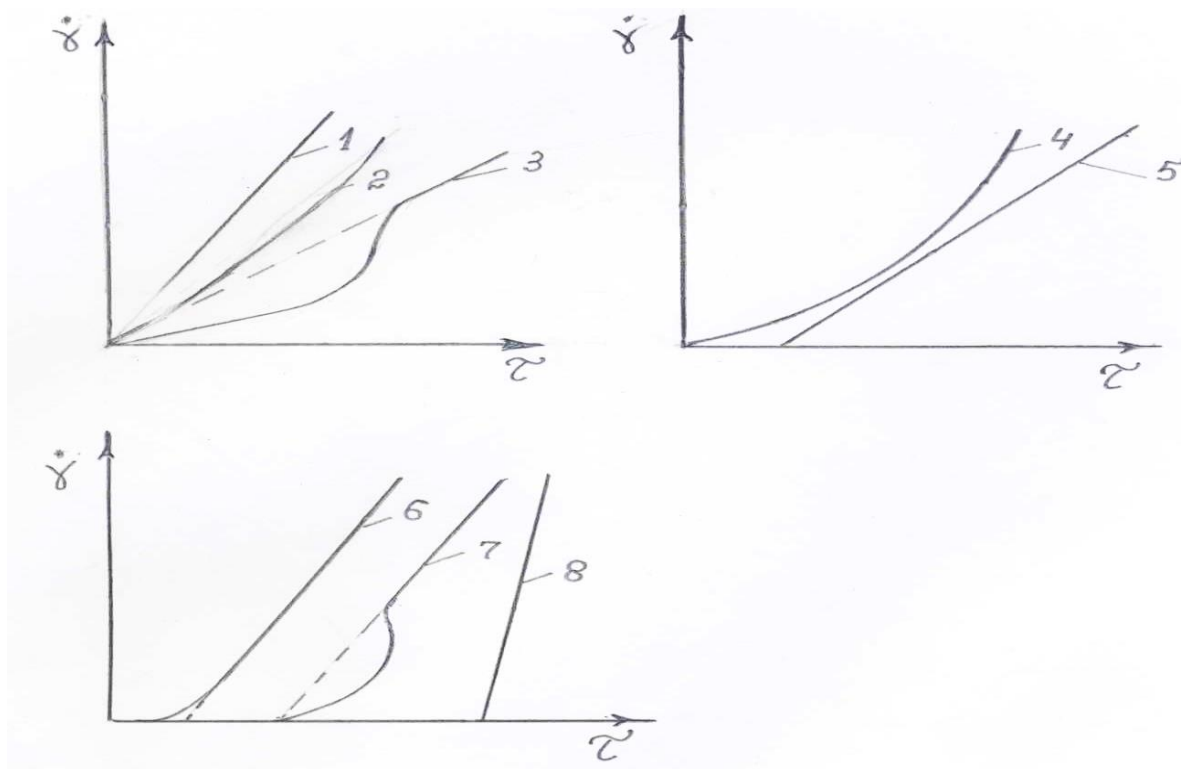
1 – Nyutonsuyuqligi, 2 – Bingammuhiti, 3- Shvedov muhiti

1.1-rasm. Reologik egri chiziqlar

OstvalddeValle modeli. Agar oqimegrichizig`i (1.3-rasm) darajaliqonun

$$\tau = K\dot{\gamma}^n, \quad (1.6)$$

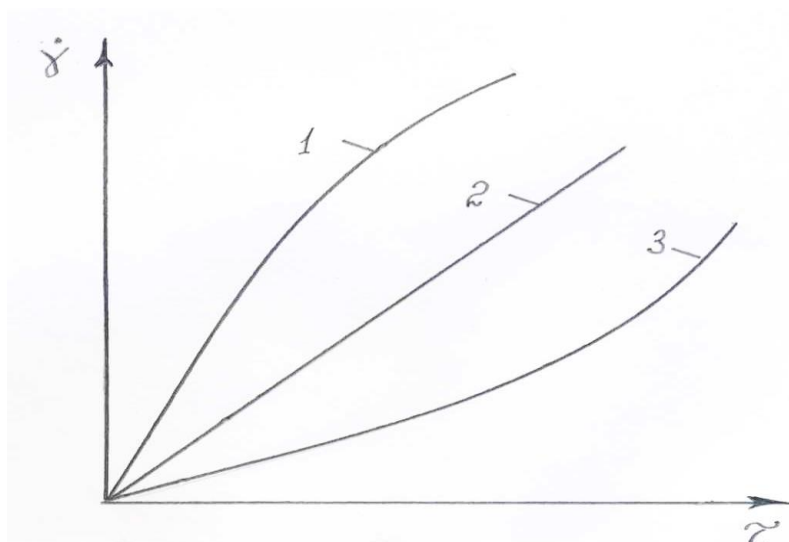
orqalitaniflansa, u holda bunday gidromexanik model –
OstvalddeValle modelideyiladi. Buyurda K va n ($n < 1$)
berilgan suyuqliklar uchun doimiy hisoblanadi: K –
suyuqlikning konsistensiyasi o`lchov bo`lib, suyuqlik yopishqoqlik qimibila, n –
nonyuton muhitining tartibini xarakterlaydi hamda 1 dan qancha ko`p farqqilsa, bu
xossa shunchalik yaqqolroq namoyon
bo`ladi. Bu qonungabo`ysinuvchi muhitlar pсевдопластик suyuqliklar deyiladi.



(1.2-rasm) Anomalmuhitlarning turlitiplari.

1 – Nyutonsuyuqligi, 2 – psevdoplastiksuyuqlik, 3 – tiksototropsuyuqlik (Ostvaldmuhit), 4 – nonyutonsuyuqlik, 5 – plastiksuyuqlik (Bingammuhit), 6 – yopishqoq-plastiksuyuqlik (Shvedovmuhiti), 7 – tiksototropplastiksuyuqlik, 8 – eziluvchanmuhit.

Ko`pginasuyuqliklaroqimegrichiziqlaritorchegaralardagideformatsiyatezliklaridabuqonungabo`ysinadi. $n < 1$ bo`lganholda (1.6) munosabatdako`chishteizliginingjudakichikchegaralardagitezliklaridayopishqoqlikningcheksizkattaqiymatlarigaegabo`ladi. Real suyuqliklar uchun bu holat kuzatilmaydiki, bu darajali qonunning kamchiliklaridan biri hisoblanadi. Ammo (1.6) formulaning algebraik soddaligi va (  $K$  va  $n$  ) eksperimental doimiylarning kamligi hamda amalda katta  $\gamma$  katta qiymatlarga ega bo`lganda muhitlar harakatini darajali qonun orqali ifodalash imkonini ko`proq yuzaga keltiradi. Masalan, bu model suv neftli emulsiyalar, burg`ulash aralashmalari, ba`zi bo`yoq turlari, dispers sistemalar va boshqa oqimlarni injenerlik hisoblashlarida keng qo`llaniladi.



1 – dilatantsuyuqlikn >1 , 2 – Nyuton suyuqligin $=1$,
3 – psevdoplastiksuyuqlikn <1

1.3-rasm. Anomal-yopishqoq sistemalarning reologik chiziqlari.

Shuni ham aytish joizki, $n > 1$ holda (1.6) reologik qonun dilatant suyuqliklar oqimini ifodalaydi. Shunday tipdagi oqimlarni birinchi bo`lib Reynolds qattiq zarrachalar tarkibi ko`p bo`lganda suspenziyalar harakatida payqagan.

Ko`p hollarda injenerlik amaliyotida (1.4) tenglama o`rinli bo`lgan aralashmalar bilan ish ko`rishga duch kelinadi. [16]da nazarda tutilganidek, bu formulani sement qorishmalar parametrlarini hisoblashda ancha aniq natijalarga ega bo`lish mumkin.

Ko`plab sistemalar qotish (застудневания) xossasiga ega, ya`nit inch holatda turib struktura shakliga ega bo`ladi, aralashtirilganidan so`ng ezilib suyuqlashadi. Ko`rsatilgan bu xosa *tiksotropiya* deyiladi.

Tiksotrop o`zgarishlar turli sistemalarda bir xil kechmaydi, chunki ular sistemada ro`y berayotgan murakkab fizik-kimyoviy jarayonlar bilan bog`liq. Ko`chishning statik kuchlanishi (CHC)kattaligi aynan bir sistema uchun katta farq qilishiga olib keladiki, bu struktura yemirilgandan (buzilgandan) so`ng tinch holatda bo`lish davomiyligiga bog`liq bo`ladi. Misol tariqasida 1.4-rasmda ko`chishning statik kuchlanishi (CHC)ning aralashmaning tinch holatda tutish vaqtiga bog`liq egri chiziqlar [17] keltirilgan.

Amaliyotchilar sistemadagi tiksotropik o'zgarishlarni xarakterini hisobga olishda ko'chishning statik kuchlanishi (CHC)ni ikki marta o'lchashni o'tkazadilar: intensiv aralashtirilgandan 1 va 10 minutdan so'ng. To'g'ri va teskari oqim chiziqlarini olingandan so'ng tiksotropik muhitlar uchun gisterezis petlyasini hosil qilish mumkin.

Tiksotropik strukturani tiklanishida, ko'chishni statik kuchlanishi uzoq muddat tinch holatdagi kuchlanishdan kam bo'lishi sharti vujudga keladi

Tiksotropsistemalardan farqliravishda antitiksotropyokireopektiksistemalar mavjudki, ularda aksincha strukturako'chish davrida shakllanadi hamda tinch holatda mexanik buzilish (деструкция) ro'y beradi. Bunday sistemalarning parametrlari gips suspenziyalari, betonitning suvli aralashmalari qorishmalari va boshqalar.

Turli tuman moddalarning ko'pchiligidan turli materiallar tayyorlanadi, xususan, quduqlarni burg'ulashda yuvuvchi aralashmalar hamda turli ish jarayonlarida mavjud bo'lgan shart-sharoitlarda τ_0 va θ munosabatlarning keng diapazonli turli reologik parametrlarida. Ko'phollarda ko'chishning dinamik kuchlanishi (ДHC) da τ_0 ko'chishning statik kuchlanishi (CHC) da θ dan katta, bu suspenziyalarning fizik-kimyoviy tabiatiga bog'liq. Kam koagulyatsiyalangan kuchlitiksotropiyali sistemalarda τ_0 va θ orasidagi farq katta bo'lmaydi. Ba'zi hollarda θ kattalik τ_0 dan katta bo'lishi ham mumkin.

Yuqori kolloidli fraksiya simi qdori ko'p bo'lmagan suspenziyalarda bu parametrlar deyarli teng: $\tau_0 = \theta$

Aytilganlarni inobatga olgan holda (1.4) va (1.5) ifodalardagi sifat simi qdorlarni farqlash zarur: birinchisi (1.1-rasm, 2-egrichiziq) ikki θ va μ_n parametrlarni xarakterlaydigan reologik egrichiziq keltirilgan; ikkinchisi sapeologik egrichiziqning to'g'richiziq liuchastkasi keltirilgan, to'liq xarakteristikasi aniqlash uchun uchta - θ , η va τ_0 parametrlarni bilish zarur (1.1-rasm, 3-

egrichiziq),

harbiy egrichiziq uchun o'zining xarakterli $\tau = f(\dot{\gamma})$ bog'lanishi aniqlanish kerak.

Shuni ham inobatga olish kerakki bunday aralashmalarining parametrlarini aniqlashdan otog'rimetodikaniqo'llash orqali boshqareologik guruhga tegishli bo'lgan qiymatlarni olishga sabab bo'ladi.

Prandtl-Eyring modeli. Oqim egrichizig'I (1.2-rasm, 3,1-egrichiziq va 1.3-rasm, 3-egrichiziq) Prandtl-Eyring suyuqligi quyidagi formula orqali bayon etiladi:

$$\tau = A \operatorname{arcsinh} \frac{\dot{\gamma}}{C}, \quad (1.7)$$

bunda A va C – eksperimentdan aniqlanadigan konstantalar.

Bu model oqimni atigi ikkita konstanta orqali aniqlash imkomimi beradi. (1.7) formulaga ko'ra ko'chishning kichik texliklarida muhit Nyuton suyuqligiga mos keladi. Asosiy modelning kamchiligi – formulaning murakkabligi, hatto juda oddiy oqimlarni qarashni ham qiyinlashtiradi. Prandtl-Eyring qonuniga bo'ysinadigan model moddalarga smola, polietilen, eritilgan shisha va boshqa materiallar kiradi.

Reyner-

Filippov modeli. Suyuqliklar uchun bu modelning ishqalanish qonuni quyidagicha:

$$\tau = \dot{\gamma} \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + \tau^2 / \tau_m^2} \dot{\gamma}, \quad (1.8)$$

bunda η_{∞} – cheksiz kattakuchlanishlarday oqish qoqlik, η_0 –

$\tau \rightarrow 0$ uchun boshlang'ich oqish qoqlik, $\tau_m - \eta = \frac{\eta_0 + \eta_{\infty}}{2}$ ishqalanish kuchlanishi.

(1.8) formulasuyuq kauchuk, geksan,

meyanol va boshqaba'zibir suyuqliklarning ko'chish tezligining keng diapazoni uchun oqimlarni yaxshi bayon etadi. Biroq (1.8)

ifodaning murakkabligi uchun unisoda oqim masalalarini yechishda ham qo'llabmatematik qiyinchiliklarga duch kelish mumkin.

Ellis modeli. Ellis modeli uchta parametr ga bog'liq bo'lib, matematik shakli quyidagicha:

$$\tau = \eta_0 \dot{\gamma} \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1}}, \quad (1.9)$$

bunda $\tau_{1/2}$ — ko'chish kuchlanishi bo'lib, effektiv yopishqoqlik $1/2 \eta_0$ ga chapasayadi; α — konstanta.

Ko'chish kuchlanishining kichik qiymatlarida η_0 yopishqoqlikli suyuqlik Nyuton qonuniga keladi, katta qiymatlarda esa darajali qonunga mos keladi.

Mazkur muhitlar uchun xarakterli oqimegrichizig'ining ko'rinishi 1.3-rasmda keltirilgan. Ostvald de Valles modeli bilan taqqoslaganda Ellis modeli bir muncha murakkab va qo'shimcha ya'ni bitta parametrni aniqlashni talab etadi. Shunga qaramasdan, ko'chis tezligining keng sohasidagi eksperimental qiymatlariga mos keladi (darajali qonunga nisbatan ancha ko'p) va kichik ko'chish kuchlanishlarida ham foydalanish mumkin. Nonyuton suyuqliklarning murakkab oqimlarini aniqlash uchun Ellis modelini qo'llash mumkin.

Kesson qonuni. Bu qonunni Kesson [34] taklif etgan bo'lib, umoylivalak libo'yoqlar tipidagi suvsiz suspenziyalarning reologik holatini aniqlash uchun qo'llaniladi. U quyidagi ko'rinishga ega:

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{\eta \dot{\gamma}}, \quad (1.10)$$

Yuqoridagi keltirilgan modellardan farqliravishda Kesson qonunini nazariyasosga ega. Kesson (1.10)

tenglamanikeltirib chiqarishda suvsiz suspenziyalarda zarrachalar zarrachalar orasidagitortishuvchivaitaruvchikuchlarini hisobga olgan.

Busterjenlarning o'qbo'y icha bo'g'lanishlarini hisobga olgan holda suspenziyalari yopishqoqligini aniqlangan. Kessonning ishqalanish qonuni ko'plab miqdordagi suspenziyalarni bayon etadi. Keyinchalik bu qonun umumlashtirilib, quyidagi ko'rinishga keltirilgan:

$$\tau^n = \tau_0^n + (\eta \dot{\gamma})^n, \quad (1.11)$$

bunda n- berilgan suyuqlik uchun konstanta.

Chiziqsiz-

yopishqoqplastikmuhitlar. Kompozitmateriallarning oqimida yichako`plab sonidagi tajribalariga asoslangan holda Z.P. Shulman [35] quyidagi reologik tenglamani taklif qilgan.

$$\tau^n = \tau_0^n + (\eta \dot{\gamma})^m, \quad (1.12)$$

bu yerda m – eksperimental yo`l bilan aniqlangan parametrlar.

Butenglama Shvedov-Bingam suyuqligi, Kesson, Ostvald de Valleva boshqayopishqoq-plastik muhitlar uchun umumlashgan formulabo`lib, (1.12) tenglamaning n va m qiymatlariga ko`r xususiy hollarida bo`lishi bilan ham muhim. Masalan, agar n = m bo`lsa Kessonning ish qalanish qonuni, agar n = m = 1 bo`lsa Shvedov-Bingam suyuqligi modeli, agar  $\tau_0 = 0$  bo`lsa Ostvald de Valleva yopishqoq-plastik model kelib chiqadi. Shunday qilib (1.12) formulaga turli tuman ko`plab suyuqliklar, suv-nafta emulsiyalari, moyli va lakli bo`yoqlar, turli kompozitsion materiallar bo`ysinadi.

Oqim parametrlarini aniqlash uchun muhitlarning tezlik taqsimotini va trubaning hajmi sarfitenglamalarini kerak bo`ladi.

Shuning uchun quyidagi yuqoridagi fodalangan gidromexanika modellar uchun bu ifodalarni keltiramiz (1.1-jadval) [36].

1.1-jadval. Ba`zi suyuqliklarning reologik qonunlari hamda ularga mos tezlik profili va ularni dumaloq quvurdagi sarfi

Avtor va qonun	Tezlik taqsimoti	Hajmiy sarf
Nyuton $\tau = \eta \dot{\gamma}$	$v(r) = \frac{\Delta P}{4\eta L} (R^2 - r^2)$	$Q(\Delta P) = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\eta L}$
Ostvald de Valle $\tau = K \dot{\gamma}^n$	$v(r) = \left(\frac{\Delta P}{2LK} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+n} (R^{\frac{1+n}{n}} - r^{\frac{1+n}{n}})$	$Q(\Delta P) = \frac{\pi n}{3n+1} \left(\frac{\Delta P}{2LK} \right)^{\frac{1}{n}} R^{\frac{1+3n}{n}}$
Prandtl-Eyring $\tau = A \operatorname{arcsh} \frac{\dot{\gamma}}{C}$	$v(r) = \frac{2-AL}{\Delta P} \left[\operatorname{ch} \left(\frac{\Delta P R}{2AL} \right) - \operatorname{ch} \left(\frac{\Delta P r}{2AL} \right) \right]$	$Q(\Delta P) = \frac{2\pi c R^2}{\alpha} \left[\frac{1}{2} - \operatorname{ch} \alpha R - \frac{1}{2\alpha R} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{sh} \alpha R + \frac{1}{\alpha^2 R^2} (\operatorname{ch} \alpha R - 1) \right]; \quad \alpha = \frac{\Delta P}{2AL}$
Reyner va Filippov $\tau = \dot{\gamma} \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + \frac{\tau^2}{\tau_m^2}} \dot{\gamma}$	$v(r) = \frac{\Delta P}{4L\eta_{\infty}} (R^2 - r^2) + \frac{\tau_m^2 L}{\Delta P \eta_{\infty}} \left(1 - \frac{\eta_0}{\eta_{\infty}} \right) \times \\ \times \left[\ln \left(\eta_{\infty} \frac{\Delta P^2 R^2}{4L^2} + \eta_0 \tau_m^2 \right) - \ln \left(\eta_{\infty} \frac{\Delta P^2 r^2}{4L^2} + \eta_0 \tau_m^2 \right) \right]$	$Q(\Delta P) = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8L\eta_{\infty}} + \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\eta_0}{\eta_{\infty}} \right) \left[\frac{2\tau_m L R^2}{\Delta P \eta_{\infty}} - \right. \\ \left. - \frac{8\tau_m^4 L^3}{\Delta P^3 \eta_{\infty}^2} \ln \left(\eta_{\infty} \frac{\Delta P^2 R^2}{4L^2} + \eta_0 \tau_m^2 \right) + \right. \\ \left. + \frac{L^3 8\eta_0 \tau_m^4}{\Delta P^3 \eta_{\infty}^2} \ln \eta_0 \tau_m^2 \right]$

1.1-jadval

Ellis $\tau = \eta_0 \dot{\gamma} \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1}}$	$v(r) = \frac{\Delta P}{2L \eta_0} \left[\frac{R^2 - r^2}{2} + \left(\frac{\Delta P}{2L \tau_{1/2}} \right)^{\alpha-1} \times \left(\frac{R^{\alpha-1} - r^{\alpha-1}}{\alpha + 1} \right) \right]$	$Q(\Delta P) = \pi R^3 \left[\frac{\Delta P R}{8L \eta_0} + \frac{1}{\eta_0 \tau_{1/2}^{\alpha-1}} \times \left(\frac{\Delta P}{2L} \right)^{\alpha} \frac{R^{\alpha}}{\alpha + 3} \right]$
Shvedov-Bingham $\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}$	$v(r) = \frac{1}{\eta} \left[\frac{R^2 - r^2}{4L} + \Delta P - \tau_0 (R - r) \right]$	$Q(\Delta P) = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8L \eta} \left[1 - \frac{4}{3} + \frac{2\tau_0 L}{\Delta P R} + \frac{1}{3} \left(\frac{2\tau_0 L}{R \Delta P} \right) \right]$
Kesson $\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{\eta \dot{\gamma}}$	$v(r) = \frac{1}{\eta} \left[\frac{\Delta P}{4L} (R^2 - r^2) - \frac{4}{3} \sqrt{\frac{\Delta P \tau_0}{4L}} \times (\sqrt{R^3} - \sqrt{r^3} + \tau_0 (R - r)) \right]$	$Q(\Delta P) = \frac{\pi}{\eta} \left(\frac{\Delta P R^4}{8L} - \frac{4}{7} \sqrt{\frac{\Delta P \tau_0}{2L}} R^3 \sqrt{R} + \frac{1}{3} \tau_0 R^3 - \frac{2L^3}{21 \Delta P^3} \tau_0^4 \right)$
Shulman $\tau^{\frac{1}{n}} = \tau_0^{\frac{1}{n}} + (\eta \dot{\gamma})^{\frac{1}{m}}$	$v(r) = \frac{1}{\eta} \sum_{v=1}^m (-1)^v \frac{n}{m + n - v} C_m^v \left(\frac{\Delta P}{2L} \right)^{\frac{m-v}{n}} \times \tau_0^{\frac{v}{n}} \left(R^{\frac{m+n-v}{n}} - r^{\frac{m+n-v}{n}} \right), r_0 \leq r \leq R$	$Q(\Delta P) = \frac{\pi}{\eta} \sum_{v=0}^m (-1)^v C_m^v \frac{n}{m + 3n - v} \times \left(\frac{\Delta P}{2L} \right)^{\frac{m-v}{n}} \tau_0^{\frac{v}{n}} \left[R^{\frac{m+3n-v}{n}} - \left(\frac{2L \tau_0}{\Delta P} \right)^{\frac{m+3n-v}{n}} \right]$

	$v(r_0) = \frac{1}{\eta} \sum_{v=1}^m (-1)^v C_m^v \frac{n}{m+n-v} \left(\frac{\Delta P}{2L} \right)^{\frac{m-v}{n}} \times$ $\times \tau_0^{\frac{v}{n}} \left[R^{\frac{m+n-v}{n}} - \left(\frac{2L\tau_0}{\Delta P} \right)^{\frac{m+n-v}{n}} \right], 0 \leq r \leq r_0$	
--	--	--

Ibobningxulosasi

Ushbu bobda reologiya ning asosiy muammolari holati, oqim jarayonida dispers fazalizarrachalarning oqimdagiko'chishi (migratsiyasi) masalalari qaralgan. Ko'pgina bayonetilganishlardakattatezliklardaharakatlanayotgan (masalan turbulent rejimdagioqimsohasida) suyuqlik vagazlardakechadigan ichkimolyaralmashinuv muammolarga e'tibor qaratilgan. Serte-Zilberberg, E.P. Melnikov, M.N. Maxmudov, D.F. Fayzullayev, A.I. Umarov eksperimental tadqiqotlarida, Djefrey, Pirson, Mendi, Jern, Oliver N.A. Slyozkin yonkuchlarni inobatga olish zarurligini asoslab berdiki, ulaminaroqimda zarrachagata'sir qiladiva umuallaq zarrachalarning turg'un harakati masalasini yechib berdi.

Aralashmalarda strukturashakllanish jarayonlaritadqiqiva strukturaparametrlarini mexanik xarakteristikalar bog'lanishlarni o'rnatishga bag'ishlangan ba'zi masalalarni ko'rib chiqilgan: suyuqliklaryopishqoq-plastik (Bingham modeli), anomal-yopishqoq, yopishqoq-elastik (Maksvell modeli) suyuqliklarga bo'linishikeltirilgan.

Ba'zi suyuqliklarning reologik qonunlari (Ostvald de Valle, Prandtl-Eyring, Reyner va Filippov, Ellis, Shvedov-Bingham, Kesson, Shulman modellari) ularga mos tezlik profili va ularni dumaloq quvurdagi sarfijadvaldaberilgan.

II BOB. FAZALARNING HAJMIY TARKIBIGA KO`RA REOLOGIK MODELLARI.

2.1. Ikki fazali muhitlarda molyar ko`chish.

So`nggi yillarda turli agregat holatidagi bir necha fazadan iborat muhitlarning tadqiqi shuni ko`rsatmoqdaki bu muhitlarda fizik substansiyalarning ko`chishi nafaqat molekyar tartibda, balki molyar tartibda ham amalga oshishi to`g`risidagi qarashlar rivojlanmoqda. Turbulent oqimlarda molyar ko`chishlar Reynolds, Prantdl va Loysyantskiy kabi mashhur olimlar tomonidan o`rganilgan. Gaz oqimlarida kollektiv molyar ko`chishlar Strumenskiy va uning o`quvchilari tomonidan tahlil etilgan. Nonyuton oquvchan muhitlarda molyar ko`chishlari uchun kuchlanma deformatsion holat tenglamalari (reologik tenglamalar) I.N.Husanovning ishlarida bayon etilgan. Yuqorida keltirilgan ko`pgina muhitlarda tiksotropik xossalar namoyon bo`ladi, ya`ni kuch ta`sirida ular strukturasi izotermik buziladi va kuch olinganda qayta shakllanadi. Strukturaning buzilishi molekyar shakllanishdan yuqori bo`lgan-mollar tufayli shakllanadi. Uning o`lchami va shakli ta`sir etayotgan kuch qiymatiga mos keladi. Bu holat “qattiq” shakli oquvchan muhit strukturaviy relaksatsiyasi bilan izohlanadiki, biror vaqtdan so`ng to`xtatganda sistemada yana mollar hamda yirikroq kinetik birliklar shakllana boshladi, ta`sirdan so`ng uzluksiz struktura hosil qiladi.

I.N. Husanovning ilmiy ishlarida molyar zarrachalarning ko`chishi, ya`ni o`zaro molyar shakllanishlarni keltirib o`zaro ta`sir etishi jarayonlarini tadqiq etib, yangi qonuniyat kuchlanish tenzorining deformatsiya tezlanishiga proporsional bog`liqligi olindiki va shu bilan materiallarning yangi xossasi-inertiya bo`yicha deformatsiiallanish xossasi kashf etildi. Taklif etilgan mexanik modelni parallel va ketma-ket boshqa mavjud mexanik modellar bilan ulash ko`plab relaksatsion va retardatsion modellarni shakllantirdiki, ular murakkab muhitlarning reologik holatini adekvat izohlay oladi. Xususan, deformatsiya tezligiga nisbatan oddiy retardatsion model yechimi orqali deformatsiyalanuvchi

materialning yangi xossasi o'rnatildiki, unga ko'ra deformatsiyalanish jarayonlashga muhitlarning yopishqoq-inert qarshilik ko'rsatadi. Bu xossa ta'sir osti yopishqoqlikdir. Relaksatsiya va retardatsiya davrlari kabi yangi tushunchalar kiritildiki, ular chiziqli zichlikning dinamik yopishqoqlikka nisbati va chiziqli zichlikning kvadrat ildizining elastiklik koeffitsiyentiga nisbatiga mos ravishda teng.

Yuqorida keltirilgan ishlarda ko'p moddalar, asosan ikki va undan ortiq fazali moddalar, sodda reologik modellar orqali tasniflash mumkin emasligi ko'rsatilgan. Reologik murakkab moddalar bittadan ortiq relaksatsiya va retardatsiya davriga ko'p hollarda esa relaksatsiya va retardatsiya davrlari spektriga ega bo'ladi.

Ta'sir etayotgan kuch (nagruzka) ning ortishi bilan deformatsiya tezligi oshadi, ya'ni deformatsiya tezlanishi vujudga kelib material strukturasi fazoviy setkasini buzilishiga olib keladiki, muhit bu holatda o'zgaruvchi elastiklik moduli va yopishqoqlik hamda hajmiy o'zgarishlar bilan oqadiki u o'zini oldingi holatini (strukturani) tiklashga intiladi.

Mazkur magistrlik dissertatsiyasi ishning maqsadi "qattiq" shakl oquvchan yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlarning strukturani shakllanishi va buzilishi oqimi qonuniyatlari hamda deformatsiyalanish jarayonlarini adekvat bayon etishi uchun kuchlanma deformatsion holat (NDS) tenglamalarini mukammallashtirishdan iborat.

Neft va gaz, kon-metalurgiya, qurilish, ximiya va boshqa ishlab chiqarish sohalaridagi ko'plab texnologik jarayonlar konsentrlashgan (jamlangan, birikkan) gidroqorishmani yuzaga kelishi (paydo bo'lishi) bilan kechadi yoki ularni qo'llashga asoslangan bo'ladi.

Truboprovod transportida gidroqorishmalardagi jarayonlar o'ziga xos turli reologik xarakteristikalariga hamda bunday oqimlarning rejimlari xususiyatlariga bog'liq holda shartli o'zgaradi. Bu disperslangan va maydalangan materiallarning mineral zarrachalari yoki organik moddalardan tuzilganligi va yuqorida bayon etilgan struktura shakllanishiga bo'lgan faolligidagi farqi bilan izohlanadi.

2.2. Inertsia bo'yicha deformatsiyalanuvchi muhitlar

Faraz qilaylik shunday muhit mavjud bo'lsinki: yopishqoqlik xossasiga ega Nyuton zarrachalaridan, elastiklik xossasi mavjud bo'lgan qattiq zarrachalar hamda shu bilan birga katta miqdorda u turdagi yopishqoq va bu turdagi elastik deformatsion inertlik xossasiga ega zarrachalar kompleksidan tashkil topgan bo'lsin. Bu xossalarni μ - suyuqlikning dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti, m_{ℓ} - mollarning chiziqli zichlik koeffitsiyenti, hamda G - qattiq zarrachalarning elastiklik koeffitsiyenti orqali aniqlanadi.

Fazalarning keltirilgan va haqiqiy xossalari tushunchalarini kiritgan holda quyidagi tenglikni olamiz:

$$\mu_n / \mu_i + m_{\ell n} / m_{\ell i} + G_n / G_i = 1 \text{ yoki } f_1 + f_2 + f_3 = 1 \quad (2.1)$$

Chunki $\mu_n = f_1 \mu_i$, $m_{\ell n} = f_2 m_{\ell i}$ va $G_n = f_3 G_i$ u holda aralashmada kuchlanish Guk, Nyuton va deformatsion inertlik qonunlariga ko'ra quyidagi shaklda ifodalanadi:

$$\tau_{ij} = f_1 \mu_i \dot{\gamma}_{ij}, \quad \tau_{ij} = f_2 m_{\ell i} \dot{\gamma}_{ij}, \quad \tau_{ij} = f_3 G_i \gamma_{ij} \quad (2.2)$$

Guk, Nyuton va deformatsion inertlik elementlarini paralel ulasak kuchlanma-deformatsion holat(H/D)ning retardatsion tenglamasini olamiz:

$$f_2 m_{\ell i} \dot{\gamma}_{ij} + f_1 \mu_i \dot{\gamma}_{ij} + f_3 G_i \gamma_{ij} = \tau_{ij}, \quad (2.3)$$

Vaqtbo'yicha o'zgaruvchi kuchlanish bilan muhitgata sirtuvchi holat uchun (2.

- 3) tenglamani yechamiz, ya'ni $t_{kh_1} = f_2 m_{\ell i} / f_1 \mu_i$ retardatsiya bo'lib, yopishqoq-inert deformatsion holatga o'tishini ifodalaydi:
 elastik deformatsiyaning rezonans chastotasi,
 yopishqoq oqim va deformatsiya tezlanishi; reologik impedans yopishqoq-elastik-inert deformatsiyalanuvchi muhit elastik,
 yopishqoq va inert deformatsion holatning hajmiy bog'liqligini ifodalaydi.

Yopishqoq-inert muhitlar uchun (2.3) tenglama quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\tau_{ij} = f_1 \mu_1 \dot{\gamma}_{ij} + f_2 m_{li} \ddot{\gamma}_{ij} \quad (2.4)$$

Bunda τ_{ij} -kuchlanish tenzorining komponentalari, $\dot{\gamma}_{ij}$ va $\ddot{\gamma}_{ij}$ - deformatsiya tezligi va deformatsiya tezlanishi, f_1 va f_2 - yopishqoq suyuqlik va molyar (yirik strukturalashgan kinetik birliklar) zarrachalarning mos ravishda hajmiy tarkibi, μ_1 va m_{li} – mos ravishda haqiqiy dinamik yopishqoqlik va chiziqli zichlik koeffitsiyentlari.

(2.4) tenglamadagi m_{li} chiziqli zichlik strukturalashgan parametrlarga bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi [14]

$$m_{li} = \frac{3}{2} \frac{\rho}{\rho + g} r_0^2 n b t_n \left[\frac{v^2 - 1}{8} + \rho g \frac{(v/\rho)^2 - 1}{8} \right] \quad (2.5)$$

bunda $b = 6\pi\mu a$, r_0 – zarrachalar orasidagi masofa, a – zarracha radiusi, v – zanjirdagi zarrachalar soni, n – birlik hajmdagi zarrachalar soni, t_n – xarakterli vaqt, g – yon zanjirdagi zarrachalar soni, ρ – strukturaning anizotropiya parametri, izotrop strukturalar uchun $g = 2\rho$ [14].

[14] ishning natijalardan farqli ravishda bu ishda zarrachalarning birikishi va yon zanjirni shakllantirish hisobga olingan.

Birlik hajmda zarrachalar soni $n = 3f_2/4\pi a^3$ va b ning qiymatlarini (2.4) va (2.3) ga qo'yib quyidagi reologik tenglamani hosil qilamiz:

$$\tau_{ij} = f_1 \mu_1 \dot{\gamma}_{ij} + \frac{3r_0^2}{8(\rho + g)a^2} f_2 \mu_1 t_n [\rho(v^2 - 1) + g(v^2 - \rho^2)] \ddot{\gamma}_{ij}$$

Bu holat tenglamasi konsentratsiyalangan (jamlangan) gidroqorishmalarning fazalarning hajmiy tarkibini o'zgarishiga bog'liq holda kuchlanma-deformatsion holat (HDC)ning o'zgarishini aniqlaydiki, u yordamida oqim jarayonida aralashma strukturasini shakllanishi va buzilishini tadqiq etish mumkin.

II bob xulosasi

Turli oqim rejimlarida, masalan, turbulent oqimlarda molyar ko'chishlar ko'plab tadqiqotchlar tomonidan o'rganilgan bo'lib, misol uchun Strumenskiy va uning o'quvchilari tomonidan gaz oqimlarida kollektiv molyar ko'chishlar tadqiq etilgan. Nonyuton oquvchan muhitlarda molyar ko'chishlari uchun I.N.Husanovning ishlarida kuchlanma deformatsion holat tenglamalari (reologik tenglamalar) taklif qilgan. Keltirilgank o'pgina muhitlarda tiksotropik xossalar namoyon bo'ladi, ya'ni kuch ta'sirida ular strukturasi izotermik buziladi va kuch olinganda yana qayta shakllanadi. Strukturaning buzilishi molekulyar shakllanishdan yuqori bo'lgan - mollar tufayli shakllanisi hamda uning o'lchami va shakli ta'sir etayotgan kuch qiymatiga mos kelishi o'rganilgan. Ya'ni bu holat "qattiq" shakli oquvchan muhit strukturaviy relaksatsiyasi bilan izohlanadiki, biror vaqtdan so'ng to'xtatganda sistemada yana mollar hamda yirikroq kinetik birliklar shakllana boshladi, ta'sirdan so'ng uzluksiz struktura hosil qilishi aniqlangan.

Mazkur magistrlik dissertatsiyasi ishida ikki va uch fazali muhit holati modeli taklif etiladi va muhitning kuchlanma-deformatsion holati tenglamasi (HDC) mukammallashtirilgan. Bunda oqimda struktura shakllanishi va buzilishi bilan boradigan qonuniyatlarini o'rnatishda, oqimda kechadigan jarayonlarni yanada adekvat bayon etish uchun fazalarning hajmiy tarkibini o'zgarishini hisobga olishdan foydalanish zarurligi ko'rsatilgan.

III BOB. RELAKSATSION VA RETARDATSION YOPISHQOQ-INERT MODELLAR.

3.1. Deformasiyalanish jarayonlariga inert qarshilik ko'rsatadigan muhitlarning umumlashgan bog'lanishlari

[23] ilmiy ishdaeng umumiy holda energetik nuqtai nazarga ko'ra deformatsiya mohiyatini, muhitdeformatsiyasi uchta fizik tushuncha orqali qaralgan. H inertsiya potensial tushunchasi kiritilgan bo'lib, u elastik potensial W_n bilan birga inertsiyal deformatsiya energiyasining to'planishini xarakterlaydi.

Bu magistrlik ishida [23] olingan kuchlanishni deformatsiya tezlanishiga bog'liqligining umumlashganini ko'rib chiqamiz:

Endishundayholniko'ribchiqamiz,
bundaqaralayotganmuhitqaytmasenergiya dissipatsiyasidan xoli.

Barchatashkiletuvchielementlarningtashqi kuchlar bajargan ishlarini yig'ib elastik (potensial) energiyani topamiz [39]:

$$W_n = \int_0^{\gamma} G \gamma d\gamma = \frac{1}{2} G \gamma^2, \quad (3.1)$$

Sistemadato'planuvchikinetikenergiyaesaquyidagiko'rinishdabo'ladi:

$$E_k = \int_0^{\dot{\gamma}} m_\ell \dot{\gamma} d\dot{\gamma} = \frac{1}{2} m_\ell \dot{\gamma}^2. \quad (3.2)$$

Potensialvakinetikenergiyalar yig'indisinituzib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$E = \frac{1}{2} G \gamma^2 + \frac{1}{2} m_\ell \dot{\gamma}^2.$$

Muhitgata'sirqiluvchitashqikuchlarvaenergiyadissipatsiyasibo'lmagandamuhitni ngenergiyasisaqlanishikerak, ya'ni

$$\frac{dE}{dt} = (m_\ell \ddot{\gamma} + G \gamma) \dot{\gamma},$$

bundan

$$m_{\ell} \ddot{\gamma} + G \gamma = 0 \text{ yoki } \ddot{\gamma} + \omega_G^2 \gamma = 0, \quad (3.3)$$

bunda $\omega_G^2 = G / m_{\ell}$

(3.3) tenglamani yechimini quyidagicha tasvirlaymiz

$$\gamma = a \sin(\omega_G t + \varphi),$$

bundan $\dot{\gamma} = a \omega_G \cos(\omega_G t + \varphi)$.

Sistemaning kinetik energiyasi ko'rinishi:

$$E_K = \frac{1}{2} a^2 \omega_G^2 \cos^2(\omega_G t + \varphi).$$

$\cos(\omega_G t + \varphi)$ va $\sin(\omega_G t + \varphi)$ ifodalarning maksimum hamda minimum qiymatlari ± 1 gateng, $\gamma = \pm a$ bo'lganda potensial energiya maksimal va minimal qiymatga erishadi, kinetik energiya ning maksimal qiymati esa quyidagicha bo'ladi:

$$E_{K \max} = \frac{1}{2} m_{\ell} a^2 \omega_G^2.$$

$m_{\ell} = G / \omega_G^2$ bo'lganda,

biz ko'rib chiqayotgan holdagi elastik va inert deformatsiyaning maksimal qiymatlaris onjihatdanteng, ya'ni

$$\frac{1}{2} G a^2 = \frac{1}{2} m_{\ell} a^2 \omega_G^2.$$

Butenglikdan muhitga tashqik uchta sirt masava energiya dissipatsiyasi mavjud bo'lmasa, u holda muhit shunday deformatsiyalanadiki, unda energiya to'labir shakldan boshqashaklgao'tadi, ya'ni elastik-inert deformatsiyalanuvchi muhit shakli vahajmining o'zgarishi (3.3) (umumlashgan γ va umumlashgan barcha komponentalar uchun) energiya ning saqlanish qonunini ifodalaydi.

To'la energiya ixtiyoriy vaqt momentida y deformatsiyaning ixtiyoriy qiymatida quyidagicha yozish mumkin:

$$E = \frac{1}{2} m_{\ell} a^2 \omega_G^2 [\cos^2(\omega_G t + \varphi) + \sin^2(\omega_G t + \varphi)],$$

bundan

$$E = \frac{1}{2} m_e a^2 \omega_G^2 = \frac{1}{2} G a^2 .$$

Yuqoridakeltirilgan formulalardayyoki $\dot{\gamma}$ orqali γ_{ij} deformatsiya tenzori, $\dot{\gamma}_{ij}$ deformatsiya tezlanishi tenzori ixtiyoriy komponentalari, G va m_e ko'effitsiyentlar esa deformatsiya jarayoniga bog'liq bo'ladi.

Energiyani to'planish jarayonini tadqiq qilib, biz garmonik deformatsiyalanishda potensial energiyaning uzluksiz o'zgarishi ro'y berishini ko'rishimiz mumkin. Potensial energiya o'zgarishining (3.1) tenglama orqali tahlil etsak, ya'ni

$$dW = G \gamma d\gamma.$$

Butenglik Gukqonunini inobatga olganda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$dW = \tau d\gamma (3.4)$$

(3.4) tenglamadan, [39]da ko'rsatilgani kabi kuchlanish va deformatsiya orasidagi proportsionallik ko'effitsiyentini aniqlashimiz mumkin (deformatsiyalanuvchi elastik Guk muhitining umumiy holi uchun)

Oldingi hisoblashda kuchlanish va deformatsiya tezlanishi orasidagi proportsionallik ko'effitsiyenti deformatsiya yo'nalishidan qat'iy nazarmiga teng deb qabul qilingan.

Deformatsiyalanish yo'nalishivayoli (usuli) gako'rabubog'lanishni ko'rib chiqaylik. Shusababli (3.2)

kinetik energiyatenglamasini to'ycha ikki marta differensiallab quyidagini olamiz

$$d\ddot{E}_k - d(\dot{\tau}_H \dot{\gamma}) - (d\tau_H) \dot{\gamma} = \tau_H d\dot{\gamma},$$

bunda $\tau_H = m_e \dot{\gamma}$ tenglikdan foydalanildi.

Tenglikni quyidagicha belgilasak

$$dH = \ddot{E}_k - d(\dot{\tau}_H \dot{\gamma}) - (d\tau_H) \dot{\gamma},$$

uholdayuqoridagi ifodani quyidagichayozamiz

$$dH = \tau_H d\dot{\gamma}, \quad (3.5)$$

Hniinertsionpotensialdebataymiz,

udeformatsiyalanuvchimuhitlarninginertqarshiliginiifodalaydi.

Umumiyholda $(\tau_H)_1, \dots, (\tau_H)_n$ no`zgaruvchili $\dot{\gamma}_1, \dot{\gamma}_2, \dots, \dot{\gamma}_n$ gabog`liq, shuholdaki, qachon shunday $H(\dot{\gamma})$ funksiya mavjud bo`lsaki, u

$$(\tau_H)_i = \frac{dH}{d\dot{\gamma}_i} \quad (3.6)$$

Agar (3.6) munosabat o`rinli bo`lsa, u holda

$$\Phi = \tau_{Hi} \dot{\gamma}_i - H$$

bunda $\Phi = \Phi(\tau_{Hi})$,

oxirgitenglikni τ_{Hi} bo`yichadifferensiallabquyidagigaegabo`lamiz

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \tau_{ni}} = \dot{\gamma}_i + \tau_{HK} \frac{\partial \ddot{\gamma}_K}{\partial \tau_{ni}} - \frac{\partial H}{\partial \dot{\gamma}_K} \frac{\partial \ddot{\gamma}_K}{\partial \tau_{ni}}$$

Bundan(3.6) nihisobgaolganholdaoxirgitenglikdan, teskarimunosabatni, $\dot{\gamma}_i$ ni τ_{Hi} orqaliushbuifodanitopamiz, ya`ni

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \tau_{ni}} = \dot{\gamma}_i \quad (3.7)$$

Shunday qilib, (3.6) munosabatdan (3.7) ifodaga Lejandr almashtirishlari orqali o`tish mumkin. Shu bilan biz kuchlanish tenzori komponentalarini deformatsiya tezlanishi komponentalari bilan o`zaro bog`lanishini umumiy holda (3.6) qonuniyat orqali ifodaladik.

Komponentalar bo`yicha tenglamaning o`ng tomonini quyidagi ko`rinishda yozamiz:

$$dH = \sigma_{11} d\dot{\gamma}_{11} + \sigma_{22} d\dot{\gamma}_{22} + \sigma_{33} d\dot{\gamma}_{33} + \tau_{12} d\dot{\gamma}_{12} + \tau_{13} d\dot{\gamma}_{13} + \tau_{23} d\dot{\gamma}_{23} \quad (3.8)$$

Eng umumiy holda H inertsion potensial uchta I_1, I_2, I_3 invariantning funksiyasi hisoblanadi. Shuning uchun kuchlanish tenzori komponentlari quyidagicha yoziladi:

$$\tau_{ij} = \frac{dH}{d\dot{\gamma}_{ij}} = \frac{dH}{dI_1} \frac{dI_1}{d\dot{\gamma}_{ij}} + \frac{dH}{dI_2} \frac{dI_2}{d\dot{\gamma}_{ij}} + \frac{dH}{dI_3} \frac{dI_3}{d\dot{\gamma}_{ij}}$$

Bu munosabatlar umumiy xarakterga ega, $H(I_1, I_2, I_3)$ ko'rinishidagi ixtiyoriy funksiya inert deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun o'rinli. H funksiyasi $\dot{\gamma}_{ii}, \gamma_{ij}$ o'zgaruvchilar funksiyasi sifatida qarasak, bunda $\dot{\gamma}_{ii} = \dot{\epsilon}_i$, uholda (3.8) tenglamadan quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{dH}{d\dot{\epsilon}_x}, & \tau_{xy} &= \frac{dH}{d\dot{\gamma}_{xy}}, & \sigma_y &= \frac{dH}{d\dot{\epsilon}_y}, \\ \sigma_z &= \frac{dH}{d\dot{\epsilon}_z}, & \tau_{xz} &= \frac{dH}{d\dot{\gamma}_{xz}}, & \tau_{yz} &= \frac{dH}{d\dot{\gamma}_{yz}}.\end{aligned}$$

Inertsionpotensialning mavjudligidan, kuchlanishtenzorikomponentalarivadeformatsiyatezlanishitenzorikomponentalar io`rtasida o`zarobirqiymatlibog`lanishmavjudligikelibchiqadi, uniquyidagicha analitik ko`rinishdadasvirlashmumkin:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= f_1(\dot{\epsilon}_x, \dot{\epsilon}_y, \dot{\epsilon}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}), \\ \sigma_y &= f_2(\dot{\epsilon}_x, \dot{\epsilon}_y, \dot{\epsilon}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}), \\ \sigma_z &= f_3(\dot{\epsilon}_x, \dot{\epsilon}_y, \dot{\epsilon}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}), \\ \tau_{xz} &= f_4(\dot{\epsilon}_x, \dot{\epsilon}_y, \dot{\epsilon}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}), \\ \tau_{yz} &= f_5(\dot{\epsilon}_x, \dot{\epsilon}_y, \dot{\epsilon}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}), \\ \tau_{xy} &= f_6(\dot{\epsilon}_x, \dot{\epsilon}_y, \dot{\epsilon}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}).\end{aligned}$$

Bu funksiyalarni qatorlarga yoyib, hamda qatorning birinchi hadlari bilan chegaralanib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= a_{11}\dot{\epsilon}_x + a_{12}\dot{\epsilon}_y + a_{13}\dot{\epsilon}_z + a_{14}\dot{\gamma}_{xz} + a_{15}\dot{\gamma}_{yz} + a_{16}\dot{\gamma}_{xy}, \\ \sigma_y &= a_{21}\dot{\epsilon}_x + a_{22}\dot{\epsilon}_y + a_{23}\dot{\epsilon}_z + a_{24}\dot{\gamma}_{xz} + a_{25}\dot{\gamma}_{yz} + a_{26}\dot{\gamma}_{xy}, \\ \sigma_z &= a_{31}\dot{\epsilon}_x + a_{32}\dot{\epsilon}_y + a_{33}\dot{\epsilon}_z + a_{34}\dot{\gamma}_{xz} + a_{35}\dot{\gamma}_{yz} + a_{36}\dot{\gamma}_{xy}, \\ \tau_{xz} &= a_{41}\dot{\epsilon}_x + a_{42}\dot{\epsilon}_y + a_{43}\dot{\epsilon}_z + a_{44}\dot{\gamma}_{xz} + a_{45}\dot{\gamma}_{yz} + a_{46}\dot{\gamma}_{xy}, \\ \tau_{yz} &= a_{51}\dot{\epsilon}_x + a_{52}\dot{\epsilon}_y + a_{53}\dot{\epsilon}_z + a_{54}\dot{\gamma}_{xz} + a_{55}\dot{\gamma}_{yz} + a_{56}\dot{\gamma}_{xy}, \\ \tau_{xy} &= a_{61}\dot{\epsilon}_x + a_{62}\dot{\epsilon}_y + a_{63}\dot{\epsilon}_z + a_{64}\dot{\gamma}_{xz} + a_{65}\dot{\gamma}_{yz} + a_{66}\dot{\gamma}_{xy}.\end{aligned}\tag{3.9}$$

Kuchlanishkomponentalarini (3.9) ko`rinishdatasvirlanishi [29,37] ishlardaaniqlanganqonunningasosiy mazmuninixarakterlaydivakuchlanishnideformatsiyatezlanishigaproporsionalligigaguvohlikberadi.

Deformatsiyalanishjarayonigabog`liqholdaa<sub>ij</sub>o`zgarmaslarhamturlichabo`lishim mumkin. Agar  $H$  inertsiya potentsialni oshkor holda ifodalash uchun (3.9) ifodadan foydalanamiz, u holda (3.8) ifoda faqat  $a_{ij} = a_{ji}$  shart bajarilganda to`ladifferensial bo`ladi, H potentsial uchun esa quyidagi ifodani olamiz:

$$\begin{aligned}
 H = & \frac{1}{2} a_{11} \dot{\varepsilon}_x^2 + a_{12} \dot{\varepsilon}_y \dot{\varepsilon}_x + a_{13} \dot{\varepsilon}_z \dot{\varepsilon}_x + a_{14} \dot{\gamma}_{xz} \dot{\varepsilon}_x + a_{15} \dot{\gamma}_{yz} \dot{\varepsilon}_x + \\
 & + a_{16} \dot{\gamma}_{xy} \dot{\varepsilon}_x + \frac{1}{2} a_{22} \dot{\varepsilon}_y^2 + a_{23} \dot{\varepsilon}_z \dot{\varepsilon}_y + a_{24} \dot{\gamma}_{xz} \dot{\varepsilon}_y + a_{25} \dot{\gamma}_{yz} \dot{\varepsilon}_y + \\
 & + a_{26} \dot{\gamma}_{xy} \dot{\varepsilon}_y + \frac{1}{2} a_{33} \dot{\varepsilon}_z^2 + a_{34} \dot{\gamma}_{xz} \dot{\varepsilon}_z + a_{35} \dot{\gamma}_{yz} \dot{\varepsilon}_z + a_{36} \dot{\gamma}_{xy} \dot{\varepsilon}_z + \\
 & + \frac{1}{2} a_{44} \dot{\gamma}_{xz}^2 + a_{45} \dot{\gamma}_{yz} \dot{\gamma}_{xz} + a_{46} \dot{\gamma}_{xy} \dot{\gamma}_{xz} + \frac{1}{2} a_{55} \dot{\gamma}_{yz}^2 + a_{56} \dot{\gamma}_{xy} \dot{\gamma}_{yz} + \\
 & + \frac{1}{2} a_{66} \dot{\gamma}_{xy}^2.
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

Faraz qilaylik, muhitning deformatsion-inertlik xossasi, biror bir tekislik, ayta ylikzo`qibo`ylabo`tuvchitekislikkanisbatansimmetrikbo`lsin. U holda (3.10) inertsiya potentsial uchun ifoda, z yo`nalishiga nisbatan invariant bo`lishi zarur. Agar uni qarama-qarshi yo`nalish bo`ylab yo`naltirsak, u holda  $y$   $z$  va  $W_z$  lar hamda xuddi shuningdek  $\dot{\gamma}_{xz}$  va  $\dot{\gamma}_{yz}$  larning ishorasini o`zgartirishimiz zarur. Shuning uchun tenglikda qatnashgan $\dot{\gamma}_{xz}$ va $\dot{\gamma}_{yz}$ deformatsiya tezlanishlarining birinchi tartibli hadlari nolga aylanishi kerak, bu esa $a_{14}, a_{15}, a_{24}, a_{25}, a_{34}, a_{35}, a_{46}, a_{56}$ koeffitsiyentlarni nol bo`lishini taqozo etadi. U holda zo`qibo`ylabo`tuvchitekislikka, xva yo`qibo`ylab o`tuvchi tekisliklar ham qo`shiladi. Buning uchun $a_{16}, a_{26}, a_{36}, a_{45}$ larni nolga aylanishini bildiradi.

Shunday qilib deformatsion-inertsiya potentsial ifodada faqat to`qqizta o`zgarmaslar saqlanib qoladi. Agar muhitning inertsiya xossalari har bir simmetriya o`qiga nisbatan bir xil bo`lsa (bu H ifodada x, y, z o`qlarini

almashtirishga bog'liq emasligini bildirdi), u holda quyidagi tengliklar bajarilishi zarur $a_{11} = a_{22} = a_{33}$, $a_{44} = a_{55} = a_{66}$, $a_{23} = a_{12} = a_{13}$. Yuqoridagi rifaqazlarqilinganinatisida - deformatsion-inertsion potensial quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$H = \frac{1}{2} a_{11} (\dot{\varepsilon}_x^2 + \dot{\varepsilon}_y^2 + \dot{\varepsilon}_z^2) + a_{12} (\dot{\varepsilon}_y \dot{\varepsilon}_z + \dot{\varepsilon}_z \dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_x \dot{\varepsilon}_y) + \frac{1}{2} a_{44} (\dot{\gamma}_{xz}^2 + \dot{\gamma}_{yz}^2 + \dot{\gamma}_{xy}^2). \quad (3.11)$$

Shunday qilib uchta inertsion o'zgarmaslar qoldi. Oxirgi soddalashtirishni boshqa yo'l bilan o'rnatamiz: inertsion potensial koordinata o'qlariga nisbatan invariant deb hisoblaymiz, ya'ni deformatsiyalanuvchi muhit izotrop.

z koordinata o'qini oz burchakka aylantirib yangi x' , y' , z' o'qlarga ega bo'lamizki, ular yo'naltiruvchi kosinuslar orqali aniqlanadi. Deformatsiya tezlanishi tenzori komponentalari yangi o'qlardagi deformatsiya tezlanishi tenzori komponentalari bilan quyidagicha bog'lanishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_{x'} &= \dot{\varepsilon}_x + \omega \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\varepsilon}_{y'} = \dot{\varepsilon}_y - \omega \dot{\gamma}_{xy}, \\ \dot{\varepsilon}_{z'} &= \dot{\varepsilon}_z, \dot{\gamma}_{y'z'} = \dot{\gamma}_{yz} - \omega \dot{\gamma}_{xz}, \\ \dot{\gamma}_{x'z'} &= \dot{\gamma}_{xz} + \dot{\gamma}_{yz} \omega, \dot{\gamma}_{x'y'} = \dot{\gamma}_{xy} + 2\omega (\dot{\varepsilon}_y - \dot{\varepsilon}_x). \end{aligned}$$

Budeformatsiyatezlanishlarinitenglikkaqo'yibquyidagigaegabo'lamiz:

$$N' = H + \omega (\dot{\varepsilon}_y - \dot{\varepsilon}_x) (2a_{44} + a_{12} - a_{11}) \dot{\gamma}_{xy},$$

Bundan H invariantlik shartini zo'qibo'ylab aylantirishganisbatananiqlaymiz, u quyidagi ifodaning nolga tengligidankelibchiqadi

$$2a_{44} + a_{12} - a_{11}$$

Yangi belgilash kiritib $m_h = a_{44}$ va $m_\theta = a_{12}$, u holda inertsial potensialni quyidagicha yozamiz:

$$2H = m_\theta \dot{\theta}^2 + 2m_h (\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2) + m_h (\dot{\gamma}_{xz}^2 + \dot{\gamma}_{yz}^2 + \dot{\gamma}_{xy}^2).$$

$$\text{bunda } \ddot{\theta} = \ddot{\varepsilon}_x + \ddot{\varepsilon}_y + \ddot{\varepsilon}_z.$$

U holda yakuniy ifoda:

inertsion deformatsiya qonuniga egabo'lamiz,

bunda G ning umumlashgan qonunini va Nyutonning umumlashgan qonunini qonuniga mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= m_\theta \ddot{\theta} + 2m_h \ddot{\epsilon}_x, & \tau_{xz} &= m_h \ddot{\gamma}_{xz}, \\
\sigma_y &= m_\theta \ddot{\theta} + 2m_h \ddot{\epsilon}_y, & \tau_{yz} &= m_h \ddot{\gamma}_{yz}, \\
\sigma_z &= m_\theta \ddot{\theta} + 2m_h \ddot{\epsilon}_z, & \tau_{xy} &= m_h \ddot{\gamma}_{xy}.
\end{aligned} \tag{3.12}$$

Ko`chish deformatsiyasi tezlanishi va urinma kuchlanishning proporsionalligidan kuchlanish tenzori va deformatsiya tezlanishlarining bosh o`qlari ustma-ust turishi kelib chiqadi. Koordinata o`qlarini almashtirishlarida ham kuchlanish uchun, ham deformatsiya tezlanishi uchun o`tish matritsasi bir xil bo`ladi, u holda (3.12) tenglama o`q yo`nalishining tanlashga nisbatan invariantligi kelib chiqadi.

Deformatsiya tezliklarining komponentalari substansional o`zgarishi (substanssional hosilasi) mos ravishda deformatsiya tezlanishlari komponentalariga teng bo`lishi uchun, ya`ni (3.13-3.16) tenglamalarga ko`ra

$$\left. \begin{aligned}
\frac{\partial W_x}{\partial y} &= \ddot{\epsilon}_x, & \frac{\partial W_y}{\partial z} &= \ddot{\epsilon}_y, & \frac{\partial W_z}{\partial x} &= \ddot{\epsilon}_z, \\
\frac{\partial W_y}{\partial x} + \frac{\partial W_x}{\partial y} &= \ddot{\gamma}_{xy}, & \frac{\partial W_z}{\partial y} + \frac{\partial W_y}{\partial z} &= \ddot{\gamma}_{yz}, & \frac{\partial W_z}{\partial x} + \frac{\partial W_x}{\partial z} &= \ddot{\gamma}_{zx}
\end{aligned} \right\} \tag{3.13}$$

$$\frac{\partial W_z}{\partial y} - \frac{\partial W_y}{\partial z} = \ddot{\omega}_x, \quad \frac{\partial W_x}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial x} = \ddot{\omega}_y, \quad \frac{\partial W_y}{\partial x} - \frac{\partial W_x}{\partial y} = \ddot{\omega}_z, \tag{3.14}$$

$$\left. \begin{aligned}
\frac{d \dot{\epsilon}_x}{dt} &= \ddot{\epsilon}_x, & \frac{d \dot{\epsilon}_y}{dt} &= \ddot{\epsilon}_y, & \frac{d \dot{\epsilon}_z}{dt} &= \ddot{\epsilon}_z, \\
\frac{d \dot{\gamma}_{xy}}{dt} &= \ddot{\gamma}_{xy}, & \frac{d \dot{\gamma}_{yz}}{dt} &= \ddot{\gamma}_{yz}, & \frac{d \dot{\gamma}_{zx}}{dt} &= \ddot{\gamma}_{zx}
\end{aligned} \right\}, \tag{3.15}$$

$$\frac{d \dot{\omega}_x}{dt} = \ddot{\omega}_x, \quad \frac{d \dot{\omega}_y}{dt} = \ddot{\omega}_y, \quad \frac{d \dot{\omega}_z}{dt} = \ddot{\omega}_z \tag{3.16}$$

quyidagi tenglik bajarilishi zarur:

$$\left(\frac{\partial V_x}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial V_y}{\partial x} \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \frac{\partial V_x}{\partial z} = 0,$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\partial V_y}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \frac{\partial V_y}{\partial z} = 0, \\
& \left(\frac{\partial V_z}{\partial z} \right)^2 + \frac{\partial V_x}{\partial z} \frac{\partial V_z}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial z} \frac{\partial V_z}{\partial y} = 0, \\
& \left(\frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \dot{\gamma}_{yz} + \frac{\partial V_x}{\partial z} \frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial V_z}{\partial x} = 0, \\
& \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) \dot{\gamma}_{xy} + \frac{\partial V_z}{\partial y} \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \frac{\partial V_y}{\partial z} = 0, \\
& \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \dot{\gamma}_{zx} + \frac{\partial V_y}{\partial z} \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0, \\
& \left(\frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \dot{\omega}_x + \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial V_z}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial z} \frac{\partial V_y}{\partial x} = 0, \\
& \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \dot{\omega}_y + \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial V_y}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial y} \frac{\partial V_y}{\partial x} = 0, \\
& \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) \dot{\omega}_z + \frac{\partial V_z}{\partial x} \frac{\partial V_y}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial y} \frac{\partial V_x}{\partial z} = 0.
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Shundayqilib,

biztomondankiritilgandeformatsiyanngtezlanishinio`rganish,
nafaqatdeformatsiyatezliklariningmaydonifazovavaqtbo`yichao`zgarishlariyo`lin
i,
balkideformatsionholato`zgarishinikonvektivalmashinuviniqonuniyatlarinio`rnat
ishimkoniniberadi.

$\dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{yz}, \dot{\gamma}_{zx}$ ifodalaruchunharikkalatomoninix, y ; y , z ; z ,
xbo`yichamosravishdadi differensiallasak, quyidagiga ega bo`lamiz:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 \dot{\gamma}_{xy}}{\partial x \partial y} &= \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_x}{\partial y^2}, \quad \frac{\partial^2 \dot{\gamma}_{xy}}{\partial x \partial z} = \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_x}{\partial z^2}, \\
\frac{\partial^2 \dot{\gamma}_{yz}}{\partial y \partial z} &= \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_z}{\partial y^2},
\end{aligned} \tag{3.18}$$

(3.13) ifodadakeltirilgandeformatsiya tezlanishining normal komponentalarini differensiallab:

$$2 \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_x}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \ddot{\gamma}_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \ddot{\gamma}_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \ddot{\gamma}_{yz}}{\partial x} \right),$$

$$2 \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_x}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \ddot{\gamma}_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \ddot{\gamma}_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \ddot{\gamma}_{yz}}{\partial x} \right), \quad (3.19)$$

$$2 \frac{\partial^2 \ddot{\epsilon}_x}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \ddot{\gamma}_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \ddot{\gamma}_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \ddot{\gamma}_{xy}}{\partial z} \right),$$

(3.18) va (3.19) oxirgi(3.13-

3.16)tenglamalarniintegrallanuvchibo`lishiningyetarlivazarurshartlari [37]

hisoblanadivadeformatsiyatezlanishigako`ratezlanishlarmaydoninitiklashimkoni niberadiki

(fizikmohiyatigazidbo`lmaganholda)

deformatsiyatezlanishiixtiyoriybo`laolmasliginibildiradi,

ya`niagarmuhitdamolyarzarrachalarsochilganbo`lsa,

uholdadeformatsiyanishjarayonidaharbirzarrachayangiforma

(shakl)gaegabo`ladivabarcha-barchasibirgalikda (“kelishilgan” tezlanish)

muhitningdeformatsiyanishjarayonidatutashligi (yaxlitligi)

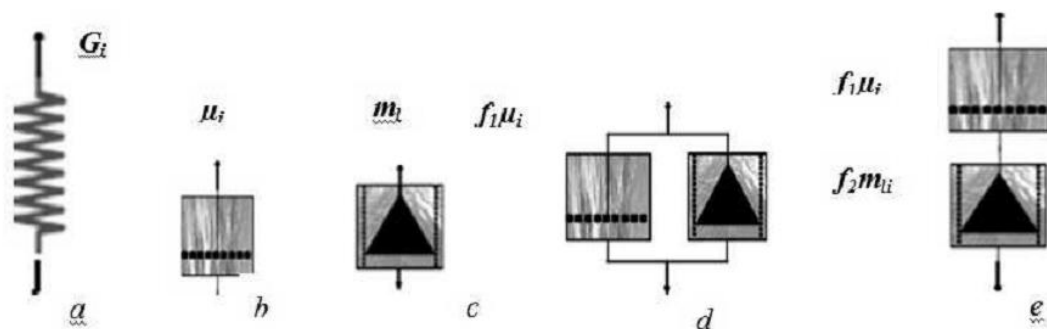
buzilmasligiuchun(3.18) va (3.19)shartlarbajarilishizarur.

Shunday qilib, fundamental reologik qonunning mavjudligi nazariy isbotlandi va uning tenzor ko`rinishdagi shakli quyidagicha

$$\tau_{ij} = m_{\ell} \dot{\gamma}_{ij}. \quad (3.20)$$

[28] ishga ko`ra (3.20) modelning mexanik elementi ishlab chiqilgan bo`lib, u perforirlangan devorli silindrni ichiga joylashgan massiv aylanma konusdan iborat. Massiv konusni botirganda yoki yuqoriga (yuzaga) ko`targanda suyuqliklarning siqilishi ro`y beradi (silindr orasidagi fazoda). Mana shu tor (konus harakatiga qarama-qarshi tomon bo`ylab) fazoda suyuqlik tezlanma deformatsiyanadi. Suyuqlikningchiziqlizichligi  $m_{\ell}$ , qancha katta bo`lsa, shuncha qarshilik katta bo`ladi. (3.1-rasm, a, b, c)

Anʻanaviy reologiya metodlaridan birini qoʻllab, yaʼni mexanik elementlarini ular orqali (yaʼni oʻzida fundamental reologik qonunlarni ifodalaydigan) parallel va ketma-ket ulab (3.1-rasm, *d*, *e*), turli murakkab deformatsiyalanuvchi muhitlar modellarini qurish mumkin. Keyingi boʻlimda xuddi shunday ikkita Nyuton va I.N. Husanov mexanik modellari ketma-ket ulanganda hosil boʻladigan model qaralgan.



Расм 3.1 Механик элементлар *a*, *b*, *c*. Ньютона ва деформацион инертилик элементларини параллел ва кетма-кет улаш *d*, *e*.

3.2. Yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlarning retardatsion va relaksatsion modellari tadqiqi.

Nyuton va I.N.Xusanovning mexanik elementlarini ketma-ket ulash orqali (2.4) tenglamani olishimiz mumkin.

$$\tau_{Kh_1} = \tau_N + \tau_{Kh} = f_1 \mu_i \dot{\gamma} + f_2 m_{ei} \ddot{\gamma} \quad (3.21)$$

bunda m_{ei} -muhitning chiziqli zichligi, uning yechimi quyidagi koʻrinishga ega boʻladi.

$$\dot{\gamma} = e^{\frac{f_1 \mu_i}{f_2 m_{ei}} t} \left(\dot{\gamma}_0 + \frac{1}{f_2 m_{ei}} - \int \tau_{Kh_1} e^{\frac{f_1 \mu_i}{f_2 m_{ei}} t} dt \right)$$

bunda $\dot{\gamma}_0$ – deformatsiya tezligining boshlangʻich qiymati.

Agar $\tau_{Kh_1} = \gamma_0 = \text{const}$ boʻlsa, u holda

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau_c}{f_1 \mu_i} + \left(\frac{\tau_0 - \tau_c}{f_1 \mu_i} \right) \exp \left(- \frac{t}{t_{ret(Kh)}} \right) \quad (3.22)$$

bu yerda $t_{ret(Kh)} = \frac{f_2 m_{eis}}{f_1 \mu_i}$

Agar $\tau_c = \tau_0 = \mu \dot{\gamma}_0$ bo'lsa,

uholda Nyuton suyuqlik bistatik muvozanatga ega bo'lamiz: $\tau_c = \mu \dot{\gamma}$. Bundan kelib chiqadiki bu retardatsion model, suyuqlik modeli bo'lib, uning chiziqli zichligi suyuqlik zarrachalarining molyar zichligi hisoblanadi. Agar $\tau_c < \tau_0$ bo'lsa, deformatsiya tezligi doimiy kamayadi, agar $\tau_c > \tau_0$ bo'lsa, deformatsiya tezligi ortib boradi. Agar $t_{ret(Kh)}$ juda kata bo'lsa, u holda yopishqoq ta'sirdan so'ng (retardatsiya) jarayoni asta suyuqliklarni haydash sifatida qarash mumkin yoki nostatsionar muhit sifatida qarash mumkin. Bundan kelib chiqadiki, suyuqlik reologik xossalarga ega hamda bir onda deformatsiya tezligi bilan aniqlanmaydi.

$t = \infty$ da deformatsiya tezligi τ_c/μ qiymatga erishadi. Bundan, retardatsion modelda deformatsiya tezligi bir onda rivojlanmaydi, kuch ta'siri natijasida yopishqoq ta'sir oldi (relaksatsiya) jarayoni ushlanib qoladi, $t_{ret(Kh)}$ miqdor yopishqoq ta'sirdan so'ng (retardatsiya) vaqtni ifodalaydi. Agar kuchlanishni yechsak (olsak) $\tau_c = 0$, u holda deformatsiya tezligi ta'sirdan so'ng (relaksatsiya) qonuniga ko'ra teskari ta'sirdan so'ngi jarayonda $t = \infty$ da to'la yo'qoladi. Agar $t_{ret(Kh)} = \frac{f_2 m_{ei}}{f_1 \mu_i}$ juda ham katta bo'lmasa, u holda qandaydir vaqt oralig'ida jarayon deyarli to'xtaydi.

Retardatsion model yechimini tahlili shuni ko'rsatadiki, bunday suyuqliklar yopishqoq Nyuton suyuqliklaridan farqli qo'shimcha biror qarshilikka ega bo'ladi. Bu xossa deformatsion inertlik deb ataladi.

Yuqorida keltirilgan kuchlanish va deformatsiya tezliklari deviatorining rivojlantirilgan ko'rinishlari bu tenzorlarning izotrop komponentalari uchun ham qo'llanilishi mumkin.

Eng sodda yopishqoq-inert relaksatsiyalanuvchi muhit ($f_1\mu_i$ va f_2m_{ei} doimiy bo'lgan holda) quyidagi munosabat orqali ifodalanadi:

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\tau}}{f_1\mu_{im}} + \frac{\tau}{f_2m_{ei}} \quad (3.23)$$

Bunda $f_1\mu_{im}$ -shakllangan mollar (bir necha minglab molekulalar to'plami) yopishqoqligi

Bu differensial tenglama τ kuchlanishga nisbatan chiziqli differensial tenglama hisoblanadi. Uning yechimi esa

$$\tau = e^{-\frac{f_1\mu_{im}}{f_2m_{ts}}t} \left(\tau_0 + f_1\mu_{im} \int \dot{\gamma} e^{\frac{f_1\mu_{im}}{f_2m_{ts}}t} dt \right)$$

Bunda τ_0 –boshlang'ich kuchlanish. Deformatsiya tezlanishi doimiy bo'lsin, u holda $\ddot{\tau} = \ddot{\tau}_0 = \text{const}$ hamda yechim quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\tau = (\tau_0 - f_2m_{li}\ddot{\gamma}_0)e^{-\frac{t}{t_{rel(Kh)}}} \quad \text{bunda } t_{rel(Kh)} = \frac{f_2m_{lim}}{f_1\mu_{im}} \quad (3.24)$$

Bu yechim grafigi kuchlanish (funksiyasi)ning vaqtga bog'liq egri chiziqlar oilasidan iborat. Agar $\ddot{\gamma} = \frac{\tau_0}{f_2m_{li}}$ bo'lsa, u holda muvozanatlashgan deformatsiyaning tezlanishi kuzatiladi. Bu jism qandaydir bir yopishqoqlikka, ya'ni inert yopishqoqlikka ega bo'ladiki, u strukturalangan inert mollar shakllanishining miqdori bilan aniqlanadi. Agar qandaydir biror τ_0 kuchlanish ta'sirida jism (modda)da tezlanma deformatsiya vujudga kelsa va keyinchalik deformatsiya tezligi doimiy bo'lib qolsa ($\ddot{\gamma} = 0$), u holda kuchlanish

relaksatsiya tenglamasiga muvofiq $\tau = \tau_0 e^{-\frac{t}{t_{rel}(Kh_1)}}$ ga teng, bunda $t_{rel}(Kh_1)$ - relaksatsiya vaqti.

Agar $\ddot{\gamma}_0 > \frac{\tau_0}{f_2 m_{l_i}}$ bo'lsa, u holda kuchlanish o'sadi, agar $\ddot{\gamma}_0 < \frac{\tau_0}{f_2 m_{l_i}}$ bo'lsa, u holda shunday kamayib boradiki, qachonki uning qiymati o'zgarmas holga yetganicha, ya'ni $\dot{\tau} = \tau_0$ va bundan $\tau = \dot{\tau}_0 t$,

u holda deformatsiya tezligi quyidagi qonun bo'yicha o'sadi:

$$\dot{\gamma}(t) = \frac{\dot{\tau}_0}{f_1 \mu_{im}} \left(t + \frac{t^2}{2t_{rel}(Kh_{1m})} \right) = \frac{\tau}{f_1 \mu_{im}} \left(1 + \frac{1}{2t_{rel}(Kh_{1m})} \right)$$

Relaksatsiyalanuvchi yopishqoq-inert jism o'zini $t_{rel}(Kh_{1m})$ kattalikka mos holda o'zgaradi, bunda u vaqt masshtabi rolini o'ynaydi. (3.23) tenglamani ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\gamma} &= \frac{1}{f_1 \mu_{im}} \left(\tau + \frac{1}{t_{rel}(Kh_{1m})} \int \tau dt \right) \\ \tau &= f_2 m_{ei} \dot{\gamma} - \dot{\tau} t_{rel}(Kh_{1m}) \end{aligned} \right\}$$

Agar kuzatish davomiyligi juda kichik(oz) ya'ni $t \ll t_{rel}(Kh_{1m})$ bo'lsa, u holda

$\dot{\gamma} = \frac{\tau}{f_1 \mu_{im}}$ bo'ladi, muhit esa o'zini xuddi Nyuton suyuqligidek tutadi. Agar

kuzatish davomiyligi juda katta $t \gg t_{rel}(Kh_{1m})$ bo'lsa, u holda muhit o'zini inert deformatsiyalanuvchi muhit kabi tutadi, ya'ni $\tau_0 = f_2 m_{l_i} \ddot{\gamma}$ qonuniyat bo'yicha muhit deformatsiyalanadi.

Endi biz aralashmani qaraydigan bo'lsak: unda f_3 konsentratsiyali yopishqoq zarrachalar mavjud bo'lsa, u holda (3.21) tenglamaga m_l ning (2.5) tenglamadan qo'yib, hamda (2.3) tenglamani hisobga olsak kuchlanma deformatsion holat uchun (reologik) tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\tau_{ij} = f_1 \mu_i \dot{\gamma}_{ij} + \frac{3r_0^2}{8(\rho + \varphi)a^2} f_2 \mu_i t_h [\rho(v^2 - 1) + \varphi(v^2 - \rho^2)] \ddot{\gamma}_{ij} + f_3 G_i \gamma_{ij}$$

Tenglamani o'ng tomonida qavsdan tashqariga $f_3 \zeta_i$ ni chiqarsak

$$\tau_{ij} = f_3 G_i \left\{ \gamma_{ij} + \frac{f_1 \mu_i}{f_3 G_i} \dot{\gamma}_{ij} + \frac{3r_0^2}{8(\rho + \varphi)a^2} f_2 \mu_i t_h [\rho(v^2 - 1) + \varphi(v^2 - \rho^2)] \ddot{\gamma}_{ij} \right\} \quad (3.25)$$

Bu tenglamada bizga klassik reologiyadan ma'lum bo'lgan ikkita: retardatsiya

vaqti $t_K = \frac{f_1 \mu_i}{f_3 G_i}$ -Kelvin retardatsiya vaqti hamda klassik reologiyadagi

ko'rinishdan farqli yopishqoq suyuqlikning hajmiy reologik xossalari va elastik qattiq jism nisbati keltirilgan. Agar t_K haddan tashqari katta bo'lsa, u holda elastik ta'sirdan so'ng(последействие) sekin oqim sifatida qabul qilinishi mumkin. Shuning uchun bu muhitning elastic deformatsiyasi bir onda rivojlanmasligi, balki ta'sir oldi(предействие)elastiklik mexanizmi natijasida muhit "ushlab" turiladi.

Ikkinchi vaqt elastik-inert retardatsiya vaqti bo'lib u quyidagicha aniqlanadi:

$$t_{ret(Kh_2)}^2 = \frac{f_2 m_{li}}{f_3 G_i} = \frac{f_2 m_{li}}{f_3 G_i} = \frac{3r_0^2 t_n t_k}{8(\rho + \varphi)a^2} [\rho(v^2 - 1) + \varphi(v^2 - \rho^2)]$$

Bunda $t_{ret(Kh_2)}$ –yopishqoq-inert muhit retardatsiya vaqti, $t_K = \frac{f_1 \mu_i}{f_3 \zeta_i}$

munosabatni inobatga olsak oxirgi tenglikni

$$t_{ret(Kh_2)}^2 = \frac{f_2 m_{li}}{f_3 G_i} = \frac{3r_0^2 f_2 \mu_i t_n}{8(\rho + \varphi)a^2} [\rho(v^2 - 1) + \varphi(v^2 - \rho^2)] \text{ ko'rinishda yoza olamiz.}$$

Izotrop struktura uchun $\varphi = 2\rho$ bo'lganligidan va $\frac{\rho}{\rho + \varphi} = \frac{1}{3}$ hamda $t_{ret(Kh_2)}$

ning juda katta qiymatlariga ega bo'lsa, u holda ta'sirdan so'ng(последействие) elastic muvozanatga kelmagan oqim kabi ko'plab yirik kinetic birliklarning

buzilishi hisobiga qaraladi. Shuning uchun bu jarayon muhitning inert qarshilik ko'rsatuvchi deformatsion xossasi deb ataladi.

Shunday qilib bu bo'limda muhitning uch fazadan iborat hamda struktura-mexanikaviy parametrlarini hisobga oladigan kuchlanma-deformatsion holat tenglamasini (HDC) mukammallashtirilgan (rivojlantirilgan), hamda retardatsiya vaqtining analitik ko'rinishi olingan shu bilan birga bu parametrlarning fizikaviy mohiyatini izohlashlari tahlil etilgan.

3.3. Oquvchan muhitlarning umumlashgan modellarini va superpozitsiya prinsipi ishlab chiqish.

Amaliyotda muhitlarning yetarli darajada yopishqoqlik xossalari bilan birga kuchlanish va deformatsiya tezligining ham vaqt, ham fazo bo'yicha o'zgarishiga muhim darajada bog'liq bo'lgan kuchlanma-deformatsion holat(HDC)ga ega muhitlar uchraydi. Ko'p hollarda bu muhitlar deformatsiya tezligi yoki tezlanishi (relaksatsiya xossasi) bog'liq bo'lgan kuchlanishni sezilarli shaklda o'zgarish xossasi mavjud bo'ladi, hamda doimiy kuchlanish (retardatsiya xossasi)da deformatsion holatning o'zgarishi mumkin. Ko'pincha relaksatsiya(предействие) va retardatsiya(последействие) holatlari namoyon bo'lishi, umumiy holda vorisiylik(наследственность)deb ataladiki, oqim jarayonida yopishqoq suyuqliklardan hech qanday farq qilmaydigan muhitlarda ham bu holatlar ro'y berishi kuzatiladi, bu holat konsentratsiyalangan qorishmalar,aralashmalar,yog'lar, turli pastalar, neft, bitumlar va boshqalarda yaqqol ifodalanadi. Qorishmalarning turli darajada molekulyar va molyar uyushishga qarab, relaksatsion va retardatsion o'tashlar sodir bo'ladi.

Mol–termini orqali biz zarrachaning shunday namoyondasini tushunamizki, u katta miqdorda xox bir jinsli xox bir jinsli bo'lmagan muhitning zarrachalaridan iborat bo'lib, shunday bir yaxlit muhitki o'zini fizika-mexanikaviy kabi tutadigan zarrachalar to'plami. Shu sababli qaralayotgan muhitni ikki qismdan, ya'ni bir qismi tartiblanmagan, bog'lanmagan kichik

zarrachalardan, ikkinchi qismi esa bog`lanishli segmentlari va strukturalangan mikro sohaning butun hajmi bo`yicha taqsimlangan turli-turdagi mollardan iborat deb qaraladi. Turli tipdagi molar mos ravishda turli hayotiylik vaqti bilan xarakterlanadi. Kuchlanish o`zgarishi bilan muhitning strukturalangan va strukturalanmagan qismlar orasida zarrachalar sonining qayta taqsimlanish jarayoni sodir bo`ladi, ya`ni erkin zarrachalar va mollarning hajmga nisbatan tarkibi o`zgaradi. Qorishmalar jumlada dispers sistemalar, strukturasi suyuq va qattiq fazalar modeli bo`yicha bayon etiladi. Qattiq fazaning zarrachasi suyuqlik molekulalari hamda erkin joylashgan qattiq faza zarrachalari bilan bog`lanib, bizning tushunchamizdagi mol (bo`lakcha)ni tashkil etadiki, bog`lanishlar to`plami molni namoyon etadi, biroq faqat suyuqlik zarrachalaridan tashkil topgan molga nisbatan ancha barqaror bo`ladi.

Yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi bir qism uzluksiz, boshqa qismi esa turbulent oqimdagi (o`lchamlari bir necha yuz mikrondan bir necha yuz metrgacha yetadigan, turli shakl va massaga ega) kabi mollarga birikkan suyuqliklar hamda disperslangan zarrachalar va ularni o`zaro ishqalanish bilan bog`laydigan ancha yirik kinetic shakllanishlar mavjud suyuqlikdir. Bunda molekulyar shakllanishlar va disperslangan zarrachalar hamda ularni suyuqliklar bog`lovshi komplekslar, mollar deb ataymiz. Bu aralashmalar yopishqoq va elastik deformatsiyalanishdan tashqari inertsia bo`yicha deformatsiyalanadi [6]. Bu hol uchun nisbatan kam zarrachalar to`plami qaytmas yopishqoq deformatsiyani o`shirishni ta`minlaydigan deformatsion inertsia bilan bog`liq yoki aksincha uni aynan shu sababga ko`ra to`xtatib qo`yishi ya`ni deformatsion inertlik tufayli ular qarshilik ko`rsatsa yoki xuddi shu yopishqoqlikning kechuvchi deformatsiyasi orqali oqimda harakatlanadi. Deformatsiyalanadigan muhitlar uchun molekula va mollarning issiqlik harakatida fizik tugun (bog`lanish)lar uzilishi va tiklanish jarayonlari o`zaro muvozanatlashadi. Nagruzka (kuch) qo`yilgandan keyin esa bu muvozanat buziladi va fizik tugunlarning yo`naltirilgan qayta guuruhlaniş jarayoni boshlanadi hamda turli

o'lchamlari va kinetik birlik shakllari zanjiri tuzilma va yemirilishlar vujudga keladi. Buning natijasida bunday muhitlarda ko'plab relaksatsiya va retardatsiya vaqtlarining keng to'plami paydo bo'ladiki, ular bir necha tartibni o'zida qamrab olgan bo'ladi. Bulardan foydalanib, relaksatsiya va retardatsiya jarayonlarida kechadigan muhitlarningdeyarli barcha fizika-mexanikaviy xossalarini aniqlash mumkin.

Muhitlarning strukturaviy tashkil topishining o'ziga xosligi, ya'ni molekulyar va molyar harakatchanlikning turli formalarining mavjudligi har biri u yoki bu struktura elementlariga bog'liq bo'lgan turli relaksatsion va retardatsion jarayonlarni kuzatishga olib keladi. Umuman olganda bunday muhitlarni o'zini "tutishi", relaksatsiya va retardatsiya vaqtlari spektri bilan bayon etiladiki: kichik masshtabli molekula va makromolekulalar harakatiga javobgar bo'lgan jadal kechadigan relaksatsion va retardatsion jarayonlar hamda harakatchanlikka bog'liq yanada yirik vakili – mollar, ya'ni molekulyar strukturalardan yuqori turli elementlar, dispers faza zarrachalari va uning komplekslari yetarlicha katta bo'lib, katta diapozonli vaqt shkalasida taqsimlanadi. Shunga mos holda ularning relaksatsiya va retardatsiya jarayonlari nisbatan sekiroq kechadi, ya'ni bu muhitlarda deformatsion inertlikning katta tuzilmalari yaqqol namoyon bo'ladi. Shunga ko'ra, oquvchan muhitlarda relaksatsion va retardatsion makroskopik namoyon jarayonlarini molekulyar va molyar harakatchanligini, kinetik o'lchamlari farqi – mollar orqali ifodalanadi. Eritmalar, smolalar, parafinli neftlar va boshqa bir qancha ko'p fazali muhitlar ekspluatatsion xossalari va ularni bashorat(прогноз) qilishni xususan gil aralashmalari turli o'lcham va jinsli zarrachalar hamda ularning strukturaviy shakllanishining eng asosiysi sekin kechadigan relaksatsiya va retardatsiya jarayonlarini tasniflaydi. Shu sababli fizik va gidrodinamik relaksatsiya sekin kechadigan jarayonlariga mos bu sohada relaksatsion spektrometriya metodlarini rivojlantirish zaruriyativujudga keladi. Tiksotrop shakllanish va jins strukturasining yemirilishi gil

aralashmalarida kuzatiladiki, ular sekin kechadigan relaksatsion jarayonlar bo'yicha namoyon bo'lishi qonuniyatlari hozirda yetarli darajada o'rganilmagan.

Shunisi ravshanki, zamonaviy hisoblash metodlari va bashorat etish metodlari, barcha relaksatsion va retardatsion mexanizmlarini hamda turli suyuqliklar va aralashmalar (ayniqsa o'zgaruvchan va uzoq vaqt ekspluatatsiya sharoitida bo'lgan) kinetic xarakteristikalarini bilmasdan turib ishlab chiqish mumkin emas.

Hozirgi vaqtda yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar oqimini bashorat qilishda zarur bo'lgan "oquvchan muhitlar uchun asosiy relaksatsion va retardatsion o'tishlar" qonuniyatlari o'rnatilgan.

Aralashmalarda relaksatsiya va retardatsiya jarayonlari sistemani muvozanatda bo'lmagan holatdan muvozanat holatiga o'tishi ham teskari o'tishni xarakterlovchi yuqorida bayon etilgan molekulyar va molyar, turli kinetik birlik o'lchamlari hamda harakatchanlikka bog'liq.

[34] ishda turli sarf datchiklari yordamida aralashmalarni trubaprovodlarda oqimi sinchiklab eksperimental tadqiq qilingan eksperiment natijalari 1-a,b rasmlarda keltirilgan rasmdan ko'rinib turibdiki kuchlanish va oqim sarfi trubaprovodda zinali shaklda o'zgaradi, bunda har bir keyingi qiymat oldingi bosimlar farqi yig'indisidan iborat. Shu bilan biirga 1 a va b rasmlardan kuch qo'yilishi (нагружения) va kuch yechilishi (разгрузка)chiziqlari gisterezis petlyasi ko'rinishiga ega ekanligi kelib chiqadi. Bu natijalar va jarayonlarning fizik mohiyati oquvchan muhitlar uchun o'nglamoq prinsipini quyidagi tartibda shakllantirishga asos bo'ladi:

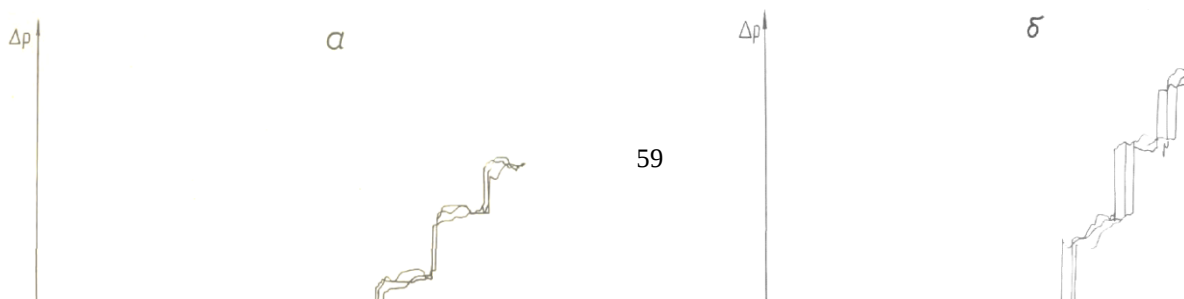


Рис. 1а

Рис. 1б

Agar $\dot{\gamma}_1(t)$ -deformatsiya tezligi ($\tau_1(t)$ -kuchlanishdan vujudga kelgan), $\dot{\gamma}_2(t)$ -deformatsiya tezligi ($\tau_2(t)$ -kuchlanishdan vujudga kelgan) bo'lsa, u holda superpozitsiya prinsipi $\dot{\gamma}_1(t) + \dot{\gamma}_2(t)$ yig'indi, $\tau_1(t)$ va $\tau_2(t)$ kuchlanishlar birgalikda tasir etganda hosil bo'ladigan to'la deformatsiya tezligi ekanligini o'rnatadi.

Tezlanma deformatsiya $\Phi_\tau(t - t')$ funksiyasi tushunchasini kiritib deformatsiya tezligini birlik kuchlanish $t = 0$ momentda qo'yilganda vaqt bo'yicha o'zgarishi kabi aniqlanadi va deformatsiya tezligi orttirmasining yig'indisi (kuchlanish orttirmasi orqali vujudga kelgan) o'nglash qonuni asosida (yuqorida shakllangan), kuchlanish, deformatsiya tezligi hamda vaqt orasidagi bog'lanish ifodasini olamiz:

$$\dot{\gamma}(t) = \frac{\tau_0}{\mu_0} + \int_0^t \Phi(t - t') \tau(t') dt' \quad (3.26)$$

Bunda $\Phi(t - t')$ – integral tenglamaning yadrosi (deformatsion tezlanish funksiyasi), t' -kuchni qo'yish momenti, t –vaqt (deformatsiya tezligi aniqlanadigan vaqt)

(3.26) integrodifferensial tenglamani τ – ga nisbatan yechib

$$\tau(t) = \mu_0 \dot{\gamma}_0 - \int_0^t H(t-t') \dot{\gamma}(t') dt' \quad (3.27)$$

(3.27) tenglamaning o'ng tomoni birinchi hadi deformatsiya oniy tezligini, hamda muhit boshlang'ich kuchlanishni, ikkinchi hadi esa deformatsiya tezlanishi va kuchlanishni vaqt bo'yicha o'zgarishini aks ettiradi.

$\tau(t') = \text{const}$ doimiy kuchlanish va deformatsiya tezligi ham xuddi shunday $\dot{\gamma}(t') = \text{const}$ bo'lsa (3.26) va (3.27) tenglamalar quyidagicha yoziladi:

$$\dot{\gamma}(t) = \frac{\tau_0}{\mu_0} + \tau_0 \int_0^t \Phi(t) dt', \quad (3.28)$$

$$\tau(t) = \mu_0 \dot{\gamma}_0 - \dot{\gamma}_0 \int_0^t H(t) dt' \quad (3.29)$$

(3.29) tenglamadan muhitning fizika-ximiyaviy xossalarining oqim jarayonida o'zgarishi,

ya'ni muhitning oqa boshlashi bilan dinamik yopishqoqlik koeffitsiyentining

o'zgarishi $\tau(t) = \dot{\gamma}_0 \left[\mu_0 - \int_0^t H(t) dt' \right] = \mu(t) \dot{\gamma}_0$ bo'ladi. (2.3) va (2.4) tengliklarni t

bo'yicha differensiallab hamda $\tau_0 = 1$ va $\dot{\gamma}_0 = 1$ deb qabul qilib:

$\Phi(t) = \frac{d\dot{\gamma}}{dt} = \ddot{\gamma}$; $H(t) = \frac{d\tau}{dt}$, hosil qilamiz, ya'ni $\Phi(t)$ integral tenglamaning

yadrosi va $H(t)$ uning rezolventasi $\tau_0 = 1$ va $\dot{\gamma}_0 = 1$ hollarda mos ravishda deformatsiya tezligi va kuchlanishning o'zgarishini ifodalaydi.

Real muhitlarning xossalaridan kelib chiqib $\Phi(t)$ funksiya quyidagi shartlarni qanoatlantirilishi kerak: $t = 0$ da $\Phi(0) = \infty$, $t = \infty$ da $\Phi(\infty) = 0$.

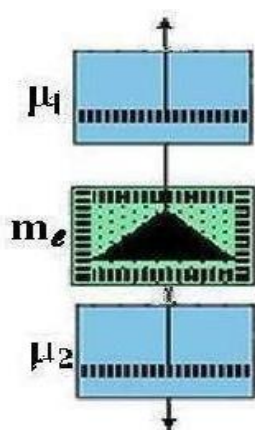
[38, 40] ishlarda relaksatsion va retardatsion modellar yopishqoq-inert deformatsion muhitlar oqimining differensial shakldaagi umumlashgan tenglamalari keltirilgan.

$\Phi(t)$ va $H(t)$ funksiyalarning ko'rinishlariga bog'liq holda $t = 0$ uchun ko'rsatilgan tenglamalardan Nyutonning yopishqoq oqim qonunini olamiz.

Agar yadroni $\Phi(t-t') = ce^{-\alpha(t-t')}$ debqabul qilsak, u holda (3.26) tenglikdan Lisersichi, Djeffris, Oldroyd va Husanov reologik tenglamalari ko'rinishidagi tenglamalarni olamiz:

$$a_1 \ddot{\gamma} + a_2 \dot{\gamma} + a_3 \ddot{\gamma} + a_4 \dot{\gamma} = 0. \quad (3.30)$$

Yopishqoq-elastik bo'lgan Lisersichi, Djeffris, Oldroyd reologik modellaridan farqli ravishda, ushbu ishda qaralayotgan I.Husanovning modeli yopishqoq-inert bo'lib, deformatsion inertlikni hisobga oladi. Nyutonning ikkita mexanik elementi va deformatsion inertlik elementidan foydalanib mexanik model quraylik.



3.2.- rasm Nyutonning ikkita mexanik elementi va deformatsion inertlik elementiniketma-ket ulashdagimodel.

Birinchi element – Nyutonning elementi, perforirlangan porshen μ_1 yopishqoqli suyuqlikda harakat qiladi, unga ketma-ket kombinatsiya bilan μ_2 yopishqoqli suyuqlikda harakatlanuvchi ikkinchi porshen ulangan hamda m_l chiziqli zichlika proporsionallik koeffitsiyentli inertsiya bo'yicha deformatsiyalanuvchi muhitda harakatlanuvchi aylanish konusi ketma-ket ulangan (3.2-rasm).

Agar birinchi porshenning erkin oxiriga τ kuchlanishni yuklasak, inertsiya bo'yicha deformatsiyalanuvchi oquvchanlik qobiliyatiga ega idish oxiriga μ_2 yopishqoqlikka ega suyuqlikda joylashgan erkin ikkinchi porshen mahkamlasak, u holda $\dot{\gamma}$ – butun sistemaning deformatsiya tezligi birinchi sistema suyuqlik modelidan $\dot{\gamma}_1 = \tau / \mu_1$ deformatsiya tezligi va ikkinchi sistema suyuqlik modelidan $\dot{\gamma}_2 = \tau_2 / \mu_2$. Bu yerda τ_2 –kuchlanish (μ_2 yopishqoqli suyuqlikka ta'sir qiluvchi kuchlanish). Suyuqlikning deformatsiyalashuviga qarshilik ko'rsatuvchi

(aylanish konusining ko`chishida qarshilik ko`rsatuvchi) inert qarshilik $m_\ell \ddot{\gamma}$ vujudga keladi, bunda $\ddot{\gamma}$ - muhitning tezlanma deformatsiyasi.

U holda $\tau = \tau_2 + m_\ell \ddot{\gamma}_2$ kabi yozishimiz mumkin.

Boshqa tomondan, $\frac{\tau_2}{\mu_2} = \dot{\gamma}_2 = \dot{\gamma} - \frac{\tau}{\mu_1}, \quad \ddot{\gamma}_2 = \ddot{\gamma} - \frac{1}{\mu_1} \dot{\tau}.$

Bu ifodalarni oldingi munosabatga qo`ysak:

$$\tau = \mu_2 \left(\dot{\gamma} - \frac{\tau}{\mu_1} \right) + m_\ell \left(\ddot{\gamma} - \frac{1}{\mu_1} \dot{\tau} \right)$$

yoki ularni soddalashtirib, $\dot{\tau} + \frac{\mu_1 + \mu_2}{m_\ell} \tau = \mu_1 \ddot{\gamma} + \frac{\mu_1 \mu_2}{m_\ell} \dot{\gamma}$ ni olamiz.

Oxirgi tenglikni quyidagi ko`rinishda yozamiz:

$$t_{re\ell(Kh_1)} \dot{\tau} + (\mu_1 + \mu_2) \tau / \mu_1 = \mu_2 (\dot{\gamma} + t_{ret(Kh_2)} \ddot{\gamma}), \quad (3.31)$$

Bu, agar quyidagi o`zgarishlarni kiritsak (3.30) tenglama bilan bir xil ko`rinishga ega bo`ladi:

$$a_1 = t_{re\ell(Kh_1)}, \quad a_2 = (\mu_1 + \mu_2) / \mu_1, \quad a_3 = -m_\ell, \quad a_4 = -\mu_2,$$

bunda $t_{re\ell(Kh_1)} = m_\ell / \mu_1, \quad t_{ret(Kh_2)} = m_\ell / \mu_2.$

(3.27) tenglamani quyidagi ko`rinishda yozsak:

$$\dot{\tau} + \frac{\mu_1 + \mu_2}{m_\ell} \tau = \frac{\mu_1 \mu_2}{m_\ell} \dot{\gamma} + \mu_1 \ddot{\gamma}, \quad (3.32)$$

$r = \frac{\mu_1 + \mu_2}{m_\ell}$ - kuchlanish relaksatsiyalari intensivligi koeffitsiyenti, $n = \mu_2 / m_\ell$ -

ta`sirdan so`ng yopishqoqlikning intensivlik koeffitsiyenti. (3.32) tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$\dot{\tau} + r \tau = \mu_1 \ddot{\gamma} + \mu_1 n \dot{\gamma} \quad (3.33)$$

bunda $r = (t_{rel(Kh_1)} + t_{ret(Kh_2)}) / t_{rel(Kh_1)} \cdot t_{ret(Kh_2)}$, $n = 1 / t_{ret(Kh_2)}$

relaksatsiya tezligi r ta'sirdan so'ng yopishqoqlikning tezligidan katta bo'lishi kelib chiqadi: $(\mu_1 + \mu_2) / m_\ell > \mu_2 / m_\ell$ bundan $\mu_1 / m_\ell > 0$ bo'lishi uchun μ_1 va m_ℓ larning musbat bo'lishi kelib chiqadi, chunki energiya dissipatsiyasi ro'y beradi, agar $m_\ell < 0$ bo'lsa, u holda muhit deformatsiya jarayonida energiya to'playdi.

Mexanik modellar uchun (3.33) bog'lanishni topganimiz integral bog'lanishning xususiy holi ekanligini namoyon etadi, xuddi shunda Boltsman-Volterra bog'lanishlari ham quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$\dot{\gamma}(t) = \frac{\tau(t)}{\mu} + \int_{-\infty}^t \Phi(t, t') \tau(t') dt', \quad \tau(t) = \mu \dot{\gamma}(t) - \int_{-\infty}^t H(t, t') \mu \dot{\gamma}(t') dt'. \quad (3.34)$$

Bunda mos ravishda $\Phi(t, t')$ yadroni (yopishqoq vorisiylik funksiyasi) tanlaganda (yoki $H(t, t')$ uning rezolventasi). Haqiqatdan ham τ va $\dot{\gamma}$ funksiyalarni vaqt bo'yicha munosabatlari (3.35) quyidagicha tasvirlash mumkin:

$$e^{-nt} \frac{d}{dt} (e^{nt} \mu \dot{\gamma}) = \frac{d\tau}{dt} + r \tau \quad (3.35)$$

$$\text{bundan } \mu \dot{\gamma}(t) = e^{-nt} \left\{ c + \int_{-\infty}^t e^{nt'} \left[\frac{d\tau(t')}{dt'} + r \tau(t') \right] dt' \right\}.$$

Bu ifodada $e^{nt'}$ ko'paytuvchini borligi tenglikni o'ng tomonida joylashgan $(-\infty$ va t' gacha chegarada) integralni aniqlash imkonini beradi.

$\int_{-\infty}^t e^{nt} \frac{d\tau(t')}{dt'} dt' = e^{nt} \tau(t') \Big|_{-\infty}^t - \int_{-\infty}^t n e^{nt'} \tau(t') dt'$, oxirgi munosabatdan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\mu \dot{\gamma}(t) = c e^{-nt} + \tau(t) + \int_{-\infty}^t (r - n) e^{-n(t-t')} \tau(t') dt'. \quad (3.36)$$

C konstanta (o'zgarmasni)ni nolga teng deb hisoblash o'rinli, chunki τ va $\dot{\gamma}$ ($t \rightarrow -\infty$) nolga intiladi (bu muhitning tabiiy holi). Natijada integral munosabatga ega bo'lamiz:

$$\dot{\gamma}(t) = \frac{\tau(t)}{\mu} + \frac{1}{\mu} \int_{-\infty}^t (r - n) e^{-n(t-t')} \tau(t') dt', \quad (3.37)$$

Bunda yadro (vorisiylik funksiyasi) quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\Phi(t, t') = (r - n) e^{-n(t-t')} \quad (3.38)$$

Xuddi shuningdek boshqa integral munosabat

$$\tau(t) = \mu \dot{\gamma}(t) + \int_{-\infty}^t H(t, t') \mu \dot{\gamma}(t') dt', \quad (3.39)$$

$$\text{bunda } H(t, t') = -(r - n) e^{-n(t-t')} J^{\infty} \quad (3.40)$$

(3.38) ning yadro rezolventasi hisoblanadi.

Teskarisi o'rinli bo'lishini ko'rish ham qiyin emas:

$$\dot{\gamma}(t) = \frac{\tau(t)}{\mu} + \frac{1}{\mu} \int_{-\infty}^t \Phi(t, t') \tau(t') dt', \quad (3.41)$$

$\Phi(t, t') = A e^{-\alpha(t-t')}$ ko'rinishdagi yadroga ega integral tenglamani differensiallash orqali τ va $\dot{\gamma}$ ni bog'lovchi, hamda $\tau, \dot{\gamma}, \ddot{\tau}, \ddot{\gamma}$ larning chiziqli kombinatsiyalarini o'zida qamrab olgan differensial tenglamaga keltirilishi mumkin.

(3.37), (3.38) va (3.39) tenglamalarni ko'rinishiga qarab shunday bir xulosaga kelamizki, ular τ_n cheklik kuchlanishdansa o'ngvujudgakeladidebaniqlanadiganplastikoqimniifo daetmaydi. Buxossa [35] analogiyagako'rakeyinchalikyopishqoq-inertdeformatsiyalanuvchimuhitlarningumumlashgananalitikmodelishaklinihi

sobgaolib, yopishqoq-plastik-inertdeformatsiyalanuvchimoddalaroqiminibayonetishdafoydalanishmumkin. Garchi plastiklik mazmuniga ko'ra muhitlarning deformatsion inertlikning umumiy xossasining xususiy bir holi hisoblanadi. Shunga qaramasdan, yuqorida keltirilgan umumlashtirish shunisi bilan ahamiyatliki, yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar oqimi qonunlarini, deformatsion inertlik hisoblash muhim bo'lgan hollar uchun yanada yaqqolroq tushunish imkonini beradi.

Yopishqoq-plastik muhitlar oqimi quyidagi tenglama orqali bayon etiladi:

$$\tau = a + \mu_n \dot{\gamma}, \quad \text{bunda } a = (\mu - \mu_n) \tau_0 / \mu, \quad (3.42)$$

$\mu_n = \mu$ bo'lganda $\tau = \mu \dot{\gamma}$ Nyuton suyuqligini olamiz, agar $\mu_n \ll \mu$ va $a = \tau_0$ bo'lsa, u holda

$$\tau = \tau_0 + \mu_n \dot{\gamma} \quad (3.43)$$

Tenglamagaega bo'lamiz, bu Bingam jismini yopishqoq-plastik oqimi, bunda μ - dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti, μ_n - plastic suyuqlikning yopishqoqlik koeffitsiyenti.

Agar τ kuchlanish nisega $\tau' > \tau_0$ qiymatga erishsa, vashunda so'ng monoton kamaysa, u holda deformatsiya tezligi yopishqoq suyuqlik qonuniga bo'yicha kamayadi.

$$\dot{\gamma}' - \dot{\gamma} = (\tau' - \tau) / \mu, \quad (3.44)$$

$\dot{\gamma}' - \tau'$ kuchlanishga erishganda deformatsiya tezligining qiymati (3.44) da $\tau = 0$ da suyuqlik oqishi kuzatiladi, $\tau = 0$ da deformatsiya tezligi esa $\dot{\gamma}_0$ ga teng bo'ladi, ya'ni $\dot{\gamma}_0 = \dot{\gamma}' - \tau' / \mu$.

Agar kuchlanishdan ozod (разгрузка) etilgandan so'ng τ ni yana oshirsak, u holda deformatsiya tezligi (3.44) tenglamada keltirilgan qonunga mos holda

($\dot{\gamma}$ gacha yopishqoq suyuqlik kabi) o'sadi. So'ngra (3.43) formulagamosqonunbo'yichayopishqoq–plastikoqimrivojlanibboradi, hamdayangioquvchanlikchegarasirolini $\tau' > \tau_0$ kuchlanishbo'ladi. Chunkioshibbor ayotgankuchlanishta siridayopishqoq–plastik suyuqlikstrukturasi brogan sari yanadako'proqbuzilibboradiki, buhodisani elastik jismlardagikabimustahkamlikemas, balkistrukturabog'lanishlariningzaiflashuvi (kuchsizlashuvi)va uning emirilishi deb atash mumkin.

Agar to'la razgruzkadan so'ng τ kuchlanishni o'zgartirsak, manfiy qiymatlar tomon muhit $\tau'' = -(2\tau_0 - \tau') < 0$ qiymatga erishgunga qadar oqayotgan bo'lsa, (aniqlik maqsadida $\tau' < 2\tau_0$), deformatsiya tezligining o'zgarishi esa (3.44) qonuniyatga muvofiq bo'ladi. Keyinchalik kuchlanishni kamaytirganda, deformatsiya tezligi $\dot{\gamma} = -\tau_0 / \mu + (\tau + \tau_s) / \mu_n$ qonun bo'yicha o'zgarsin.

Bu $\tau = -a + \mu_n \dot{\gamma}$ qonuniyatga teng kuchli, ya'ni muhit yana yopishqoq–plastik muhitga aylanadi. Agar kuchlanishni u qandaydir qiymatga $\tau''' < \tau'' < 0$ erishgandan keyin yana oshirsak, u holda deformatsiya tezligi quyidagi munosabat bo'yicha oshadi: $\dot{\gamma} - \dot{\gamma}''' = (\tau + \tau''') / \mu$,

bunda $\tau''' = -a + \mu_n \dot{\gamma}'''$, $\tau - \tau'''$ ayirma $2\tau_0$ qiymatdan oshmaguncha, so'ngra yana $\tau = a + \mu_n \dot{\gamma}$ qonuni hamda yangi oquvchanlik chegarasi $\tau''' + 2\tau_0$ bo'yicha o'zgaradi. Kuchlanishning noldan $\tau' > \tau_0$ qiymatgacha sekin o'zgarganda, keyinchalik $\tau''' = -\tau'$ qiymatgacha kamayganida ham τ''' qiymatdan τ' qiymatgacha oshganda gisterezis petlyasi vujudga keladi.

Yuqorida keltirilgan munosabatlar takroriy siljish oqimida bog'lanishlar chegarasining kuchsizlanishi “yumshashi” xossasining oshishi qamrab oladi.

Muhitlarning katta deformatsiya tezlanishlarida $d\tau = \mu d\dot{\gamma}$ yoki $\tau = \mu \dot{\gamma} + const$ munosabatlar τ va $\dot{\gamma}$ hamjihatlik(birgalik)dagi qiymatlari uchun saqlanadi (mos ravishda sohaning ichki nuqtalarini $\tau = \pm a + \mu_n \dot{\gamma}$ to'g'ri chiziqlar bilan chegaralangan).

Yuqorida yodga olingan $\dot{\tau}$ va $\dot{\gamma}$ -kuchlanish va deformatsiya tezligining o'zgarishi muhit oqimi uchun hech qanday rol o'ynamaydi, hamda oqim faqat yopishqoq xarakterga ega bo'ladi.

Aksincha, deformatsiyaning plastik oqimi u yoki bu ishora bo'yicha oshishida, quyidagi differensial tenglama o'rinli bo'ladi:

$$\dot{\tau} + r\tau = b\dot{\gamma} + bn\dot{\gamma} + \psi, \quad (3.45)$$

bunda r, b, n va ψ – muhitning xarakterli konstantalari.

(3.45) tenglik juda sekin oqadigan plastik oqimlar uchun ham o'rinli bo'lganidan, oxirgi munosabatni $\tau = \pm a + \mu_n \dot{\gamma}$ bilan taqqoslab $\mu_n = bn / r$, $\psi = \pm ra$ ekanligini olamiz.

Muhitlarning tez oqishi jarayonida, ya'ni $\dot{\tau} = b\dot{\gamma}$ ning yoki $\tau = b\dot{\gamma} + \text{const}$ katta qiymatlarida muhit o'zini yopishqoq muhit kabi tutadi, tabiiyki $b = \mu_1$ deb olinadi.

Shunday qilib $b = \mu_1$, $n = \mu_2 / m_\ell$, $r = (\mu_1 + \mu_2) / m_\ell$, $h = bn / r$,
 $a = \mu_1 \tau_0 / (\mu_1 + \mu_2)$, u holda $\psi = \pm ra = \pm (r-n)\tau_0$ yoki $\psi = \pm \mu_1 \tau_0 / m_h = \pm \tau_0 / t_{re\ell(kh_1)}$,
 $h = \mu_1 \mu_2 / (\mu_1 + \mu_2)$.

Shunday qilib, bu bo'limda vorisiy-deformatsion muhitlar oqimi uchun yangi mexanik modellar olindi, hamda ularning kuchlanma deformatsion holati (HDC) ning o'zgarishi qonuniyatlari, shu bilan birga yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar oqimini tasniflovchi yanada umumiyroq integro-differensial tenglamalari olindi.

III bob xulosasi

Eng umumiy holda energetik nuqtai nazarga ko'ra deformatsiya mohiyatini, muhit deformatsiyasi uchta fizik tushuncha orqali qaralgan. Bulardan biri H inertsiya potensial tushunchasi kiritilgan bo'lib,

uelastikpotensial W_n bilan birga inertsiyal deformatsiya energiyasining to'planishini xarakterlashi bayon etilgan.

Ushbu magistrlik ishida qaralayotgan muhitqaytmas energiyadissipatsiyasidan xoli uchun kuchlanishni deformatsiya tezlanishiga bog'liqligining umumlashganini ko'rib chiqilgan.

Inertsiya potensialning mavjudligidan, kuchlanish tenzorikomponentalarivadeformatsiyatezlanishitenzorikomponentalar io'rtasida o'zaro birqiyamatlibog'lanishmavjudligikelib chiqishi, hamda uning analitik ko'rinishi nazariy yo'l bilan keltirilgan.

Ba'zi bir almashtirishlar va cheklanishlardan so'ng, uchta inertsiya o'zgarmlar qolishi, soddalashtirishlarning turli yo'l bilan o'rnatilgan. Deformatsiya tezlanishi tenzori komponentalari yangi o'qlardagi deformatsiya tezlanishi tenzori komponentalari bilan quyidagicha bog'lanishda bo'ladi.

Ko'chish deformatsiyasi tezlanishi va urinma kuchlanishning proporsionalligidan kuchlanish tenzori hamda deformatsiya tezlanishlarining bosh o'qlari ustma-ust turishi kelib chiqadi. Koordinata o'qlarini almashtirishlarida ham kuchlanish uchun, ham deformatsiya tezlanishi uchun o'tish matritsasi bir xil bo'ladi, u holda uning tenglamasi o'q yo'nalishining tanlashga nisbatan invariantligi ko'rsatilgan.

Retardatsion model yechimini tahlili suyuqliklar yopishqoq Nyuton suyuqliklaridan farqli qo'shimcha biror qarshilikka ega bo'lishi xossasi deformatsion inertlik bo'lishi ko'rsatilgan.

XOTIMA

Nyuton suyuqliklar harakatini, oqimini o`rganib turib quyosh sistemasidagi planetalar harakatining modelini yaratishga harakat qildi. Uning modeli quyidagicha edi: suvga solingan silindr quyosh o`rnida, agar silindrning doimiy aylanishi ta`minlansa, harakati asta-sekin uning atrofidagi barcha zarralarga (molekulalarga) uzatiladi. Uning bu kuzatishlarining natijalari “Suyuqliklarda aylanma harakat” asarida to`liq bayon qilingan (1687 y). Bu kuzatishlarida Nyuton shunday xulosaga keldi: Suyuqlik zarralari orasidagi sirpanishning yetishmovchiligini “attritus” (трения), ya`ni *ishqalanish* deb ifodaladi. Keyinchalik suyuqliklarning yuqoridagi xususiyatlari ifodalash uchun yangi termin *ichki ishqalanish* va *yopishqoqlik* (внутренниятренияивязкость)

terminlari ishlatila boshlandi. Shundan so'ng, Nonyuton suyuqliklari va boshqa reologiyaga oid tushunchalar shaklanishi vujudga keltirilgan.

Reologiyaning asosiy muammolari holati, oqim jarayonida dispers fazali zarrachalarning oqimdagi ko'chishi (migratsiyasi) masalalari qaralgan. Bayonetilgan ishlarda katta tezliklarda harakatlanayotgan (masalan turbulent rejimdagi oqim sohasida) suyuqlik va gazlarda kechadigan ichki molyar almashinuv muammolarga e'tibor qaratilgan.

Ko'plab nazariy va eksperimental tadqiqotlarida, yon kuchlarni inobatga olish zarurligini asoslab berdiki, u laminar oqimda zarrachaga ta'sir qiladi va u muallaq zarrachalarning turg'un harakati masalasini yechib berdi. Aralashmalarda struktura shakllanish jarayonlari tadqiqi va struktura parametrlarini mexanik xarakteristikalar bog'lanishlarni o'rnatishga bag'ishlangan ba'zi masalalarni ko'rib chiqilgan: suyuqliklar yopishqoq-plastik (Bingam modeli), anomal-yopishqoq, yopishqoq-elastik (Maksvell modeli) suyuqliklarga bo'linishi keltirilgan. Har xil suyuqliklarning reologik qonunlari ularga mos tezlik profili va ularni dumaloq quvurdagi sarfi jadvalda berilgan. Turbulent oqimlarda molyar ko'chishlar ko'plab tadqiqotchlar tomonidan o'rganilgan bo'lib, misol uchun Strumenskiy va uning o'quvchilari tomonidan gaz oqimlarida kollektiv molyar ko'chishlar tadqiq etilgan. Nonyuton oquvchan muhitlarda molyar ko'chishlari uchun I.N.Husanovning ishlarida kuchlanma deformatsion holat tenglamalari (reologik tenglamalar) taklif qilgan. Keltirilgan ko'pgina muhitlarda tiksotropik xossalarni namoyon bo'ladi, ya'ni kuch ta'sirida ular strukturasi izotermik buziladi va kuch olinganda yana qayta shakllanadi. Strukturaning buzilishi molekulyar shakllanishdan yuqori bo'lgan - mollar tufayli shakllanishi hamda uning o'lchami va shakli ta'sir etayotgan kuch qiymatiga mos kelishi o'rganilgan. Bu holat "qattiq" shakli oquvchan muhit strukturaviy relaksatsiyasi bilan izohlanadi, ya'ni biror vaqtdan so'ng to'xtatganda sistemada yana mollar hamda yirikroq kinetik birliklar shakllana boshladi, ta'sirdan so'ng uzluksiz struktura hosil qilishi aniqlangan.

Magistrlikdissertatsiyasi ishida ikki va uch fazali muhit holati modeli taklif etiladi va muhitning kuchlanma-deformatsion holati tenglamasi mukammallashtirilgan. Bunda oqimda struktura shakllanishi va buzilishi bilan boradigan qonuniyatlarini o`rnatishda, oqimda kechadigan jarayonlarni yanada adekvat bayon etish uchun fazalarning hajmiy tarkibini o`zgarishini hisobga olishdan foydalanish zarurligi ko`rsatilgan.

Shunday qilib, vorisiy-deformatsion muhitlar oqimi uchun yangi mexanik modellar olingan, hamda ularning kuchlanma deformatsion holatining o`zgarishi qonuniyatlari, shu bilan birga yopishqoq-inert deformatsiyalanuvchi muhitlar oqimini tasniflovchi yanada umumiyroq integro-differensial tenglamalari olindi.

Eng umumiy holda energetik nuqtai nazarga ko`ra deformatsiya mohiyatini, muhit deformatsiyasi uchta fizik tushuncha orqali qaralgan, bo`lib ulardan biri H inertsion potensial tushunchasi kiritilgan, u elastik potensial W_n bilan birga inertsial deformatsiya energiyasining to`planishini xarakterlashi bayon etilgan. Ushbu magistrlik ishida qaralayotgan muhit qaytmas energiyadissipatsiyasidan xoli uchun kuchlanishni deformatsiya tezlanishiga bog`liqligining umumlashganini ko`rib chiqilgan.

Inertsion potensialning mavjudligidan, kuchlanish tenzori komponentalari va deformatsiya tezlanishi tenzori komponentalari o`rtasida o`zaro bir qiymatli bog`lanish mavjudligi kelib chiqishi, hamda uning analitik ko`rinishi nazariy yo`l bilan keltirilgan. Ba`zi bir almashtirishlar va cheklanishlardan so`ng, uchta inertsion o`zgarmaslar qolishi, soddalashtirishlarning turli yo`l bilan o`rnatilgan. Deformatsiya tezlanishi tenzori komponentalari yangi o`qlardagi deformatsiya tezlanishi tenzori komponentalari bilan quyidagicha bog`lanishda bo`ladi.

Ko`chish deformatsiyasi tezlanishi va urinma kuchlanishning proporsionalligidan kuchlanish tenzori hamda deformatsiya tezlanishlarining bosh o`qlari ustma-ust turishi kelib chiqadi. Koordinata o`qlarini almashtirishlarida ham kuchlanish uchun, ham deformatsiya tezlanishi uchun

o'tish matritsasi bir xil bo'ladi, u holda uning tenglamasi o'q yo'nalishining tanlashga nisbatan invariantligi ko'rsatilgan.

Retardatsion model yechimini tahlili suyuqliklar yopishqoq Nyuton suyuqliklaridan farqli qo'shimcha biror qarshilikka ega bo'lishi xossasi deformatsion inertlik bo'lishi ko'rsatilgan.

Aralashmalar oqimining tadqiqiga bag'ishlangan amaliy tajribalar natijalari keltirilgan mavjud ilmiy manbalar tahlili vositasida bunday aralashmalarning harakati davomida oqim yadrosining shakllanishi va buzilishi fakti o'rnatildi. Umuman olganda eng asosiy natijalar quyidagilar:

-Oquvchan muhitlardagi harakat miqdorining ko'chish qonuniyatlarini aniqlash borasida adabiyotlardagi katta miqdordagi manba'alar keng tahlil qilindi.

-Oquvchan muhitlardagi harakat miqdorining ilgari qaralmagan molyar ko'chish qonuniyatlari taklif qilingan, qaysikim, fazoviy bir jinsli bo'lmagan tezlanishlar maydoni va nisbatan hajmiy kengayuvchi (siqiluvchi) tezliklar maydoni, kuchlanish ta'sirida molyar oqim zichligi harakat miqdorini keltirib chiqarishga sabab bo'ladi. Harakat miqdorining ko'chishda molekulyar va molyar jarayonlarni hisobga oluvchi aniq analitik yechimi, ikki fazali deformatsiyanuvchi muhitlarning yopishqoq-inert reologik retardatsion modeli ishlabchiqildi.

-I.Husanov tomonidan hozirga qadar aniqlanmagan, ob'yektiv mavjud bo'lgan yopishqoq muhitlardagi ta'siroldi va ta'sirdan keyin paydo bo'ladigan jarayonlar qabul qilindi.

-ushbu ishda quyidagi tushunchalar aniqlangan va kiritilgan: chiziqli zichlik – deformatsiyanuvchi muhitning inert qarshiligi, deformatsiya tezlanishi, deformatsion inert potensialining deformatsiya tezlanishlari tenzori, molyar retardatsiya vaqti.

-deformatsiya jarayonlaridagi muhitning inert qarshiligi borasidagi qilingan ishlar natijalari yangi sohani ochib beradi va bu sohada yangi bilimlarni o`rganishga imkon beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO`YXATI.

1. Karimov I.A. O`zbekiston mustaqillikka erishish ostonasida. “O`zbekiston” nashriyoti, 2011.
2. Karimov I.A. Yuksak ma’naviyat - yengilmas kuch. –T.:Ma’naviyat. 2008. “O`zbekiston” nashriyoti, 2011 yil.
3. Рахматулин Х.А. Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред. ПММ ТХХ, 1956, с.184-195.
4. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736 с.

5. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1., Ч.2 -М.: Наука,1987. 464 с., 360 с.
6. Файзуллаев Д.Ф. Ламинарное движение многофазных сред в трубопроводах. Ташкент, Фан, 1966. 220 с.
7. Файзуллаев Д.Ф. Гидромеханические модели движения смесей. Ташкент, Фан, 1972. 200 с.
8. Файзуллаев Д.Ф., Умаров А.И., Расулов О.Я. Об участке стабилизации твердых частиц при эффекте Сегре-Зильбербега. //Известия АН УзССР. Серия техн.наук, 1974, № 1, с. 47-49.
9. Файзуллаев Д.Ф., Умаров А.И., Шакиров А.А. Гидродинамика одно- и двухфазных сред и ее практическое приложение. Ташкент: Фан, 1980. 168с
10. Умаров А.И., Ахмедов Ш.Х. Двумерные задачи гидродинамики многофазных сред. Ташкент: Фан, 1989. 96 с.
11. Латипов К.Ш., Арифжанов А. Вопросы движения взвесенесущего потока в открытых руслах. Ташкент: Мехнат, 1994. 112 с.
12. Монин А.С., Яглом А.М. Статическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч.1, М.: Наука, 1965 и ч.2, М.: Наука, 1967.
13. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука,1987, 840 с.
14. Струминский В.В. Проблемы турбулентных течений. М. Наука, 1987,
15. Бувевич Ю.А., Ясников Г.П. Релаксационные методы в исследованиях процессов переноса. ИФЖ, том XLIV, № 3, 1983, с. 483-504.
16. Медников Е.П. Поперечная миграция частиц, взвешенных в турбулентном потоке. ДАН СССР, 1972, т.203, 3, с. 543-546.
17. Мельников Т.И., Лоцилов М.Я., Аксенов Н.И. К выбору наивыгоднейшего пульпопровода при гидротранспорте хвостов с

обогачительных фабрик. Труды Магнитогорского горнометаллургического института. Вып. 24, Магнитогорск, 1961. 259 с.

18. Кокс Р., Мейсон С. Течение жидкостей по трубам при наличии взвешенных частиц. Реология суспензий, М.: Мир, 1975, с.68-104.

19. Тарг С.М. Основные задачи теории ламинарных течений. М.-Л., 1951, 420 с.

20. Хусанов И.Н. Математическая модель сжимаемой деформируемой сплошной среды с несколькими временами релаксации. Ташкент, деп. в ВИНТИ, 24.08.84, № 60086-84. 21 с.

21. Хусанов И.Н. Обобщенная модель вязко-инертно деформируемой среды. Узб. журнал Проблемы механики, № 1, 2008. с. 31-35

22. Лутфуллаев Ш.А., Хусанов И.Н. Механические модели ускоренно деформируемой среды и жидкостей со сложной реологией. Журнал Композиционные материалы, № 4, 2002. С.34-36

23. Хусанов И.Н. Релаксационно-ретардационные модели, учитывающие объемные содержания реологических свойств среды. Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы механики», Ташкент, 23-34 сентября 2009 г. С. 195-201.

24. Хусанов И.Н. О деформируемости сред по инерции. Сб. стат. Гидродинамика многофазных сред и тепло- массообмен. Ташкент Фан 1987г. С151-155.

25. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М. 1956г. 528с.

26. Худайбергенова З.Ш. Влияние реодинамических характеристик нефтяных суспензий на процессы распространения линейных волн. Дис.

27. Борщевский Ю.Т. Теория одно- и двухфазного турбулентного пограничного слоя. Киев. "Вища школа", 1975. 192 с.

28. Силин Н.А., Витошкин Ю.К., Карасик В.М., Очеретько В.Ф. Гидротранспорт. Киев: Наукова думка, 1971. 160 с.
29. Слезкин Н.А., Шустов С.Н. Об устойчивости движения взвешенной частицы в ламинарном потоке. ДАН СССР, т. XVCI, № 5, 1954, с. 933-936.
30. Замашников С.С., Попов С.Г. О движении сферических частиц при течении Пуазейля в вертикальной трубе. Вестник МГУ, № 1, 1969, с. 52-58.
31. Джеффрей Р., Пирсон Дж. Движение частиц в ламинарном потоке в вертикальной трубе. Сб. Механика, № 1(95), 91-105, 1966.
32. Махмудов М.Н. О возможности применения эффекта Сегре-Зильберберга к описанию движения цементных растворов. Изв. ВУЗов, Нефтьгаз. 1970, № 11, с.31-34.
33. P. Resibois, Kinetie, Theory of Classical Gases, Gordon and Breach, New York 1967.
34. Jeffrey R.C., Peargon J.R. Particle Motion in Laminar Vertical Tube Flow. J. of Fluid Mechanics 1965. 22. Pt. 4 p 722-735.
35. Mande A.D. Jearn J.A. Particle Migrations in Suspension Flows. J. of Fluid Mechanics 1967. 30.
36. Oliver D.R., Influence of Particle Rotation on Radial Migration in Poiseuille Flow of Suspensions. Nature 1962. Vol. 194. № 4835. p 1269.
37. Saffman P.G. The lift on a small sphere in a slow shear flow, Journal of fluid Mechanics, 22, № 2, 385-400, 1965.
38. Bjorno L, Kornum O., Krag P., Paulev P. Acustica, 1975, 34. p117.
39. Minnaert M. Phil. Mag. 1933. 16. p 235.