

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI

SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

Xudoynazarov X., Abdirashidov A.,

Kasimova F.U., Isroilov Sh.N.

SUYUQLIK VA GAZ MEXANIKASI

(Gidrostatika va kinematika)

Samarqand davlat universiteti kengashining 2020 yil 30 noyabrdagi 4-sonli garoriga asosan Oliy o‘quv yurtlarining «5140300 – Mexanika va matematik modellashtirish» ta‘lim yo‘nalishi bakalavr talabalari uchun o‘quv qo‘llanma sifatida nashrga tavsiya etilgan



Samarqand – 2020

UDK: 532.5
22.365
X - 45

Xudoynazarov X., Abdirashidov A. Kasimova F.U., Isroilov Sh.N. suyuqlik va gaz mexanikasi. (gidrostatika va kinematika). O‘quv qo‘llanma. –Samarqand: SamDU nashri, 2021 y.– 216 b.

Ushbu o‘quv qo‘llanma ”Suyuqlik va gaz mexanikasi” fani bo‘yicha «5140300 – Mexanika va matematik modellashtirish» ta’lim yo‘nalishi bakalavr talabalari uchun mo‘ljallangan bo‘lib, unda shu fanning namunaviy o‘quv dasturidan kelib chiqib, suyuqlik va gaz mexanikasi masalalarini yechishning nazariy asoslari, namunaviy misollar yechimlari, mustaqil ish topshiriqlari, sinov savollari, mustaqil o‘zlashtirishga oid adabiyotlar va boshqa tarqatma materiallar keltirilgan. Bular talabalarga shu fanni yanada chuqurroq o‘zlashtirishga yaqindan yordam beradi. Mazkur uslubiy qo‘llanmadan turdosh ta’lim yo‘nalishlar bakalavr talabalari va magistrantlar ham foydalanishlari mumkin.

Tuzuvchilar:

Xudoynazarov X. – SamDU matematika fakulteti "Nazariy va amaliy mexanika" kafedrasini mudiri, texn.f.d., prof.,
Abdirashidov A. – SamDU matematika fakulteti "Nazariy va amaliy mexanika" kafedrasini professori, fiz.-mat.f.d., dots.,
Kasimova F.U. – SamDU matematika fakulteti "Nazariy va amaliy mexanika" kafedrasini katta o‘qituvchisi,
Isroilov Sh.N. – SamDU matematika fakulteti "Nazariy va amaliy mexanika" kafedrasini assistenti.

Mas’ul muharrir:

Nishonov O‘.A. – SamDU matematika fakulteti "Nazariy va amaliy mexanika" kafedrasini katta o‘qituvchisi, fiz.-mat. fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD).

Taqrizchilar:

Bo‘ronov X.M.– SamDU matematika fakulteti "Nazariy va amaliy mexanika" kafedrasini dotsenti, fiz.-mat. fanlari nomzodi, dots.,
Akilov J.A. - Sam DAQI. " Oliy matematika " kafedrasini professori, fiz-mat.f.d.

ISBN 978-9943-6426-3-8

© X.Xudoynazarov, A.Abdirashidov, F.U.Kasimova, Sh.N.Isroilov.
© SamDU nashri, 2020.

KIRISH

Ushbu o'quv qo'llanma Samarqand davlat universitetining mexanika ta'lim yo'nalishi bakalavr talabalariga bir necha yillar davomida «Suyuqlik va gaz mexanikasi» fanini o'qitish jarayonida yuzaga kelgan. Bu fan mavzularini bayon qilishdan avval quyida ba'zi boshlang'ich tushunchalarni qisqacha keltirib o'tishni lozim topdik.

Fanning mexanikadagi o'rni. Har qanday fan kabi «Suyuqlik va gaz mexanikasi» fani ham ba'zi abstrakt tushunchalarga tayanadi, masalan, massa, tezlik, kuch, tezlanish, energiya va hokazo. Harakatlanayotgan moddiy jism uchun esa abstrakt modellar kiritiladi, bu modellar o'z navbatida o'rganilayotgan masala uchun tabiiy jismning juda muhim bo'lgan xossalarini o'zida ifodalaydi. Shuning uchun mexanikada asosan moddiy nuqta, absolyut qattiq jism (yoki moddiy nuqtalar sistemasi), tutash muhit kabi modellardan foydalaniladi:

1) *Moddiy nuqta* (o'lchamlari hisobga olmaslik darajada kichik chekli massali jism) modelidan, masalan, jismning harakat traektoriyasini o'rganishda foydalaniladi.

2) *Absolyut qattiq jism* (oralaridagi masofa o'zgarmas holda joylashgan moddiy nuqtalar to'plami) modelidan, masalan, jismning fazodagi holati, shakli va o'lchami muhim bo'lgan holatda foydalaniladi.

3) *Tutash muhit* modelidan esa jism tutashlik xossasiga ega, qo'yilgan kuch ta'siridagi u deformatsiyalanuvchan va uning massasi fazo bo'ylab notekis taqsimlangan holatda foydalaniladi.

Endi bu modellar uchun muhim bo'lgan ba'zi tushunchalarni keltirib o'taylik.

Moddiy sistema diskret deyiladi, agar u alohida joylashgan moddiy nuqtalardan iborat bo'lsa, va aksincha u *tutash* deyiladi, agar unda moddalar, uning holatining fizik xarakteristikalari va fazodagi harakati uzluksiz taqsimlangan bo'lsa. Ikkinchi holatda sistema *tutash moddiy muhit* yoki qisqacha *tutash muhit* deyiladi. *Tutashlik gipotezasi Dalamber tomonidan 1744 yilda kiritilgan.*

Masalan, qattiq jismlar, suyuqliklar (masalan, suv, yog', qorishma, eritma va hokazo), gazlar (masalan, gaz, bug', gaz aralashmalari va hokazo) tutash muhitga misol bo'la oladi. O'zgaruvchan tutash muhit mexanikada *elastik va qovushoq* hamda *suyuq va gaz holatdagi jismlar* deb o'rganiladi.

Mexanikaning o'zgaruvchan muhitlar harakatini o'rganuvchi bo'limi *tutash muhitlar mexanikasi* deyiladi, uning suyuq va gaz holatidagi muhitlarga aloqador bir qismi *suyuqlik va gaz mexanikasi* deyiladi.

Tutash muhitning zarrachasi deb o'lchamlari molekulyar masofalardan ko'p marta katta bo'lgan muhit hajmining juda kichik elementiga aytiladi. Suyuqlikning zarrachalarini taqriban nuqtaviy deb hisoblash mumkin.

Suyuqlik deb ikkita alohida xususiyatga ega bo'lgan fizik jismga aytiladi: yetarlicha kichik kuch ta'sirida ham o'z hajmini keskin o'zgartiruvchan va oquvchan, yengil qo'zg'aluvchan. Boshqacha aytganda, suyuqliklar – bu molekulari betartib joylashgan, vaqti-vaqti bilan bir muvozanat holatdan boshqasiga sakrab o'tib turadigan moddalar. Suyuqlikning eng muhim mexanik xarakteristikalari bu uning zichligi, solishtirma og'irligi va qovushoqligi. Suyuqliklar ikki ko'rinishda bo'ladi:

tomchili suyuqliklar; gazsimon suyuqliklar. Tomchili suyuqliklar odatdagi umumiy suyuqlik deb ataluvchi tushuncha bilan ifodalanuvchi suv, neft, kerosin, yogʻ va hokazo moddalar. Gazsimon suyuqliklar esa odatdagi gazsimon moddalar: havo, kislorod, azot, propan va hokazo.

Suyuqlik va gaz mexanikasida «*suyuqlik*» tushunchasi kengroq maʼnoda ishlatiladi. Tajribalar shuni koʻrsatadiki, tovush tezligiga yaqin, lekin undan pastroq tezliklarda gazlar oʻzini siqilmaydigan suyuqlikdek tutadi, tomchili suyuqliklar (masalan, suv) esa katta bosimlarda oʻzini siqiluvchan suyuqlikdek tutadi. Shuning uchun suyuqlik deganda kam siqiluvchan tomchili suyuqliklarni va osongina siqiluvchan suyuqliklar (gazlar)ni tuchunishga kelishib olingan.

Ingliz tilidagi «*Fluid*» soʻzi ham suyuqlik, ham gaz maʼnosini anglatadi. Ideal gazlarning fizik-mexanik xarakteristikalarini gazlarning kinetik nazariyasi yordamida molekulyar darajada olish mumkin, ammo suyuqliklarning umumiy kinetik nazariyasi hozirgacha yaratilmagan. Texnologik maqsadlar uchun suyuqlik va gaz mexanikasini alohida-alohida ikkita boʻlim sifatida rivojlantirish zarur, degan fikr hayolga keladi, aslida esa bunga hech qanday zarurat yoʻq. Haqiqatan ham, umumiy «fluid»ni bir jinsli substansiya yoki kontinium deb qarash va ularga massaning, impulsning va energiyaning saqlanish qonunlarini tadbiiq qilsak, juda koʻp oqimlarning yuqori aniqlikda tavsifini berish mumkin.

Suyuqlik va gazlarning, qattiq jismlardan farqli har xil asosiy belgilarini keltirish mumkin.

Maʼlumki, hamma kuchlarni uch turga ajratish mumkin: siquvchi; choʻzuvchi; urinma. Tutash muhitlar esa bu kuchlar taʼsirida mos ikki turda deformatsiyalanadi: siqiladi (yoki choʻziladi); siljiydi.

Har ikkala turdagi deformatsiyalarga yaxshi qarshilik koʻrsatuvchi tutash jismlar qattiq jismlardir. Qattiq jismlar oddiy sharoitda oʻz shaklini saqlab turadi, suyuqlik va gazlar esa ularni oʻrab turgan idish shaklidagina tura oladi. Shunga koʻra suyuqlik va gazlarning tashqi kuchlarga qarshiligi juda kam, yaʼni ular juda ham oson *deformatsiyalanuvchan* yoki *qoʻzgʻaluvchan (oquvchan)*dir.

Kuzatishlar shuni koʻrsatadiki, suv, neft va boshqa moddalar suyuqliklar deb atalib, ular: siquvchi kuchlarga jiddiy qarshilik koʻrsatadi; uzilishga (choʻzuvchi kuchlarga), aksincha, deyarli qarshilik koʻrsatmaydi; urinma kuchlarga (yaʼni zarrachalarning bir biriga nisbatan siljishiga) esa siljish tezligiga qarab har xil qarshilik koʻrsatadi. Bu tezlik qancha katta boʻlsa qarshilik ham shuncha katta boʻladi. Gazlar ham xuddi shunday xossalarga ega.

Suyuqlik va gazlarning farqi shundaki, suyuqliklar siqilishda oʻz hajmini juda ham kam oʻzgartiradi, gazlar esa Boyle-Mariot qonuniga boʻysungan holda ancha sezilarli siqiladi. Qattiq jismlar uchala xil zoʻriqishlarga (siqilish; choʻzilish; siljish) yetarlicha qarshilik koʻrsata oladi.

Suyuqlik tinch turganda yoki absolyut qattiq jismdek harakat qilayotganda unda urinma kuchlanishlar boʻlmaydi va faqatgina normal kuchlanishlar kuzatiladi. Kuzatilayotgan suyuqlikdagi normal kuchlanishlar asosan siquvchi kuchlanishlardir, ammo choʻzuvchi emas. Gazlarda esa choʻzuvchi kuchlanishlar umuman kuzatilmaydi. Real tomchili suyuqliklarda choʻzish kuchlanishi qisman va juda kam miqdorda kuzatilishi mumkin, yaʼni suyuqlikning uzilishdagi mustahkamligi qattiq

jismlarga nisbatan juda kichik bo‘ladi. Agar suyuqlik aralashmalardan iborat bo‘lsa, u holda uning mustahkamligi keskin kamayadi.

Shunday qilib, deformatsiyadagi qarshilik ko‘rsatish xususiyatiga qarab fizik jismlar ikki guruhga bo‘linadi: suyuqliklar (bunda gazlar ham tushuniladi) va qattiq jismlar. Birinchi guruhdagilarni yana qism guruhlarga ajratish mumkin: *siqilmaydigan* (ko‘pincha ular tomchili suyuqliklar deb ataladi) va *siqiluvchan* (ular gazsimon ham deb ataladi) suyuqliklar. Tutash muhitni *siqilmaydigan* deb qarash mumkin, agar qachonki uning hajmini o‘zgartirishga olib keluvchi cho‘zuvchi (siquvchi) deformatsiyalarni hisobga olmaslik darajada kichik bo‘lsa. Bunga nisbatan juda kichik tezliklarda harakat qilayotgan tomchili suyuqliklar, gazlar va plazmalar misol bo‘la oladi. Tushunamizki, barcha *suyuqliklar siqiluvchan*, ammo ularning ko‘pchiligidagi siqilishlarni e‘tiborga olmasa ham bo‘ladi. Masalan, suv 1 atm bosimda o‘zining dastlabki hajmiga nisbatan uning 1/20000 qismigacha siqiladi.

Endi tutash muhitlarning, xususan suyuqliklarning, ba‘zi xossalarini keltiraylik (keyinchalik quyida muhim xossalari bilan batafsil tanishiladi).

Har xil suyuqliklarning tutashish chegarasida yoki suyuqlik va qattiq yoki gaz shaklidagi jism bilan tutashish chegarasida suyuqlikning tomchili xossasi paydo bo‘ladi va bunda uning *qattiq jism sirtini namlash* hodisasi kuzatiladi. Suyuqliklarning bunday tomchili xossasi ularning ichki sohasida ham, masalan, *kavitatsiya* hodisasi sodir bo‘lishi mumkin bo‘lgan suyuqlik ichida gaz pufakchali sohalari mavjud bo‘lganda, kuzatilishi mumkin. Gazlar suyuqliklarga nisbatan juda ham sezilarli darajada siqiluvchan. Bosimning juda ham kam kamayishi, harakatning juda kichik tezligida muhitning qizish holati yo‘q holatlarida gazni ham siqilmaydigan muhit deb qarash mumkin. Shuning uchun har bir muhitning siqiluvchanlik darajasi bir-biridan keskin farq qiladi.

Suyuqlik va gazlarning siljishga qarshilik ko‘rsatish xossasi *qovushoqlik* deb ataladi. Hamma suyuqliklar qovushoqlik (siljish tezligiga proporsional bo‘lgan ishqalanish kuchlanishiga ega Nyuton suyuqligi) xususiyatiga ega.

Yuqorida ta’kidlaganimizdek, suyuqlik deb tomchili suyuqliklarni, gazlar va plazmalarni qabul qilgan holda, ularning qattiq jismlardan farq qiluvchi muhim jihati – bu ularning oquchanligini e‘tiborga olib, suyuqlik va gaz mexanikasida suyuqliklar modellari quyidagicha klassifikatsiya-lanadi: siqiluvchan yoki siqilmaydigan suyuqlik modeli; ideal yoki qovushoq suyuqlik modeli. *Ideal suyuqlik* deb absolyut qovushoqmas, uzilish va siljish qarshiligiga umuman qarshilik ko‘rsatmaydigan (ichki ishqalanishga ega bo‘lmagan) suyuqlikni hayolan tushunamiz. Bu barcha asosiy xususiyatlarini o‘zida aks ettiruvchi real suyuqlik modeli deb qabul qilingan bo‘lib, unda suyuqlikning siqiluvchanlik yoki siqilmaslik xossasini e‘tiborga olish mumkin. Bu model yordamida, masalan, suyri jisimli suyuqlik oqimidagi tezliklar taqsimoti va bosimni aniqlash mumkin, ammo bu model suyuqlikning qovushoqligi ta’sirini va ayniqsa qarshilik kuchlarini aniqlash imkonini bermaydi. *Qovushoq suyuqlik modeli* esa siqiluvchan yoki siqilmaydigan real suyuqlik modelidir. Suyuqlikning qovushoqligini e‘tiborga olish uning oqimini tavsiflovchi differensial tenglamalarni ancha murakkablashtiradi.

Shunday qilib, mexanika fani tuzilmasi nazariy mexanika (moddiy nuqta mexanikasi; moddiy nuqtalar sistemasi mexanikasi; absolyut qattiq jism mexanikasi)

va tutash muhit mexanikasi (deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi; suyuqlik va gaz mexanikasi (suyuqlik kinematikasi; gidrostatika; suyuqlik dinamikasi))dan iborat.

Suyuqlik va gaz mexanikasining predmeti va metodi. Suyuqlikning harakati jarayonlarini, xususan, uning tinch holatini, *fenomenologik* (muhitning diskret mikrostrukturasi dan voz kechish) va *statistik* (atom va molekularlar hamda ularning o'zaro ta'sir kuchlarini e'tiborga olish) usullar bilan o'rganish mumkin. Mazkur o'quv qo'llanma doirasida faqatgina fenomenologik usuldan foydalaniladi. Shuning uchun bunga oid quyidagi ba'zi tushunchalarni keltiramiz.

Suyuqlik va gaz mexanikasining asosida quyidagi farazlar yotadi: klassik mexanika – Nyuton mexanikasi o'rinli; klassik termodinamika o'rinli; tutash muhit sxemasi o'rinli.

1) Birinchi farazga ko'ra tezligi yorug'lik tezligiga nisbatan kichik bo'lgan harakatlar tekshiriladi, demakki relyativistik mexanika tushunchalaridan foydalanilmaydi, hamda qaraladigan ob'ektlar kvant mexanikasidagi mikroduoyga nisbatan etarlicha katta.

2) Sistemaning *termodinamik muvozanat holati* deb tashqi shartlar saqlanib qolgan taqdirda ham yopiq sistemaning barcha ichki xarakteristikalari uzoq muddatgacha o'z qiymatlarini saqlab qoladi. Termodinamik muvozanat shartida suyuqlik (gaz)larning holatini bir nechta makroskopik parametrlar (masalan, zichlik, tezlik, temperatura va hokazo) yordamida aniqlab olish mumkin.

3) Suyuqlik ham, har qanday jism kabi, molekulyar tuzilishga ega, demakki, suyuqlikning massasi butun geometrik fazoni egallamaydi, balki uning molekularida jamlangan. Lekin biz suyuqlikni uzluksiz muhit (kontinuum) deb qaraymiz va matematik amallarda har xil uzluksiz funksiyalardan foydalanamiz. Uchinchi farazimizning ma'nosi bilan esa quyidagi boblarda to'la tanishamiz.

Shunday qilib, fenomenologik nuqtai nazardan tutash muhit mexanikasi quyidagi uchta gipoteza asosida quriladi: moddiy kontinuum tushunchasi bilan bog'liq *tutashlik gipotezasi*; koordinata boshiga nisbatan nuqtaning holatini ifodalovchi koordinatalar deb ataluvchi sonlar bilan bir qiymatli beriladigan cheksiz ko'p nuqtalar to'plamidan iborat *fazo* tushunchasi bilan bog'liq gipoteza (deformatsiyalanuvchi muhit harakati qaraladigan fazo Evklid fazosi deb faraz qilinadi; fazoning o'lchovi shu fazodagi nuqtaning holatini aniqlovchi koordinatalar sonidan bog'liq); *absolyut vaqt gipotezasi* (deformatsiyalanuvchi muqit harakati qaralayotgan tanlangan sanoq sistemasidan bog'liq bo'lmagan holda vaqt bir xil kechadi).

Fanning dastlabki manbalari. Bizga ma'lumki, suyuqlik va gaz mexanikasi chuqur tarixiy ildizga ega bo'lgan gidromexanika (gidravlika) va nisbatan yosh gaz dinamikasi va aeromexanika kabi fanlarning muhim yutuqlariga tayangan va ularni birlashtirgan holda bugungi holatiga keldi.

Gidravlika tarixan dunyoda eng qadimgi fanlardan biri hisoblanadi. Suyuqliklar mexanikasini o'rganishga katta amaliy qiziqishning bir qator ob'yektiv sabablari mavjud. Birinchidan, tabiatda juda katta suyuqlik zahirasi mavjud va hamma vaqt

inson unga yengil erisha oladi. Ikkinchidan, suyuq jismlar insonning amaliy faoliyatida qulay «yollanma ishchi» sifatida foydalanishi mumkin bo'lgan bir qator foydali xossalarga ega. Bundan tashqari hayot uchun muhim bo'lgan bir qator ximik almashinuv reaksiyalar aynan suyuq fazada (ko'prog suvli eritmalarda) yuz beradi.

Shu sababli inson o'z taraqqiyotining dastlabki bosqichlaridayoq suyuqliklarga qiziqqan. O'sha davrlarda suv va havo (ya'ni suyuqlik va gaz) tabiat hodisalarining asosiy sababchisi deb qaralgan. Tarix shuni ko'rsatadiki, qadimda insonlar o'zlarining suv va havo bilan bog'liq ko'plab amaliy masalalarini muvaffaqiyatli yechishganlar. Arxeologik tadqiqotlar natijasida taxminan eramizdan 5000 yilcha avval Misr va Xitoyda, keyinchalik qadimgi dunyoning boshqa davlatlari: Suriya, Vavilon, Yunoniston, Rim, Hindiston, Yaqin va O'rta sharqda har xil gidravlik inshootlar qurilmalari: kanallar, suv to'g'onlar, suv charxpalaklarini ifodalovchi rasmlar (dastlabki chizmalar) topilganligi buni tasdiqlaydi. Aslida bu inshootlarning hech qanday hisobi bajarilmagan, ular o'sha zamon ustalarining amaliy ko'nikmalari va san'atlari asosida barpo etilgan.

Gidravlik masalalarni yechishga ilmiy yondashishning dastlabki korsatmalari eramizdan avvalgi 250 yilda Yunon olimi Arximed (287-212) tomonidan suyuqlikka botirilgan jismga uning bosimi (yoki suyuqlikka botirilgan jismning muvozanati) haqidagi qonunning ochilishi (Arximedning «Suzuvchi jismlar haqida» nomli dastlabki qo'lyozmasi yaratilishi) bilan aloqador. Uning ishlari keyinchalik bir qator ajoyib gidravlik apparatlar (porshenli nasos, sifonlar va hokazo)ning, umuman olganda, gidrostatikaning yaratilishiga turtki bo'ldi. Keyinchalik 1500 yil ichida gidravlikaga deyarli muhim o'zgartirishlar kiritilmadi. Shu davrda bu fan deyarli rivojlanmadi, xususan XV asrgacha gidravlikaga oid birorta ham qo'lyozma saqlanmagan.

Fanning yuzaga kelishi. Eramizning XV-XVII asrlariga, ya'ni tiklanish yoki tarixchilar aytganidek Renessans davdiga kelib shunday ilmiy ishlar paydo bo'ldiki, bunda Leonardo da Vinchi (1548-1620) – jismlarning suzishi, suyuqliklarning quvvur va kanallarda oqishi, Galileo Galiley (1564-1642) – suyuqlik muvozanati va harakatining asosiy tamoyillari, Evanjelist Torrichelli (1604-1647) – siqilmaydigan suyuqliklarning idish teshigidan oqib chiqish qonuni va undan oqib chiqayotgan suyuqlikning tezligi formulasi, Blez Paskal (1623-1727) – suyuqlikda bosim uzatilishi (gidrostatik bosimning ikkinchi xossasi), Isaak Nyuton (1643-1727) – mexanikaning asosiy qonunlari, butun olam tortishish qonuni, suyuqliklarning harakatida ichki ishqalanish qonunini yaratib, gidravlikaning muammo va masalalarini yechishga o'z ilmiy ishlarini bag'ishlab, ular gidravlikaning, keyinchalik suyuqlik va gaz mexanikasining fan sifatida rivojlanishiga poydevor yaratdilar. XV asrda Leonardo da Vinchining «Daryo va o'zanlarda suvning harakati va uni o'lchash» nomli asari uning o'limidan 307 yil keyin 1828 yilda chop etildi. Golland olimi Simon Stevin (1548-1620) esa 1586 yilda o'zining «Gidrostatika asoslari» nomli asarini chop etdi.

Ammo faqatgina XVIII asrga kelib suyuq jismlarni o'rganish sohasida Peterburg Fanlar Akademiyasining akademiklari Daniel Ivanovich Bernulli (1700–1782) – ideal suyuqlikda solishtirma energiya zahirasi tenglamasi, Leonard Pavlovich Eyler (1707–

1783) – suyuqlikning muvozanat va harakat differensial tenglamasi, Mixail Vasilyevich Lomonosov (1711–1765) – energiyaning saqlanish qonunini yaratib, zamonaviy gidravlikaga mustahkam poydevor qo‘ydilar.

XVII asr oxirlariga kelib Fransiyada suyuqliklarning texnik mexanikasi nomli fransuz maktabi ochildi. Bu maktabning yetuk namoyondalari, Parij Fanlar Akademiyasining a‘zolari Antuan Shezi (1718-1798), J.Sh Borda (1733-1799), X.Pito (1695-1771), mahalliy qarshiliklarga oid bir qator masalalarni yechib, shu sohaning qator ilmiy yutuqlariga erishdilar.

XVIII asr oxirlariga kelib esa suyuqlik mexanikasining texnik yo‘nalishi keskin rivojlandi.

Fransiyalik muhandis–gidrotexnik P.Dyubua (1734-1809) o‘zining «Gidravlika asoslari» nomli kitobi bilan mashhur bo‘lgan. Italiyalik olim G.B.Venturi (1746-1822) va D.Poleni (1685-1761) – suyuqlikning teshikdan, nasadkadan va oqova novidan oqishi, A.Shezi (1718-1798) va E.Bazen (1829-1897) – suyuqlikning tekis harakati, Yu. Veysbax (1806-1871) va P.Dyubua (1734-1809) – suyuqlik oqimiga qarshilik, ingliz fizik olimi O.Reynolds (1842-1912) – laminar va turbulent oqimlarni o‘rganishga katta hissa qo‘shdilar.

XIX-XX asrlarda suyuqlik mexanikasini amaliy fan sifatida rivojlanishiga hamda gidravlika va gidromexanikada qo‘llaniladigan nazariy va amaliy masalalarni o‘rganish usullarini yaqinlashtirgan ilmiy izlanishlar bu nemis olimlarining: M.Veber (1871-1971), F.Forxgeymer (1852-1933), L.Prandtl (1875-1953) – chegaraviy qatlam nazariyasi, X.Blazius (1883-1951) – oqimlar nazariyasini o‘rganishga qo‘shgan salmoqli hissalaridir.

Qovushoq suyuqliklarning harakati haqidagi bilimlar asosini 1821 yilda fransuz olimi Lui Mari Anre Navye (1785-1836) boshlab berdi va u ingliz olimi Dj.G.Stoks (1819-1903) tomonidan 1845 yilda yakuniy holga keltirildi, bunda u kuchlanishning deformatsiya tezligidan chiziqli bog‘liqligini asoslab berdi hamda qovushoq suyuqlikning fazoviy harakat tenglamasini yakuniy shaklga keltirdi (keyinchalik bu tenglama Navye-Stoks tenglamasi deb nom oldi). 1846 yilda Stoks quvur va kanallarda qarshilikni nazariy va amaliy tadqiq qilishning nazariy yechimini berdi.

Fransuz vrachi va tadqiqotchisi J.Puazeyl (1799-1869) juda kichik diametrlil quvurlarda (kapilyarlarda) qovushoq suyuqlikning harakatini eksperimental tadqiq qilib, 1840-1842 yillarda tomirlarda qonning harakatini o‘rgandi.

Suyuqlikning uyurmali harakati haqidagi bilimlarning yaratuvchisi deb 1858 yilda ideal suyuqlikning uyurmali harakati haqidagi asosiy teoremlarni yaratgan nemis olimi G.Gelmgolts (1821-1894)ni bilishadi-lar. Uyurmalar nazariyasi meteorologiya, samolyot qanoti nazariyasi, pro-peller va kema vinti nazariyasining rivojida juda katta ahamiyat kasb etdi.

Bularning barchasi suyuqlik va gaz mexanikasi fanining zamonaviy shakliga zamin yaratdi.

Rossiyada ham muhim ilmiy ishlar amalga oshirildi, xususan, 1791 yilda A.Kolmakov tomonidan gidravlikaga oid birinchi qo‘llanma chop etildi; I.S.Gromeka (1851-1889) - suyuqlikning uyurmali harakati tenglamasini, 1881 yilda «Siqilmaydigan suyuqlik harakatining ba‘zi hollari» mavzuli ishida suyuqlik harakati tenglamasining yangi shaklini taklif etdi; 1883 yili N.P.Petrov (1836-1920) moylash

(smazka) gidrodinamik nazariyasini yaratdi; 1898 yili «rus aviatsiyasining otasi» N.E.Jukovskiy (1847-1921) quvurlarda gidravlik zarba nazariyasini yaratib, suyuq elementning uyurmali va deformatsion harakatini tahlil qilib va bularga doir kitob nashr etib, gidrodinamikaga salmoqli hissa qo'shdi. Keyinchalik ularning ishlarini S.A.Chapligin (1869-1942), K.E.Siolkovskiy (1852-1935), A.A.Fridman (1888-1925) kabi yetuk olimlar davom ettirib, gidrodinamikaning yangi yo'nalishlari rivojiga o'zlarining muhim hissalarini qo'shishdilar.

Shu va ulardan keyingi olimlardan Veysbax va Prandtlning ilmiy ishlarida suyuqlik va gaz mexanikasi fani, xususan, gidravlikada yaratilgan nazariy tadqiqotlarni amaliy va eksperimental ishlar bilan bog'lash imkoniyati tug'ildi. Bazen, Puazeyl, Reynolds, Frud, Stoks va boshqa olimlarning ilmiy tadqiqodlari esa real (qovushoq) suyuqliklar dinamikasi haqidagi bilimlarni rivojlantirdi. Navye-Stoksning differensial tenglamasi real suyuqliklar harakatini tashqi shartlardan bog'liq holda shu suyuqlik parametrlarining funksiyasi sifatida tavsiflash imkonini berdi. Umumlashtirib aytganda, bu olimlarning ilmiy izlanishlari asosan oqimning turbulentsligini, qovushoq suyuqliklar harakatiga qarshilikning umumiy qonunlarini o'rnatish, suyuqliklarning quvurlarda, kanallarda va oqova novlarda harakatini tadqiq qilishga bag'ishlangan. Bundan tashqari ular asosiy e'tiborlarini o'lchov va o'xshashlik nazariyasini yaratishga va laboratoriya eksperimentlarini o'tkazishga qaratdilar.

XIX asr oxirlariga kelib gidromexanika bilan bir qatorda gazlar mexanikasi ham keng rivojlandi. Bunga I.Nyuton va P.Laplas ishlari asos bo'lgan bo'lsa, keyinchalik bir qator olim va muhandislarning ishlari bug' turbinalari, havoda uchuvchi ob'yektlar, qanot profili sohalarining rivojini belgilab berdi.

Suyuqlik va gaz mexanikasi fani rivojining zamonaviy bosqichi. Zamonaviy inshootsozlik, mashinasozlik, aviatsiya, transport va sanoatning boshqa sohalarida ushbu fanning amaliy ahamiyati bebaho. Xususan, gidravlika fani amaliy muhandislik fani sifatida har xil gidrotexnik inshootlar va gidromashinalarni hamda ulardan tashkil topgan har xil gidrotizimlarni loyihalashda keng qo'llanilmoqda. Har qanday avtomobil, uchuvchi apparat, suzuvchi ob'ektlar, suv to'g'onlari va dam-balari, oqava novi va boshqalarda asosan gidravlik tizimlar qo'llaniladi. Sanoatda esa juda katta kuchni yuzaga keltiruvchi gidravlik pressiz (zichlagichsiz) biror ish qilib bo'lmaydi. Eyfel minorasi qurilishi tarixidan qiziqarli dalilni keltirishimiz mumkin. Minoraning tayyor bo'lgan ko'p tonnali qurilmasini beton asosga o'rnatish uchun uning har bir tayanchiga o'rnatilgan gidravlik press yordamida unga qat'iy vertikal holat berildi.

Suyuqlik va gaz mexanikasi fani masalalari insonning har bir qadamida uchraydi: ishda, uyda, transportda va hokazo. Tabiatning o'zi insonda gidravlik tizimni o'rnatgan: yurak – nasos; jigar – filtr; buyrak – himoyalovchi klapanlar; qon tomirlar (inson organizmida ularning umumiy uzunligi 100000 km) – quvurlar. Bizning yuragimiz bir kunda 60 tonna (bu to'ldirilgan temiryo'l sisternasiga teng miqdor) qonni haydaydi.

XX asrga kelib nazariy va amaliy gidrodinamika sohasida yaratilgan ilmiy ishlar amaliy masalalarni yechish usullarini rivojlantirish, tadqiqotlarning yangi usullarini

yaratish, yangi yoʻnalishlar (filtratsiya nazariyasi, gazo- va aerodinamika va hokazo)ga yoʻnaltirildi. Masalan, A.N.Kolmagorov - turbulentslik nazariyasi; N.N.Pavlovskiy – filtratsiya nazariyasi va suyuqlikning tekis va notekis harakati; I.N.Kukolevskiy – mashinasozlik gidravlikasi nazariyasi; S.A.Xristianovich – suyuqlikning nostatsionar harakati va boshqalar. Gazlar dinamikasi boʻlimi rivojiga katta hissa qoʻshgan olimlardan M.V.Keldish, F.I.Frankl, S.A.Xristianovich, L.I.Sedov, Ya.B.Zeldovich va ularning shogirdlari ishlarini qayt etish mumkin.

Suyuqlik va gaz mexanikasining amaliyotga tadbiri sifatida, masalan, biomexanikada, G.Galileyning (1564-1642) yurak urishini tekshirishga oid, Dekartning (1596-1650) koʻz tadqiqotlariga oid, Gukning (1635-1703) hujayralarga oid, Eylerning qon tomirlarida puls toʻlqinlarini oʻrganishga oid, Yungning (1773-1829) koʻrish va ovoz nazariyalariga oid, Gelmholtzning (1821-1894) ovoz, koʻrish va psixofiziologiya nazariyalariga oid, Lambning (1849-1934) qizil qon tomirlarida (arteriyalarda) yuqori chastotali toʻlqinlarni qayd etishga oid, Stefan Xeylsning (1677-1761) arterial bosimni oʻlchash va uning qon ketishi bilan bogʻliqligiga oid, Puazeylning (1799-1869) qon oqimida qovushoqlik va qarshilik tushunchalariga oid, Otto Frankning (1865-1944) yurak faoliyati mexanikasiga oid, Starlingning (1886-1926) inson tanasida membrana orqali massa almashinish qonuni va suv muvozanati tushunchasiga oid, Nobel mukofoti laureti Krafning mikrosirkulyatsiya mexanikasiga oid ilmiy ishlarini alohida qayd etish mumkin.

Shunday qilib, gidravlika, gidrodinamika, gaz dinamikasi va aerodinamika umumiy «suyuqlik va gaz mexanikasi» nomi bilan birlashgan holda fan va texnikaning yuksak rivojiga xizmat qilmoqda. XXI asrga kelib bu fanning hali toʻlasincha oʻrganilmagan anʼanaviy muammolari fan va texnikaning yangi muammolarini keltirib chiqarmoqda. Bular, masalan, yuqori va giper tovush tezlik bilan harakatlanayotgan oqimlarda qarshilik, siyraklashgan gaz va plazmalar harakati, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari chigalliklari, koʻp fazali muhitlar harakati, murakkab turbulent hatak, zavod va fabrikalarda esa maxsus oʻziga xos xususiyatli yoʻnlishlarga ega muhandislik loyihalari, hisoblari va boshqalar shular jumlasidandir. Bunday muammolarni hal qilish uchun ilmiy tadqiqotlarning barcha nazariy va eksperimental usullari, jumladan, taqribiy hisob usullaridan keng foydalanilmoqda. Bularni yaratishda L.I.Sedov, M.D.Millionshikov, V.V.Struminskiy, A.N.Kolmagorov, P.Ya.Polubarinova-Kochina, L.S.Leybenzon, L.G.Loysyanskiy, G.Shlixting, D.B.Spolding, Dj.Betchelor kabi olimlar va ularning koʻp sonli shogirdlarining xizmatlari juda katta.

Oʻzbekistonda esa suyuqlik va gaz mexanikasi fani rivojiga katta hissa qoʻshgan olimlarimizdan X.A.Raxmatullin, M.T.Oʻrozboyev, J.F.Fayzul-layev, O.Umarov, A.Begmatov, A.Hamidov, J.Akilov, B.Xoʻjayorov va hokazo. Akademik X.A.Raxmatullinning fanga parashyut nazariyasini, gassimon muhitga (chang va gaz aralashmasiga) qattiq jismning yorib kirishi nazariyasini kiritganligini alohida qayd etishimiz mumkin.

Bugungi kunga kelib suyuqlik va gaz mexanikasi fanining yuksalishiga quyidagi sabablar kuchli turtki boʻlmoqda. Bular: 1) EHMning rivoji ilgari hisoblash mumkin boʻlmagan hisoblarni bajarish hamda tadqiq qilish va kuzatish mumkin boʻlmagan tajribalarni hisoblash tajribalari orqali bajarish imkoniyatini tugʻdirganligi; 2)

suyuqlik va gaz mexanikasida qo'llash mumkin bo'lgan matematik vositalarning keskin kengayganligi; 3) bugungi kunning ilmiy-texnik revolyutsiyasi, texnika rivojining gurkirashi, mikro- va makrodunyoni o'rganishda tadqiqotlarning keng quloch yoyganligi.

Hozirgi kunda suyuqlik va gaz mexanikasi rivojining eng muhim yo'nalishlari sifatida quyidagilarni qayt etish mumkin: suyuqlik va gazlarning unda harakatlanayotgan jismlarga ta'siri (texnik masalalar); suyuqlik va gazlarning quvur va mashinalarning har xil qismlari ichi bo'ylab harakati (gaz va neft quvurlari, nasoslar, turbinalar va boshqa gidravlik mashinalarni loyihalash ishlari); suyuqlik va gazlarning g'ovak muhitlar bo'ylab harakati (filtratsiya); suyuqlikning va uning ichida yoki sirtida oqayotgan jismning muvozanati (gidrostatika); to'liqlik harakatlari (seysmik jarayonlar, tovush tebranishlari, shovqin muammosi, suvning ko'tarilishi va qaytishi, dengiz sirti to'liqlari, kema harakati natijasida paydo bo'ladigan to'liqlar va hokazo); har xil kimyoviy jarayonlarda gazlarning hostatsionar harakati (detonatsiya, portlash, mashina porsheni va reaktiv dvigatellar yonuv kameralarida gaz oqimi va hokazo); suyuqliklarning turbulent harakati (suyuqlik va gazlarning bulutlarda va Yer atmosferasida, kanallarda, daryolarda, o'tkazgich quvurlarda, mashina va har xil texnik inshootlarda harakati); qattiq jismlarni yonishdan va kuchli erishdan saqlash (masalan, kosmik kemaning zich atmosfera qatlamida katta tezlik bilan harakati); kuchli siqilgan yoki siyraklashgan yuqori yoki quyi haroratli suyuqlik va gazlarning fizik xossalari keskin o'zgargandagi harakati (masalan, kriogen suyuqliklar harakati); magnit gidrodinamikasi yoki ferrogidrodinamika va plazmalar harakati; meteorologiya masalalari; kavitatsiya muammolari; biomexanika masalalari va hokazo.

Suyuqlik va gaz mexanikasi fanining, xususan, gidravlikaning amaliy masalalarini yechishda hammaga ma'lum bo'lgan quyidagi tadqiqot usullariga tayaniladi: cheksiz kichik miqdorlarni tahlil qilish usuli; o'rta qiymatlar usuli; o'lchovlar tahlili usuli; analog usuli; eksperimental usul.

Cheksiz kichik miqdorlarni tahlil qilish usuli – bu suyuqlik va gazlar muvozanati va harakati jarayonlarini miqdoriy tavsiflashning boshqa usullariga nisbatan eng qulayidir. Bu usul ob'ektlar harakatini atom-molekulyar darajasida, ya'ni harakat tenglamasini chiqarishda suyuqlikni (yoki gazni) modda tuzilishining molekulyar-kinetik nazariyasi nuqtai nazaridan qarash zarur bo'lganda juda yaxshi samara beradi. Bu usulning asosiy kamchiligi – bu abstraktlikning deyarli yuqori darajada ekanligida bo'lib, talabdan nazariy fizika sohasida juda keng bilimga ega bo'lishni hamda matematik analiz va vektor analizning har xil usullaridan mohirona foydalanishni talab qilishidir.

O'rta qiymatlar usuli hammabobroq usullardan biri bo'lib, bu usul moddaning tuzilishi haqidagi sodda farazlarning asosiy gipotezalariga tayanadi. Bunda asosiy tenglamalarni chiqarish ko'p hollarda molekulyar-kinetik nazariyasi bilimlariga ega bo'lishni talab qiladi. Bu usul bilan olingan tadqiqot natijalari esa «sog'lom fikr»ga qarshi bo'lmaydi va asoslangan bo'lib ko'rinadi. Bu usulning kamchiligi tadqiqot predmeti haqida ba'zi aprior farazlarga ega bo'lish zarurligida.

O'lovlar tahlili usulini tadqiqotning qo'shimcha usullaridan biri sifatida qarash mumkin va u o'rganilayotgan mexanik jarayonlarni har tomonlama bilishni taklif etadi.

Analog usuli o'rganilayotgan mexanik jarayon kabi moddaning o'zaro ta'sirlashish turiga oid mukammal o'rganilgan jarayonlar bor bo'lganda qo'llaniladi.

Ekspirimental usul boshqa tadqiqot usullari biror sababga ko'ra qo'llanilishi mumkin bo'lmagan hollarda tadqiqotning asosiy usuli hisoblanadi. Bu usuldan ko'pincha boshqa usullar bilan olingan natijalarning qay darajada to'g'riligini tasdiqlash uchun kriteriya sifatida foydalaniladi.

O'quv qo'llanmaning tuzilishi. Yuqorida keltirilgan boshlang'ich tushunchalarga tayangan holda ushbu o'quv qo'llanmada suyuqlik va gaz mexanikasining gidrostatika, kinematika va dinamika bo'limlari oddiy tushunchalar, izohlar va kerakli formulalar bilan sodda tilda tushuntirilgan.

Dastlab suyuqlik va gazlarning *fizik parametrlari* izohlangan.

Gidrostatikaga oid tushunchalar esa gidravlika fanining *gidrostatika* (suyuqlikning kuchlar maydonidagi muvozanatini o'rganuvchi bo'lim) bo'limida kengroq berilganligi sababli bu o'quv qo'llanmada unga oid tushunchalar ancha qisqartirilgan holda keltirilgan.

Suyuqlik va gaz mexanikasining *kinematika* (suyuqlik hajmining shakli, o'lchamlari va fazoviy holatining o'zgarishini ularni yuzaga keltiruvchi sabablarsiz o'rganuvchi bo'lim) bo'limiga oid tushunchalar namunaviy fan dasturi doirasida batafsil yoritilgan.

Suyuqlik va gaz mexanikasining *dinamika* (suyuqlikning harakati qonunlarini o'rganuvchi bo'lim) bo'limida esa qator muhim masalalarga e'tibor berilgan.

Suyuqlik va gaz mexanikasida dinamikaning eng muhim masalasi - bu oqimning kinematik va dinamik xarakteristikalarini o'rtasidagi bog'lanishni o'rnatishdan iborat bo'lib, bunda avvalo suyuq yoki gaz muhit bilan unda harakatlanayotgan yoki uni o'rab turgan qattiq jism o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini aniqlash zarur bo'ladi. Bu o'zaro ta'sir sirti bo'ylab taqsimlangan urinma va normal kuchlanishlarni aniqlash imkonini beradi.

Masalaning qo'yilishidan kelib chiqqan holda oqimning har bir nuqtasi uchun uni xarakterlovchi parametrlarni aniqlash maqsadida mos tenglamalar sistemasi tuziladi. Bu tenglamalar soni suyuqlik yoki gaz uchun aniqlanishi lozim bo'lgan noma'lum parametrlar sonidan kelib chiqqan holda tuzilgan munosabat tenglamalari sistemasidan iborat bo'ladi.

Suyuqlik va gaz mexanikasi tenglamalari sistemasini tuzish uchun bu tenglamalar, ularga kirgan har bir had va parametrlarning fizik-mexanik ma'nosini chuqur anglamoq zarur. Qabul qilingan oqim modeli uchun tuzilgan tenglamalar sistemasi ham ko'p ma'lumot beruvchi va o'z navbatida optimal tuzilgan bo'lishi kerak. O'z navbatida aniq tuzilgan model (ideal yoki qovushoq suyuqlik, siqiluvchan yoki siqilmaydigan suyuqlik, statsionar yoki nostatsionar oqish, tekis yoki fazoviy oqim va hokazo) o'z navbatida tenglamalarni yetarlicha soddalashtirishga va ularning qo'llanilishini osonlashtirishga imkon beradi.

Suyuqlik va gaz mexanikasining dinamika bo'limida differensial tenglamalarning xususiy yechimlari juda katta ahamiyatga ega, masalan, Gromeki, Lagranj, Eyler, Bernulli integrallari shular jumlasidandir. Bu integrallarning fizik-mexanik ma'nosini to'g'ri tushuna bilish – bu ularni to'g'ri, aniq, maqsadli va ularning qo'llanilish chegarasini bilgan holda qo'llay bilish imkonini beradi.

Suyuqlik va gaz mexanikasida dinamikaning bir qator masalalari siqilmaydigan va siqiluvchan suyuqliklar uchun bir o'lchovli statsionar izentropik oqim masalalariga Bernulli tenglamasini qo'llab yechishdan iborat. Bunga misol qilib, kanal, sharracha va quvur shaklidagi har xil oqimlarda suyuqlik va siqiluvchan gaz oqishini tekshirish, tormozlanish parametrlarini, kritik parametrlarni, maksimal tezlikni va hokazolarni aniqlash kabi amaliy masalalarni yechishga imkon beradi. Bernulli tenglamasi yordamida esa gazlarning izentropik oqishini ifodalovchi bir qator gazodinamik munosabatlar (funksiyalar) qurilgan.

Shuningdek, suyri jismni o'z ichiga olgan (xususan, usiz) suyuqlik oqimining tezliklar maydoni hamda ta'sir etuvchi kuchlarning suyuqlikda va qattiq jism chegarasida (xususan, chegaraviy qatlamda) taqsimlanishi tadqiq qilinadi. Buning uchun esa masalalar uch turga bo'lib o'rganiladi: *tashqi masala* (masalan, suyri jism suyuqlik oqimi ichida); *ichki masala* (masalan, qattiq devor bilan chegaralangan kanalda yoki quvurda suyuqlikning oqimi); *erkin oqim* (qattiq chegara bo'lmagan holdagi oqim, masalan, soplodan oqib chiqqan qo'zg'almas yoki harakatlanuvchan suyuqlik yoki suyri jism ortidagi aerodinamik iz).

Mazkur o'quv qo'llanmada, yuqorida aytilganlar asosida, ideal va qovushoq suyuqliklarning modeli, ularning laminar va turbulent oqishlari kabi masalalar atroflicha yoritilgan, suyuqlik va gaz mexanikasining bir qator klassik modellari keltirilgan, tuzilgan chegaraviy masalalarni yechishning ba'zi usullari bayon qilingan.

Har bir bob oxirida amaliy masalalar namunalari, ularning yechimlari, mavzuni talaba mustaqil o'zlashtirishi uchun amaliy topshiriqlar hamda talabaning bilimni aniqlash uchun sinov savollari keltirilgan. Amaliyot mashg'ulotlari va mustaqil ish topshiriqlari uchun qo'shimcha masala va misollarni foydalanilgan va tavsiya etilgan qo'llanmalardan olishni taklif qilamiz.

Ushbu fan doirasida o'rganilishi mo'ljallangan bo'limlardan «Chegaraviy qatlam nayariyasi» va «Filtratsiya nazariyasi» shu ixtisoslikning magistratura mutaxassisligida alohida fan sifatida, quvurlardagi gidravlik qarshilik hisobi esa «Gidravlika» fani doirasida o'rganilishi o'quv rejaga kiritilganligi sababli ular bu o'quv qo'llanma hajmiga kiritilmadi. Bundan tashqari, ushbu o'quv qo'llanmaga kirmagan «Gazodinamika» - siqiluvchan gazning nisbatan katta tezlikdagi harakati haqidagi fan, «Magnit gidrodinamikasi» va «Ikki fazali oqimlar gidrodinamikasi» kabi bo'limlar ham mustaqil fan sifatida alohida o'rganiladi.

Suyuqlik va gaz mexanikasining deyarli barcha amaliy masalalarini yechish nohizizli oddiy yoki xususiy hosilali differensial tenglamalarni yechishga olib kelinadi. Ularni analitik usul bilan deyarli yechish mumkin emas. Shunday hollarda bizga *sonli usullardan* foydalanish samarali natijalar olishimizga imkon beradi. Qolaversa, hozirda bir qator zamonaviy matematik paketlar (Maple, Mathcad, Mathematica, MATLAB va hokazo) mavjudki, ular yordamida sonli usullardan foydalanib, murakkab tizimlardagi oqimlarni tahlil qilish mumkin. Bularni o'rganish

uchun esa ishchi o'quv rejada alohida «Gidrodinamika masalalarini yechishning sonli usullari» nomli tanlov fan mavjud.

Ushbu o'quv qo'llanma universitetlarning mexanika ta'lim yo'nalishi bakalavr talabalariga suyuqlik va gaz mexanikasi fanini mukammal o'rganishlarida, ularning mustaqil bilim va ilmiy izlanish ko'nikmalarini hosil qilishlarida yaqindan yordam beradi, degan umiddamiz.

Ushbu o'quv qo'llanma shartli ravishda uch qismdan iborat bo'lib, 1-qismida gidrostatika, 2-qismida kinematika, 3-qismida esa gidrodinamika tushunchalari kiritildi.

O'quv qo'llanmani tayyorlash jarayonida rus tilidagi bir qator darslik va o'quv qo'llanmalardan hamda Internet tarmog'idagi katta hajmdagi ma'lumotlardan bevosita foydalanildi. Ushbu adabiyotlar ro'yxati o'quv qo'llanma oxirida keltirildi.

O'quv qo'llanmaning kamchiliklarini bartaraf etishga va uning sifatini oshirishga qaratilgan barcha fikr va mulohazalarni minnatdorchilik bilan qabul qilamiz.

1–BOB.

SUYUQLIKNING ASOSIY FIZIK XOSSALARI VA PARAMETRLARI. KUCHLAR VA KUCHLANISHLAR

Ushbu o‘quv qo‘llanmadagi ba’zi tushunchalar bilan talaba tutash muhit mexanikasi va fizika fanlaridan tanish deb hisoblaymiz, ba’zi zarur matematik tushunchalar esa 1-ilovada keltirilgan. Suyuqlikni tutash muhit deb faraz qilib, silliq, ya’ni uzluksiz va yetarlicha hosilalarga ega gidrodinamik xarakterdagi funksiyalarni kiritamiz. Quyida asosiy fizik parametrlar (bosim, zichlik, qovushoqlik, kuchlanish va hokazo) haqida tushunchalar berilgan. Suyuqlikning harakatini qarashdan avval uning butun hajmi yoki sirti bo‘ylab taqsimlangan kuchlarni qarash lozim.

1.1. Real suyuqlikning asosiy fizik xossalari

Avvalo suyuqlikning asosiy fizik xossalari bilan tanishish foydali bo‘ladi deb hisoblab, ulardan eng asosiylarini keltiramiz.

Bosim. *Bosim birlik yuzaga ta’sir etuvchi kuch kabi aniqlanadi va kuchlanish bilan bir xil o‘lchovga ega bo‘ladi.*

Biror sirtidagi bosim shu sirt normalini bo‘ylab unga ta’sir etadi va u juda ham muhim xarakteristika hisoblanadi, chunki suyuqlikka botirilgan jism sirti bo‘ylab integrallash (yig‘indi olish, qo‘shish) yordamida shu jismga ta’sir etuvchi asosiy kuchlar va momentlar aniqlanadi. Tinch holatdagi suyuqlik uchun uning kichik hajmiga ta’sir etuvchi kuchlar va lokal gradient bilan o‘zaro bog‘langan bosim odatda og‘irlik kuchi bilan muvozanatlashadi. Shuning uchun gidrostatik bosimning orttirmasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta p = \rho g h , \quad (1.1)$$

bunda p – bosim (kPa); ρ – zichlik (kg/m^3); h – bosim o‘lchanayotgan balandliklar farqi (m); $g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ – erkin tushish tezlanishi. Ushbu (1.1) tenglama ma’lum shartlarda harakatlanayotgan suyuqlik uchun ham o‘rinlidir. Xususan, ko‘pgina geofizik oqimlarda bosimni vertikal yo‘nalishda o‘lchash (1.1) formula orqali taqriban amalga oshiriladi. Bosimning SI xalqaro birliklar sistemasidagi o‘lchov birligi Pascal (Pa): $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2 = 10^{-3} \text{ kPa} = 10^{-6} \text{ MPa}$ (kPa – kiloPaskal; MPa – megaPaskal); MKGSS birliklar sistemasida $1 \text{ kg}\cdot\text{k}/\text{m}^2 = 9,81 \text{ Pa}$ ($1 \text{ Pa} = 0,102 \text{ kg}\cdot\text{k}/\text{m}^2$; $\text{kg}\cdot\text{k}$ – kilogramm-kuch); SGS birliklar sistemasiga ko‘ra din/sm^2 . Bulardan tashqari, bosimning bu sistemalarga kirmaydigan ba’zi birliklari ham ishlatiladi: texnik atmosfera – at ($1 \text{ at} = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$); millimetr simob ustuni (1 mm simob ustuni $= 133,3 \text{ Pa} = 9,81 \text{ N}/\text{m}^2 \approx 10 \text{ N}/\text{m}^2$) – buning ma’nosi 1 m^2 tekis yuzaga 1 litr suvni yoyib chiqdik degani; 760 mm simob ustuni $= 101325 \text{ N}/\text{m}^2 \approx 100000 \text{ N}/\text{m}^2$ balandligiga ko‘paytirilgan bosimga teng fizik atmosfera (hozirda ko‘proq shu birlik qo‘llaniladi) – atm ($1 \text{ atm} = 1,033 \text{ at} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$); bar, meteorologiyada millibar qo‘llaniladi ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ va $1 \text{ mbar} = 10^2 \text{ Pa}$).

Temperatura. Har qanday moddaning ko‘pchilik fizik va mexanik xossalari uning temperaturasi bog‘liq.

Temperatura – bu suyuqlik yoki gazlarning issiqlik holatini xarakterlovchi kattalik (lotincha «temperatura» – aralashishga doir, normal holat so‘zidan olingan).

Absolyut temperaturaning SI xalqaro birliklar sistemasidagi birligi Kelvin shkalasida $^{\circ}\text{K}$ – gradus Kelvin ($T^{\circ}\text{K}$ kabi belgilanadi) yoki Selsiyning yuz graduslik shkalasida $^{\circ}\text{C}$ – gradus Selsiy ($t^{\circ}\text{C}$ kabi belgilanadi) kabi yoziladi, bunda absolyut nol temperatura Kelvin shkalasida $T = 0^{\circ}\text{K}$, Selsiy shkalasida $t = -273,15^{\circ}\text{C}$ dan boshlanadi, ular orasidagi bog‘lanish esa $T^{\circ}\text{K} = 273,15^{\circ}\text{C} + t^{\circ}\text{C}$. Suyuqlik yoki gazni tashkil qilgan molekularning harakat tezligi qancha katta bo‘lsa, ularning temperaturasi shuncha yuqori bo‘ladi. Agar, suyuqlik o‘zining temperaturasidan farq qiladigan temperaturali biror muhit bilan tutashgan bo‘lsa, yoki issiqlik ajralishi bilan kuzatiladigan biror jarayon suyuqlik ichida sodir bo‘lsa, u holda, shu suyuqlikda issiqlik o‘tkazuvchanlik jarayoni yuz berib, uning temperaturasi o‘zgaradi. Suyuqlik temperaturasining o‘zgarishi uning katta tezlikda oqishidagi siqilishi yoki og‘irlik kuchlarini hisobga olgan holdagi atmosfera oqishlarida ham sodir bo‘lishi mumkin. Shuni eslatib o‘tamizki, qaynayotgan suyuqlikning temperaturasi o‘zgarmaydi.

Zichlik. Mexanik nuqtai nazardan *cheksiz kichik hajmning zichligi* yoki *o‘rtacha zichlik* deb uning massasining hajmiga nisbatiga aytiladi, ya‘ni bir jinsli modda (suyuqlik) uchun

$$\rho = \frac{M}{V}, \quad (1.2)$$

bu yerda M – suyuqlikning massasi (kg); V – suyuqlikning hajmi (m^3). Zichlikning SI xalqaro birliklar sistemasidagi o‘lchov birligi kg/m^3 . Gazlarning zichligi ko‘pincha, gram taqsim litrda (g/l) o‘lchanadi ($1 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1 \text{ g/l}$).

Ammo ba‘zi suyuqliklar zichligining o‘zgarishi uchun ularning bosimi juda keskin o‘zgarishi zarur. Shuning uchun suv (suyuq fazasida) ko‘pincha siqilmaydigan (zichligi o‘zgarmaydigan) suyuqlik deb faraz qilinadi. 1.1– va 1.2–jadvallarda bosim, temperatura, zichlik va boshqa parametrlarning har xil qiymatlari uchun mos ravishda havo va suvning xossalari keltirilgan.

Harakatlanayotgan muhitning zichligi temperatura va bosimdan, uning bosimi esa muhit harakatining xarakteridan bog‘liq.

Suvdan boshqa barcha suyuqliklarning zichligi temperatura oshishi bilan kamayadi. Suv $t=4^{\circ}\text{C}$ da yuqori anomal zichlikka ega (1.3-jadval).

1.1–jadval. Atmosfera bosimida havoning xossalari.

Temperatura $T [^{\circ}\text{K}]$	Zichlik ρ [kg/m^3]	Dinamik qovu-shoqlik $\mu \cdot 10^5$ [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$]	Issiqlik o‘tkazuvchanlik k [$\text{Wt}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{K}$]	Termo-diffuziya $\alpha \cdot 10^5$ [m^2/s]	Prandtl soni (Pr)	Solish-tirma issiqlik sig‘imlar nisbati
100	3,6010	0,6924	0,00925	0,2501	0,770	1,39
300	1,1774	1,9830	0,02624	2,2160	0,708	1,40
500	0,7048	2,6710	0,04038	5,5640	0,680	1,39

900	0,3925	3,8990	0,06279	14,271	0,696	1,34
1000	0,1858	6,2900	0,11700	48,110	0,704	1,28

1.2-jadval. To‘yingan bug‘ bosimida suvning xossalari.

Tempe- ratura t [°C]	Bosim p [kPa]	Zichlik ρ [kg/m ³]	Dinamik qovu- shoqlik $\mu \cdot 10^5$ [kg/(m·s)]	Issiqlik o‘tkazuv- chanlik k [Wt/m·°K]	Termo- diffuziya $\alpha \cdot 10^5$ [m ² /s]	Prandtl soni (Pr)
0,01	0,611	1002,28	179,2	0,552	0,01308	13,6
40	7,384	994,59	65,44	0,628	0,01512	4,34
100	101,35	960,63	28,24	0,680	0,01680	1,74
200	1553,8	866,76	13,87	0,665	0,01706	0,937
300	8581,0	714,26	9,64	0,540	0,01324	1,019

Ko‘p hollarda zichlik o‘rnida *solishtirma hajm* ishlatiladi.

Zichlikka teskari bo‘lgan kattalik solishtirma hajm deb ataladi:

$$\bar{V} = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{M},$$

uning birligi zichlikning teskari birligiga teng.

Solishtirma og‘irlik. *Hajm birligidagi moddaning (suyuqlikning) og‘irlik miqdori solishtirma og‘irlik deyiladi va γ harfi bilan belgilanadi.*

Bir jinsli modda (suyuqlik) uchun

$$\gamma = \frac{G}{V},$$

bu yerda G – suyuqlikning og‘irligi; V – uning egallagan hajmi. Bundan ko‘rinadiki, solishtirma og‘irlik: SI xalqaro birliklar sistemasida N/m³ bilan o‘lchanadi (masalan, suv $t=4^{\circ}\text{C}$ temperaturada $\rho = 1000$ kg/m³ zichlikka va $\gamma = 9800$ N/m³ solishtirma og‘irlikka ega); SGS sistemasida [din/sm³]; MKGSS sistemasida [kg·k/m³] bilan o‘lchanadi.

Massa bilan og‘irlik o‘zaro $Mg=G$ kabi bog‘langanligidan, $M = G/g$. Ma’lumki, $\rho = M/V$ ekanligidan, $\rho = G/(gV)$. Demak suvning zichligini ushbu

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1.3)$$

formula bo‘yicha aniqlash mumkin.

Ishlab chiqarish sharoitida suyuqlikning solishtirma og‘irligi yoki zichligini aniqlash uchun *areometr* deb ataluvchi maxsus asbobdan foydalaniladi (1.1-rasm).

1.3-jadval. Normal atmosfera bosimida suv jichligining temperaturadan bog‘liqligi.

$t, ^{\circ}\text{C}$	0	2	4	6	8	10	15	20	25
-----------------------	---	---	---	---	---	----	----	----	----

ρ , kg/m ³	999,87	999,97	1000	999,97	999,88	999,75	999,15	998,26	997,12
-------------------------------	--------	--------	------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

t , °C	30	40	50	60	70	80	90	100
ρ , kg/m ³	995,76	992,35	988,20	983,38	977,94	971,94	965,56	958,65

Areometr – bu cho‘zinchoq, ichi bo‘sh shisha naycha bo‘lib, yuqori tor qismi suyuqlikning solishtirma og‘irligi yoki zichligini ifodalovchi shkalalarga bo‘lingan, quyi kengaygan qismi esa suyuqlikning temperaturasini ko‘rsatadi.

Suyuqlikning solishtirma og‘irligini o‘lchash uchun areometr idishdagi suyuqlikka botiriladi. Areometrning quyi qismida joylashtirilgan yuk (odatda, u simob) hisobiga u suyuqlikda vertikal holatda suzadi. Areometrning cho‘kish darajasini ko‘rsatuvchi areometrik shkala bo‘laklari suyuqlik-ning mos solishtirma og‘irligi (zichligi) miqdorini ko‘rsatadi.



Ba‘zi suyuqliklarning har xil temperaturadagi zichliklari va solishtirma og‘irliklari 1.4– va 1.5–jadvallarda keltirilgan.

Areometr

Muvozanat holatidagi suyuqlik kichik hajmining termodinamik holati o‘zaro bog‘liq bo‘lmagan ikkita termodinamik parametrlarning berilishi bilan bir qiymatli aniqlanadi, masalan, havo uchun bosim va temperaturaning berilishi yetarli. Qolgan termodinamik parametrlar (masalan, zichlik, solishtirma hajm, ichki energiya, entalpiya, entropiya va hokazo) va holat parametrlari (masalan, tovush tezligi) yuqoridagi ikkita parametrlarning funksiyaslari bo‘ladilar.

1.4–jadval. Ba‘zi suyuqliklar zichligi va solishtirma og‘irligi.

No	Suyuqliklar	Tempera- tura (t , °C)	Zichlik (ρ , g/sm ³)	Solishtirma og‘irlik (γ , kg·k/sm ³)
1.	Toza suv	4	1	980
2.	Toza suv	15	0,999	999
3.	Dengiz suvi	15	1,02	1020
4.	Kerosin	15	0,79 – 0,82	790 – 820
5.	Benzin	15	0,68 – 0,78	680 – 780
6.	Gliserin	0	1,26	1260
7.	Neft	20	0,76 – 0,90	760 – 900

1.5–jadval. Suv solishtirma og‘irligining temperaturadan bog‘liqligi.

(t , °C)	0	4	10	20	30	40
γ , kg·k/sm ³	999,87	1000	999,73	998,23	995,67	992,24

Xususan, mo‘tadil temperatura va bosimdagi havo uchun uning termodinamik parametrlari ideal gazning quyidagi holat tenglamasi bilan bog‘langan:

$$p\bar{V} = RT \text{ yoki } p = \rho RT, \quad (1.4)$$

bunda $\bar{V} = 1/\rho$ – solishtirma hajm; p – bosim (kPa); ρ – zichlik (kg/m^3); T – absolyut temperatura; R – solishtirma gaz doimiysi, masalan, havo uchun $R = 287,1$ Joul/($\text{kg}\cdot^{\circ}\text{K}$), tabiiy gaz uchun esa $R = 520$ Joul/($\text{kg}\cdot^{\circ}\text{K}$).

Agar μ – gazning molyar massasi (masalan, havo uchun $\mu = 0,02896$ kg/mol) bo'lsa, u holda $R=R_0/\mu$, bu yerda $R_0 \approx 8,314472$ Joul/($\text{mol}\cdot^{\circ}\text{K}$) – universal gaz doimiysi. $\rho = M/V$ ekanligini e'tiborga olsak, u holda bizga ma'lum bo'lgan quyidagi Mendeleyev-Klapeyron (Klapeyron (1799-1864), fransuz fizigi va muhandisi) tenglamasiga kelamiz:

$$pV = \frac{M}{\mu} R_0 T.$$

Gazlar uchun zichlikning o'zgarishi ideal gazning (1.4) holat tenglamasiga ko'ra bosim va temperaturaning o'zgarishidan bog'liq bo'ladi. Bu munosabatdan ko'rinadiki, temperaturaning oshishi bilan zichlik kamayadi va bosimning oshishi bilan esa zichlik ham oshib boradi. Suv uchun uning har xil termodinamik parametrlari o'rtasidagi bog'lanishni sodda arifmetik ifoda ko'rinishida ifodalab bo'lmaydi, ammo bu bog'lanish jadvallar yordamida ham aniqlanishi mumkin.

Umuman olganda, suyuqlik zarrachasining gidrodinamik miqdorlari $Oxyz$ to'g'ri burchakli Dekart koordinatalari fazosida $\rho = \rho(x, y, z, t)$ – zichlik, $T = T(x, y, z, t)$ – temperatura, $p = p(x, y, z, t)$ – bosim, $\vec{u} = \vec{u}(x, y, z, t)$ – tezlik va boshqa funksiyalar orqali ifodalanadi.

Qovushoqlik. Harakatlanayotgan suyuqlikdagi siljish kuchlarining miqdori dinamik qovushoqlik tushunchasiga olib keladi. *Suyuqlikning qovushoqligi* deb uning zarrachasi ko'chishiga qarshilik ko'rsatish xossasiga aytiladi. Molekulalarning o'zaro ta'sirlashishi qovushoqlikning fizik sababidir. Suyuqlik tomchilari va gazlarning molekulyar tuzilishi farqli bo'lganligi sababli ularning qovushoqlik tabiati ham farqli bo'ladi. Suyuqliklarda qovushoqlik – bu uning molekullari orasidagi ichki ishqalanish kuchining, gazlarda esa molekullarning xaotik harakati natijasidagi ularning o'zaro ta'sirlashishining paydo bo'lishidir. Shuning uchun gazlarda temperaturaning oshishi bilan molekullar harakati faollashadi, bu esa o'z navbatida shu gazdagi qovushoqlikning oshishiga olib keladi. Aksincha, tomchili suyuqliklarda temperaturaning oshishi ularning qovushoqligi kamayishiga olib keladi, ya'ni molekullar orasidagi o'rtacha masofaning oshishi sodir bo'ladi.

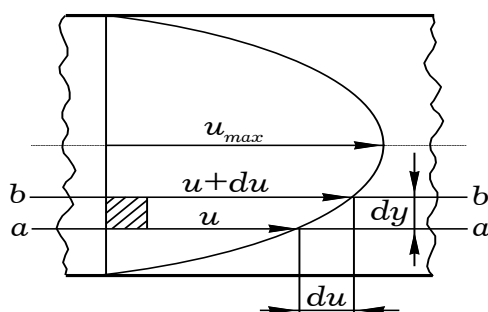
Moddaning muvozanat holati uning parametrlarining fazoda joylashishi bilan xarakterlanadi. Agar biror ta'sir natijasida fazoning biror nuqtasida muvozanat buzilishi paydo bo'lsa, u holda bu moddada shu muvozanatni tiklashga intiluvchi mexanik yoki issiqlik almashinishi jarayoni boshlanadi. Umumiy holda bu almashinish *ko'chirish jarayoni* deb ataladi. Turli hodisalarda energiyani, massani (moddani) va harakat miqdorini ko'chirish jarayonlarini kuzatish mumkin.

Qovushoqlik – bu harakat miqdorini ko'chirish jarayonini anglatadi.

Qovushoqlik kuchlari qanday paydo bo'lishini tushuntirish maqsadida suyuqlikning doiraviy quvurdagi oqishini qaraymiz. Suyuqlik zarrachalarining tezlik

vektorlari Ox o'qiga parallel deb hisoblaymiz. Eng sodda holdan kelib chiqib, oqim ko'ndalang kesimidagi tezliklar taqsimotini quramiz. Ko'ndalang kesimdagi tezliklar taqsimotining grafik tasviri *tezliklar epyurasi* (*tezliklar maydoni*) deb ataladi. Suyuqlikning quvur devoriga tegib turgan zarrachalari tezliklari nolga teng va simmetriya o'qiga yaqinlashgan sari bu tezlik oshib boradi, simmetriya o'qida esa u o'zining maksimal qiymatiga erishadi: $u = u_{\max}$ (1.2–rasm).

Suyuqlikning o'zaro dy masofada joylashgan ikki qatlamini ($a-a$ va $b-b$) qaraylik. Faraz qilaylik, $a-a$ qatlam u tezlik bilan harakat qilayotgan bo'lsin. Demak, $b-b$ qatlam ham mos ravishda $u+du$ tezlikka ega bo'ladi. Shunday qilib, qatlamlar orasida joylashgan to'g'ri to'rtburchakli suyuqlik zarrachasining yuqori va quyi chegaralari tezliklari turlicha bo'lganligi hisobidan uning deformatsiyalanishi sodir bo'ladi. Bunday harakat gidro-mexanika nuqtai nazaridan *oddiy siljish* yoki *sof siljish oqimi* deb ataladi.



1.2–rasm. Quvurdagi oqim va tezlik epyurasi.

Harakatlanayotgan suyuqlik qatlamlari orasida paydo bo'ladigan taranglik kuchining miqdori Nyuton tomonidan taklif etilgan va ko'p sonli tajribalar bilan tasdiqlangan formula bilan aniqlanadi:

$$F_{ishq} = \mu \frac{du}{dy} S, \text{ bu yerda } S - \text{o'zaro tegib turgan qatlamlar sirti yuzasi; } du/dy -$$

miqdor normal yo'nalishida tezlik o'zgarishini, boshqacha aytganda, agar epyura haqida gap ketsa – tezlikning o'zgarish sur'atini bildiradi. Ba'zida bu miqdorni *tezlikning ko'ndalang gradiyenti* yoki *siljish deformatsiyasi tezligi* deb ham atashadi. Oxirgi tenglikning ikkala tarafini S ga bo'lamiz. F_{ishq}/S nisbat τ – urinma kuchlanishni beradi.

Shunday qilib, tajribalar ko'rsatdiki, ko'pgina suyuqliklar uchun Nyuton gipotezasi o'rinli, ya'ni bunga ko'ra siljish kuchlanishi deformatsiya tezligiga (gradientiga) to'g'ri proporsional, ya'ni

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}, \quad (1.5)$$

bunda μ – suyuqlikning fizik tabiatidan, agregat holatidan va temperaturasidan bog'liq, ammo uning bosimidan deyarli bog'liq bo'lmagan proporsionallik koeffisienti bo'lib, u *dinamik qovushoqlik* yoki sodda qilib *qovushoqlik koeffisienti* deb ataladi va SI birliklar sistemasida $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (bunda s – sekund) bilan o'lchanadi.

Toza suv uchun dinamik qovushoqlikning temperaturadan bog‘liqlik ifodasi fransuz olimi J.Puazeyl tomonidan taklif etilgan bo‘lib, u quyidagicha yoziladi:

$$\mu = \mu_0 (1 + 0,0337t + 0,000221t^2)^{-1},$$

bunda t – temperatura, $0 - 90^\circ\text{C}$; μ_0 – bu $t = 0^\circ\text{C}$ dagi dinamik qovushoqlik. Dinamik qovushoqlik birligi uning nomiga «Puaz» (P) deb ataladi. SI birliklar sistemasida: $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P}$; SGS birliklar sistemasida esa $1 \text{ P} = 1 \text{ g}/(\text{sm} \cdot \text{s})$.

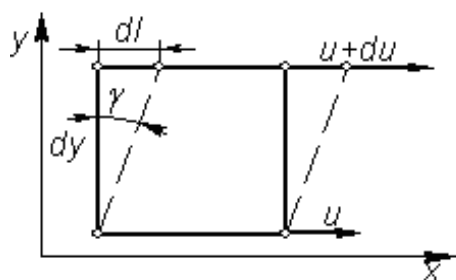
Yuqoridagi (1.5) munosabatlardan yana bitta muhim xulosa chiqarish mumkin: *agar suyuqlik tinch holatda bo‘lsa, u holda $u = 0$ va buning natijasida $\tau = 0$, ya‘ni tinch holatda turgan suyuqlikda qovushoqlik kuchlari sezilmaydi.* Bu tabiiy holda ham kuzatiladi. Haqiqatan ham, idishga solingan suyuq muhitning qovushoqlik darajasini bilish uchun, masalan, stol ustida turgan stakandagi suyuqlikni boshqa idishga quyib ko‘rish yoki shu stakanga biror tayoqchani botirib olib, keyin undan suyuqlik qanday oqib tushishini kuzatish kifoya. Bu bilan biz suyuqlikning harakatini tabiiy holda kuzatgan bo‘lamiz.

Qaralayotgan suyuqlik zarrachasi tezligining ko‘ndalang gradiyenti quyidagicha mexanik ma‘noga ega (1.3–rasm): dastlab to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi suyuqlik zarrachasining yuqori va quyi qirralarida tezliklar farqi natijasida u deformatsiyalanadi va parallelogrammga aylanadi; dl kesma deformatsiyaning dt vaqt

birligi ichidagi miqdorini ifodalaydi, ya‘ni $dl = du \cdot dt$, u holda $\frac{du}{dy} = \frac{dl}{dt \cdot dy}$;

ammo $\frac{dl}{dy} = \text{tg} \gamma$, u holda $\frac{du}{dy} = \frac{\text{tg} \gamma}{dt}$. Bundan tezlikning ko‘ndalang gradiyenti siljishning nisbiy deformatsiyasi tezligini ifodalashi kelib chiqadi.

Shunday qilib, suyuqlikdagi urinma kuchlanish nisbiy deformatsiya tezligidan chiziqli bog‘liq ekan. Suyuqlikning qattiq jismdan prinsipial farqi ham shundadir, chunki qattiq jismda urinma kuchlanish deformatsiyaning tezligiga emas, balki uning miqdoriga bog‘liq bo‘ladi.



1.3–rasm. Suyuqlik zarrachasi deformatsiyalanishining sxematik tasviri.

Yuqoridagi (1.5) tenglama Nyuton suyuqligi deb ataluvchi suyuqliklarning holatini tavsiflaydi. Havo yoki suvning oqishi (1.5) qonuniyatga bo‘ysunadi. Shuning uchun (1.5) shart bajarilmaydigan suyuqliklar *nonyuton suyuqliklar* deb ataladi. Bunday suyuqliklar haqida 5-bobda ba‘zi ma‘lumotlar berilgan. Yuqori aniqlikdagi normal temperatura va bosimda havoga o‘xshash gazlarning qovushoqligi faqatgina temperaturaga bog‘liq bo‘ladi.

Havo uchun qovushoqlik temperatura oshishi bilan $T^{0,76}$ qonuniyat bo‘yicha oshib boradi. 1.1–jadvalda havo uchun qovushoqlikning o‘ziga xos qiymatlari keltirilgan. Suvga o‘xshash suyuqliklarda qovushoqlik bosimdan kuchsiz bog‘langan bo‘ladi, ammo temperaturaning o‘zgarishi bilan keskin o‘zgaradi. Gazlardan farqli ravishda suyuqliklarning qovushoqligi temperaturaning oshishi bilan keskin

kamayadi. Bunga misol sifatida suvning qovushoqlik qiymatlari 1.2–jadvalda keltirilgan. Temperaturaning oshishi bilan qovushoqlikning kamayishi barcha suyuqliklarga xos. Ammo katta bosimlarda bosimning oshishi bilan suyuqlikning qovushoqligi tez oshadi. Bu hodisa faollashuv energiyasining o‘shishi va relaksatsiya vaqtining mos kattalashishidan bog‘liq. Shuning uchun, suyuqlikning qovushoqligi uning turidan, temperaturasidan va bosimidan bog‘liq.

Temperaturasi o‘zgarishi kuzatiladigan oqimlar uchun Furrye qonuni o‘rinlidir, bunda issiqlik ko‘chirishning lokal tezligi temperatura gradientiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi, y’ani

$$\dot{Q}_i = -k \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad (1.6)$$

bunda $\dot{Q}_i - x_i$ o‘qi yo‘nalishdagi birlik yuzaga mos keluvchi issiqlik uzatish tezligi; k – issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti. Ta’kidlaymizki, (1.5) va (1.6) munosabatlar o‘zaro o‘xshash. Agar (1.6) dagi plastinkalar temperaturalarining qiymati har xil bo‘lsa, u holda (1.6) qonuniyatga ko‘ra suyuqlikda issiqlik uzatishi ushbu

$$\dot{Q}_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}$$

munosabatga bo‘ysunadi, bu yerda k – issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti $\text{Wt/m} \cdot \text{K}$ bilan o‘lchanadi. Gazlarning issiqlik o‘tkazuvchanligi, xuddi qovushoqlikka o‘xshab, temperatura oshishi bilan oshib boradi. Suyuqliklar uchun, masalan, suv uchun, bosimning bir atmosferasida va temperaturaning 0°C dan 100°C oralig‘ida issiqlik o‘tkazuvchanlik juda ham kam o‘zgaradi. Havo va suvning o‘ziga xos issiqlik o‘tkazuvchanligi qiymatlari 1.1– va 1.2–jadvallarda keltirilgan.

Qovushoqlik va temperatura kelgusida o‘rganiladigan impuls va energiya tenglamalariga kiradi. Bu parametrlardan tashqari *kinematik qovushoqlik* va *issiqlik diffuziyasi* tushunchalarini ham kiritish zarur. Bular mos ravishda quyidagi munosabatlardan aniqlanadi:

$$\nu = \mu / \rho \quad \text{va} \quad \alpha = k / (\rho C_p),$$

bunda C_p – o‘zgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sig‘imi. ν va α ning qiymatlari SI birliklar sistemasida m^2/s (bunda s – sekund) bilan o‘lchanadi (bundan tashqari bu sistemaga kirmagan cm^2/s – stoks (St) birlik ham ishlatiladi: $1 \text{ St} = 0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$; bu birlik ingliz olimi G.Dj.Stoks nomiga qo‘yilgan) va ular *harakat miqdori* va *issiqlikka* mos kelib, *diffuziyani* ifodalaydi. Gazlar uchun xuddi havodagi kabi ν va α lar temperaturaning oshishi bilan oshib boradi (1.1–jadvalga qarang). Suyuqliklarda esa temperaturaning oshishi bilan kinematik qovushoqlik tez pasayadi, issiqlik diffuziyasi esa juda sekin oshib boradi.

Ko‘p hollarda suyuqlikni siqilmaydigan deb hisoblash mumkin. Aynan ana shunday hollarda dinamik qovushoqlik muhim ahamiyatga ega bo‘ladi. Ba’zu suyuqlik va gazlar uchun $t = 20^\circ\text{C}$ temperaturada dinamik (μ) va kinematik (ν) qovushoqliklarning qiymatlarini 1.6–jadvalda keltiramiz.

Qovushoqlik suyuqliklarning fizik xossalari va temperaturasiga bog‘liq holda o‘zgaradi. Masalan, suv uchun 1.7–jadvalda dinamik va 1.8–jadvalda kinematik qovushoqlik koeffitsiyentlarining temperaturaga bog‘liq o‘zgarishlari keltirilgan.

Eslatib o‘tamizki, gazlarning dinamik qovushoqligi berilgan temperaturada bosimga bog‘liq emas, kinematik qovushoqlik esa mos ravishda zichlikka teskari proporsional.

Mineral yog‘larda bosimning atmosfera qiymatidan 40 MPa gacha o‘zgarishida kinematik qovushoqlik $t=80^{\circ}\text{C}$ da 2 marta va $t=40^{\circ}\text{C}$ da 3 marta ortadi. Suvda bosimning qovushoqlikka ta’sir darajasi kichik.

1.6–jadval. Ba’zi suyuqlik va gazlar uchun $t=20^{\circ}\text{C}$ temperaturada μ va ν larning qiymatlari.

Suyuqlik va gazlar	μ , g/(sm·s)	ν , sm^2/s
Suv	0,01	0,01
Havo	0,00018	0,15
Spirit	0,018	0,022
Gliserin	8,5	6,8
Simob	0,0156	0,0012

1.7–jadval. Suv dinamik qovushoqligining temperaturaga bog‘liq holda o‘zgarishi.

t , $^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	30
μ , mPa·s	1,78	1,52	1,31	1,14	1,01	0,80

t , $^{\circ}\text{C}$	40	50	60	70	80	90
μ , mPa·s	0,66	0,55	0,47	0,41	0,36	0,32

1.8–jadval. Suv kinematik qovushoqligining temperaturaga bog‘liq holda o‘zgarishi.

t , $^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\nu \cdot 10^{-6}$, m^2/s	1,79	1,73	1,67	1,62	1,57	1,52	1,47	1,43	1,39

t , $^{\circ}\text{C}$	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$\nu \cdot 10^{-6}$, m^2/s	1,35	1,31	1,27	1,24	1,21	1,18	1,15	1,12	1,19	1,06

t , $^{\circ}\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50	60	70	90	100
$\nu \cdot 10^{-6}$, m^2/s	1,01	0,90	0,81	0,72	0,66	0,60	0,55	0,48	0,41	0,31	0,28

Suyuqliklarning qovushoqligi har xil viskozimetrlar va qurilmalar yordamida o‘lchanadi.

Siqiluchanlik - bu suyuqlikning bosim ta’sirida o‘z hajmini o‘zgartirish xossasi. Bu xossaning miqdoriy xarakteristikasi hajmiy siqilish koeffitsientidir.

Hajmiy siqilish koeffisienti *deb suyuqlik bosimining bir birlikka o'zgarishidagi nisbiy hajm o'zgarishiga aytiladi va β_V kabi belgilanadi:*

$$\beta_V = -\frac{\Delta V}{V \cdot \Delta p} = \frac{\Delta \rho}{\rho \cdot \Delta p},$$

bunda ΔV va $\Delta \rho$ – bosimning Δp miqdorga o'zgarishiga mos keluvchi mos ravishda V hajmning va ρ zichligining o'zgarishlari (bu yerda ushbu $\rho \Delta V = V \Delta \rho$ massa o'zgarmaslik sharti e'tiborga olingan). Keltirilgan ta'rifdan ko'rinadiki, hajmiy siqilish koeffisiyentining o'lchov birligi Pa^{-1} , ya'ni $[\beta_V] = Pa^{-1}$.

Hajmiy siqilish koeffisientiga teskari miqdor suyuqlikning elastiklik moduli E_s (Pa) deb ataladi:

$$E_s = 1/\beta_V \text{ yoki } E_s = \rho \Delta p / \Delta \rho.$$

Bu yerdan

$$\Delta \rho / \rho = \Delta p / E_s.$$

Bu munosabat suyuqliklar uchun har taraflama siqilish sharoitida Guk qonunini ifodalaydi.

Suyuqliklarning elastiklik moduli E_s ning qiymati bosim va temperaturadan bog'liq, shuning uchun suyuqliklar Guk qonuniga «aniq bo'ysunmaydi». Elastiklik moduli adiabatik va izotermik turlarga bo'linadi. Birinchisi ikkinchisidan biroz katta va u suyuqlik siqilishining tez oqimli jarayonlarida namoyon bo'ladi, masalan, quvurdagi gidrozarbada. Bosim va temperaturaning kichik o'zgarish oralig'ida E_s ning qiymatini o'zgarmas deb hisoblash mumkin. Masalan, suv uchun $E_s \approx 1000$ MPa, bu miqdor po'latnikidan qariyb 100 marta katta. Suv uchun elastiklik moduli E_s ning har xil temperaturadagi qiymatlari 1.9-jadvalda keltirilgan (bosimning o'zgarishi normal holatdan 50 atm gacha).

Gidravlik uzatgichli mexanizmlarda foydalaniladigan mineral yog'larning elastiklik moduli $t=20^{\circ}C$ da 1,35–1,75 GPa (bundagi kichik qiymatlar yengilroq yog'larga mos keladi), benzin va kerosin uchun 1,3 GPa, simob uchun o'rtacha 3,2 GPa, burg'ulashda foydalaniladigan soz tuproqli qorishmalar uchun 2,5 GPa.

1.9-jadval. Suv elastiklik moduli E_s ning har xil temperaturadagi qiymatlari.

$t, ^{\circ}C$	0	10	20	30
E_s, MPa	999,87	999,97	1000	999,97

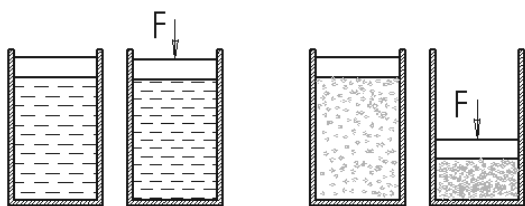
Agar bosim orttirmasini $\Delta p = p - p_0$ deb, hajm o'zgarishini $\Delta V = V - V_0$ deb va zichlik orttirmasini $\Delta \rho = \rho - \rho_0$ deb qabul qilsak, yuqoridagi hajmiy siqilish koeffisientini hisoblash ifodasidan quyidagilar kelib chiqadi:

$$V_0 = V(1 + \beta_V \Delta p); \quad \rho_0 = \rho(1 - \beta_V \Delta p).$$

Tomchili suyuqliklar uchun β_V ning qiymati juda ham kichik: $(3 - 7,4) \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$. Suv uchun uning o'rtacha qiymati $\beta_V = 5 \cdot 10^{-10} Pa^{-1}$. Bu shuni anglatadiki, bosim 0,1 MPa (~ 1 atm) ga oshganda $\Delta V/V_0$ hajmning nisbiy o'zgarishi 1/20000 ni tashkil etadi, ya'ni u juda ham sezilarsiz. Shuning uchun ko'pgina hollarda tomchili suyuqliklarni

siqilmaydigan suyuqliklar deb hisoblash mumkin. Gazsimon suyuqliklar esa, umuman olganda, juda ham siqiluvchan moddalardir (1.4-rasm).

Gazlarning siqiluvchanligi juda ham katta, masalan, izotermik jarayonda atmosfera havosining hajmiy siqilish koeffitsiyenti 10^{-5} Pa^{-1} .



1.4-rasm. Suyuqlik va gazlarning siqilishi.

Ideal gazni taxminan 10 MPa bosim-gacha siqish mumkin. Suyuqlikning siqilishi asosan unga aralashgan gaz pufak-chalarining siqilishidan bog'liq. Siqilish-da energiya sarflanadi. Siqiluvchanlik gidrotizimda avtotebranishlarni yuzaga keltirishi, bosimning keskin o'zgarishiga

olib kelishi mumkin (masalan, suv quvuridagi jo'mrakni keskin ochish yoki yopishda). Bunday hollarda suyuqlikning siqiluvchanligini e'tiborga olmaslik jiddiy xatoliklarga olib keladi.

Agar suv absolyut siqilmaydigan suyuqlik bo'lganda edi, okeanlardagi suv sathining balandligi yana 30 m ga ko'tarilgan bo'lar edi.

Temperaturaviy kengayish koeffitsiyenti deb suyuqlik temperaturasining bir birlikka o'zgarishidagi uning hajmining nisbiy o'zgarishiga aytiladi va u $\beta_t \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-1}$ kabi belgilanadi:

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta t} = -\frac{\Delta \rho}{\rho \Delta t},$$

bunda ΔV va $\Delta \rho$ – temperaturaning Δt miqdorga o'zgarishiga mos keluvchi mos ravishda V hajmning va ρ zichlikning o'zgarishi.

Suv uchun temperaturaviy kengayish koeffitsiyenti temperatura va bosimning oshishi bilan ortadi; boshqa ko'pchilik tomchili suyuqliklar uchun esa $\beta_t \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-1}$ bosimning oshishi bilan pasayadi. Temperatura va bosimning kichik oraliqlarda o'zgarishida uni $\beta_t = \text{const}$ deb qabul qilish mumkin. Suv uchun bosimning 0,1 dan 20 MPa gacha oshishida va t (1 – 100) $^{\circ}\text{C}$ temperaturalarda β_t koeffitsiyent $14,0 \cdot 10^{-6}$ dan $621,0 \cdot 10^{-6}$ gacha o'sadi. Masalan, suv uchun $t = 20^{\circ}\text{C}$ va $p = 0,1 \text{ MPa}$ bo'lganda $\beta_t = 150,0 \cdot 10^{-6} \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-1}$. Aniqroq qilib aytganda, suvning β_t temperaturaviy kengayish koeffitsiyenti 50°C temperaturagacha o'sib boradi, 50°C temperaturadan oshganda esa kamayib boradi. Ba'zi suyuqliklarning β_t qiymatlari normal atmosfera bosimi va 20°C temperatura uchun 1.10-jadvalda keltirilgan. Suvning normal atmosfera bosimidagi β_t qiymatlari 1.11-jadvalda keltirilgan.

Neft mahsulotlarining zichligi 920 kg/m^3 dan 700 kg/m^3 gacha kamayganda β_t koeffitsiyent 0,0006 dan 0,0008 gacha ortadi. Gidrotizimlarda foydalaniladigan suyuqliklar uchun odatda β_t koeffitsiyent temperaturadan bog'liq emas deb qabul qilinadi. Bunday suyuqliklar uchun bosim atmosfera bosimidan 60 MPa gacha oshganda β_t koeffitsiyent 10 – 20 % gacha ortadi, bunday suyuqliklarning temperaturasi qancha yuqori bo'lsa β_t koeffitsiyentning qiymati shuncha sezilarli ortib boradi.

Agar temperatura orttirmasini $\Delta t = t - t_0$ deb, hajm o'zgarishini $\Delta V = V - V_0$ deb qabul qilsak, yuqoridagi temperaturaviy kengayish koeffisientini hisoblash formulasidan quyidagilar kelib chiqadi:

$$V_0 = V(1 - \beta_t \Delta t) \text{ yoki } \gamma_0 = \gamma(1 + \beta_t \Delta t); \rho_0 = \rho(1 + \beta_t \Delta t).$$

Bu yerdan suyuqlik qizdirilganda uning hajmi oshishi hisobiga shu suyuqlik zichligining kamayishini aniqlashning quyidagi D.I.Mendelev formulasi kelib chiqadi:

$$\rho = \rho_0 / (1 + \beta_t \Delta t).$$

1.10-jadval. Ba'zi bir suyuqliklarning β_t – temperaturaviy kengayish koeffisiyenti

Koeffisiyent	Suv	Glitserin	Spirt	Neft	Simob
$\beta_t, 10^{-3} (^{\circ}\text{K})^{-1}$	0,15	0,50	1,10	0,60	0,18

1.11-jadval. Suv uchun β_t koeffisiyentning normal atmosfera bosimidagi qiymatlari.

Bosim p , atm	$\beta_t, 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{K}^{-1}$ ning har xil $t (^{\circ}\text{C})$ dagi qiymatlari				
	1–10	10–20	40–50	60–70	90–100
1	140	150	420	556	719
100	430	165	422	548	–
500	1490	236	429	523	661

Cho'zilishga qarshilik. Maxsus fizik tajribalar shuni ko'rsatadiki, sokin suyuqlik (xususan, suv, simob) ba'zida juda katta cho'zuvchi zo'riqlarga qarshilik ko'rsatish xususiyatiga ega. Ammo oddiy sharoitda vaznli qattiq zarrachalar va mayda gaz pufakchalarni o'z ichiga olgan texnik jihatdan toza suyuqliklar, hatto juda kichik cho'zilish kuchlanishiga ham bardosh bermaydi. *Shuning uchun tomchili (xususan, texnik) suyuqliklarda cho'zilish kuchlanishi mavjud emas deb hisoblash qabul qilingan.*

Ammo tajribalar yordamida shu narsa aniqlanganki, sentrifuga (mar-kazdan qochirma kuch ta'sirida qorishmani mexanik ravishda ajratuvchi qurilma) yordamida gabsizlantirilgan distillangan suvning juda ham qisqa vaqt oralig'ida cho'zilish kuchlanishi taxminan 25 MPa ga yetgan.

Gazlarning eruvchanligi. Barcha suyuqliklar ma'lum miqdorda gazni eritadi, ya'ni gaz aralashmasiga ega. Daltonning eruvchanlik qonuniga ko'ra 30 MPa gacha bosimda va o'zgarmas temperaturada V_g/V_s – erigan gazning nisbiy hajmi k_p – *eruvchanlik koeffisiyenti* deb ataluvchi o'zgarmas miqdorga teng. Eruvchanlik koeffisiyenti temperaturadan bog'liq:

$$\frac{d \ln k_p}{dT} = \frac{\Delta h}{RT^2},$$

bu yerda Δh – eruvchanlikda entalpiyaning o'zgarishi; R – universal gaz doimiysi.

Agar eruvchanlik jarayoni biror p_2 bosimda sodir bo'layotgan bo'lsa, u holda ba'zi bir etalon p_1 bosim (masalan, atmosfera bosimi) dagi gaz hajmini hisoblab, quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$\frac{V_{g,p_1}}{V_{s,p_2}} = k_p \frac{p_2}{p_1},$$

bu yerda V_{g,p_1} - eruvchan gazning p_1 bosim va t temperaturadagi hajmi; V_{s,p_2} - suyuqlikning p_2 bosim va t temperaturadagi hajmi; k_p - shu gazning t temperaturada qaralayotgan suyuqlikdagi eruvchanlik koeffitsiyenti.

Atmosfera bosimiga ega va $t = 20^\circ\text{C}$ li suv 1,6% havo eritmasiga (aralashmasiga) ega, ya'ni $k_p = 0,16$. Agar suvning temperaturasi 0°C dan 30°C gacha oshib borsa, undagi havo eritmasi kamayib boradi. Temperaturasi 20°C bo'lgan yog'larda havoning eritmasi taxminan 0,08 – 0,1 qiymatga teng. Kislorod havoga nisbatan ancha eruvchanroq, shuning uchun suyuqlikda erigan havodagi kislorod miqdori atmosferali havodagiga nisbatan taxminan 50% ga ortiq. Bosimi kamaygan suyuqlikdan ajralib chiqqan gaz hajmi yuqoridagi oxirgi formuladan aniqlanadi. Suyuqlikdan gazning ajralib chiqishi jarayoni uning erishiga nisbatan tezroq kechadi.

Qaynash va kavitatsiya. *Qaynash* – bu suyuqlikning gaz holatiga o'tishidagi ichki jarayon. Berilgan bosimdagi suyuqlikni qaynatish uchun uning temperaturasini qaynash temperaturasigacha oshirib yoki berilgan temperaturadagi suyuqlik bosimini to'yingan bug' bosimigacha kamaytirib borish lozim. Odatda berilgan temperaturadagi suyuqlik bosimi to'yingan bug' bosimigacha kamaytirilganda suyuqlikdan undan ajralib chiquvchi bug' yoki gaz pufakchalari paydo bo'ladi va suyuqlikda «*sovuyq qaynash*» hodisasi sodir bo'ladi. Agar bunday suyuqlik erkin sirtga ega bo'lsa, u holda ular suyuqlik sathiga qalqib chiqadi.

Agar tomchili suyuqlik yopiq fazoda joylashgan bo'lib, u erkin sirtga ega bo'lmasa, u holda bu pufakchalar suyuqlik bilan birga uning quyiroq temperaturali yoki yuqoriroq bosimli sohasiga qarab harakatlanadi. Bu jarayonda gaz bug'lari tomchilanib (suyuq holatga o'tib), gazlar esa yana suyuqlikka qorishib boshlaydi, hosil bo'gan bo'sh joylarga suyuqlik zarrachalari kirib boradi, bu esa o'z navbatida pufakchalarning oniy «paqillashi»ga olib keladi. Buning natijasida esa pufakchalar paqillagan sohalarda bosim keskin oshadi va u joylarda temperatura ko'tariladi. Bunday hodisa *kavitatsiya* deb ataladi. Bunday pufakchalar paqillaguncha qancha kam gazga ega bo'lsa, kavitatsion pufakchalarning paqillashi shuncha kuchli bo'ladi va tovush impulsini paydo qiladi. Biror sirt yaqinida bunaqangi ko'p marta takrorlanuvchi tovush zarbalari shu sirtning yemirilishiga (kavitatsion yemirilishga) olib keladi (masalan, quvur devori, turbina parragi va hokazo). Agar suyuqlik gabsizlantirilgan bo'lsa, u holda berilgan bosimdagi bunday suyuqlik qaynash temperaturasidan yuqori temperaturagacha qizdirilsa ham qaynamaydi.

Gazlar suyuqlikda qorishgan yoki qorishmagan holatda bo'lishi mumkin. Agar suyuqlikdagi qorishmagan havo (gaz) pufakchalar shaklida bo'lsa, u holda bunday suyuqlikning elastiklik moduli kamayadi va bunday kamayish havo pufakchalarining o'lchamidan bog'liq bo'lmaydi.

Suvning muhim xossalari. Bizga ma'lumki, «suv» tushunchasi bu faqat H₂O molekulalardan tuzilgan modda degani emas. Vodorod va kislorodlar izotoplarining har xil kombinatsiyalari suvning 36 xili mavjudligini ta'minlaydi. Tabiiy suvda H₂O molekulalar miqdori 99,7% ni, qolgan 0,3% ni esa suvning boshqa xillari molekulalari tashkil etadi. Bu bilan molekulalar har xilligining suv xossasiga ta'siri uning suv hajmidagi mavjud miqdoriga proporsional degani emas.

Suv bu anomal modda. Avvalambor suv bu odatdagi temperatura va bosimda uch xil agregat holatida (qattiq (muz), suyuq va gazsimon (bug')) bo'la oladigan sayyoramizdagi yagona modda. Ko'pgina suyuqliklar o'zining kengayishi bilan o'quvchanlik xususiyatini namoyon qilsa, suv aksincha, ya'ni siqilganda. Xuddi shunday, temperaturaning oshishi bilan suvning zichligi anomal o'zgarib boradi (1.3-jadval).

Qattiq jismlar eritilganda hosil bo'lgan moddaning issiqlik sig'imi juda kam o'zgaradi, muz eriganda esa bu miqdor keskin ikki martaga (2,052 dan 4,224 kJ/kg gacha) o'zgaradi. Suv anomal kattalikdagi solishtirma issiqlik sig'imiga ega ($C_p = 4,18 \text{ J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{K})$), bu miqdor temirnikidan 9 marta, simobnikidan 33 marta, ohaktoshnikidan 5 marta katta va hokazo. Suv isitilganda avvalo uning issiqlik sig'imi kamayib, $t = 34,5^{\circ}\text{C}$ da o'zining minimal qiymati 4,18 kJ/kg gacha tushib ketadi, keyin yana ko'tariladi. Bunday minimal qiymatning paydo bo'lishi sababi ana shu temperaturada suv molekulalarining bir guruhi yemiriladi. Suv ikki xil tuzilmaning aralashmasidan tashkil topgan deb faraz qilinadi: yumshoq muzsimon va zich joylashgan, bunda suvning barcha anomal xossalari bir tuzilmadan ikkinchisiga o'tishi bilan izohlanishi mumkin.

Sunday qilib, masalan, ko'l va ko'l qirg'og'idagi quruq qumloq plyajdagi suvga havoning bir xil temperaturasi va quyoshning bir xil issiqligi ta'sir qilishiga qaramasdan, ko'ldagi suv qirg'oqdagiga qaraganda 5 marta kam isiydi, ammo u o'ziga olgan issiqlikni qumloqdagi suvqa qaraganda shuncha marta ko'p vaqt ushlab turadi.

Suv muzlaganda uning hajmi taxminan 10% ga ortadi. Suvning muzlash temperaturasi uning bosim oshishi (19,6 MPa gacha) bilan kamayib boradi, keyin esa ko'tariladi.

Chuchuk suvli sig'imdan suvning vertikal harakati $t=4^{\circ}\text{C}$ da to'xtaydi. Bunday temperaturada suv stratifikatsiyalanadi (quyi qatlamlarda joylashgan suvning zichligi yuqori qatlamlardagiga nisbatan kattaroq).

Dengiz suvi $-1,9^{\circ}\text{C}$ da muzlaydi. Tuproq kapilyarlaridagi suv ba'zan $+4,4^{\circ}\text{C}$ da ham muzlashi mumkin.

Suv juda yuqori bug'lanish issiqligiga ($22,6\cdot 10^5 \text{ J}/\text{kg}$) va yopiq erish issiqligiga ($3,34\cdot 10^5 \text{ J}/\text{kg}$) ega. Atmosfera bosimida suvning bug' holatiga o'tishi muzning shu bosimda erishidagiga nisbatan atrof muhitdan 6,75 marta ko'p issiqlik talab qiladi.

Tuman hosil bo'lganda (namlik to'planganda) ancha ko'p issiqlik ajralib chiqadi. Bu jarayondan sun'iy tuman hosil qiluvchi qurilmalarda foydalaniladi. Bunday qurilmalardan nafaqat sugorishda, balki o'simliklarni muzlashdan asrashda ham foydalanish mumkin.

Quruq muz yoki qorning elektr o'tkazuvchanligi suvning elektr o'tkazuvchanligidan ancha kam, bunda suvning elektr o'tkazuvchanligi undagi aralashmalarning miqdoridan bog'liq, muz va qorda esa ularning ta'siri juda kam. Suvning elektr o'tkazuvchanligi undagi erigan tuzlar konsentratsiyasidan bog'liq. Shuning uchun dengiz suvining elektr o'tkazuvchanligi daryodagi chuchuk suvnikidan 2-3 marotama ortiq va kimyoviy yo'l bilan olingan toza (distillangan) suvnikiga (18°C) nisbatan esa 12000 marta katta.

Suv kuchli erituvchi modda. Uning bu xususiyati yetarlicha yuqori bo'lgan nisbiy dielektrik o'tkazuvchanligi bilan xarakterlanadi. Bu miqdor 0°C li tozalangan suvda 87,0 ga yaqin, temperaturaning oshishi bilan u 100°C da 55,7 gacha kamayadi. Taqqoslash uchun shuni aytishimiz mumkin, boshqa eritmalarning dielektrik o'tkazuvchanligi suvnikidan ancha kam va bu miqdor 10 dan 50 gacha, elektrolitlarni eritish xususiyatiga umuman ega bo'lmagan noqutbiy suyuqliklar uchun esa u 2 dan 2,5 gacha. Shunday qilib, taqqoslash uchun havoning dielektrik o'tkazuvchanligi 1 ga, muzniki 3,2 ga tengligini e'tiborga olsak, suvning dielektrik o'tkazuvchanligi qanchalik katta ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

Suvda kislorodga boy havo aralashmasining va bir qator «tajovuzkor» komponentalarning mavjudligi suvning inshootlar materiallariga kuchli ta'sirini kuzatishimiz mumkin, masalan, metallarning zanglashi (korroziya). Suvda erigan tuzlar va undagi suzib yuruvchi qattiq zarrachalar qurilma devorida «o'tirib qolishi» mumkin, masalan, bu quvurlar suv o'kazish xususiyatining sezilarni kamayishiga olib keladi.

Masalalarni yechishga oid umumiy ko'rsatmalar

1. Masalalarni yechishda masalaning sharti, berilishi va uni yechishning qisqa yozuv shaklidan foydalanish tavsiya etiladi (namunalar keltirilgan). Bunday yozuv shakli maktab darsliklarida fizika va kimyo fanlari masalalarini yechishda foydalanilgan, bu esa talabalarda ushbu fandan ham masalalarni yechishni osonlashtiradi va unga tizimli yondashuvni shakllantiradi.

2. Ushbu mavzu bo'yicha masalalarni yechishni o'rganish uchun avvalo shu mavzuning asosiy tushunchalari (bosim, urinma kuchlanish, massa, solishtirma massa, elastiklik, temperaturaviy kengayish, qovushoqlik va boshqa), belgilashlarni va formulalari yaxshi o'zlashtirishi talab etiladi.

3. Suyuqlikning asosiy xossalari nixarakterlovchi miqdorlarning o'lchov birliklarini, bir birlik sistemasidan ikkinchisiga o'tish (masalan, SI va SGS birliklar sistemalari) qoidalarini aniq bilish zarur.

4. Masalalarni yechishdan avvalo bunda foydalaniladigan miqdorlar va parametrlarning aniq fizik ma'nosini anglash, ajrata bilish, birining ikkinchisidan bog'liqligidagi fizi-mexanik qonuniyatlarga e'tibor qaratish lozim, masalan, suyuqlikning siqilishi va kengayishi; suyuqlik hajmiy siqilish koeffitsiyenti va hajmiy

kengayishning temperaturaviy koeffitsiyenti, boshlang'ich hajm – bu siqilish yoki temperaturaviy kengayish jarayonigacha bo'lgan hajm.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1–masala. Benzinning solishtirma og'irligi $\gamma=7063 \text{ N/m}^3$. Uning zichligini aniqlang. $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – erkin tushish tezlanishi.

Yechish: Zichlikni solishtirma og'irlika nisbatan hisoblash formulasi (1.3) ga asosan

$$\rho = \gamma/g = 7063 / 9,81 = 720 \text{ kg/m}^3.$$

2–masala. Dizel yog'ining zichligi $\rho = 878 \text{ kg/m}^3$. Uning solishtirma og'irligini aniqlang.

Yechish: (1.3) formulaga asosan

$$\gamma = \rho \cdot g = 878 \cdot 9,81 = 8613 \text{ N/m}^3.$$

3–masala. Diametri $d = 100 \text{ mm}$ bo'lgan mis sharning havodagi og'irligi $G=45,7 \text{ N}$, suyuqlikka tushirilgandagisi esa $G=40,6 \text{ N}$. Suyuqlikning zichligini aniqlang.

Yechish: Siqib chiqarilgan suyuqlikning og'irligi:

$$G = G_h - G_s; \quad G = 45,7 - 40,6 = 5,1 \text{ H};$$

Siqib chiqarilgan suyuqlikning hajmi:

$$V = \pi d^3/6 = 3,14159 \cdot (0,1)^3 / 6 = 0,523 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Endi suyuqlikning zichligini topaylik:

$$\rho = G/(gV) = 5,1 / (9,81 \cdot 0,523 \cdot 10^{-3}) \approx 994 \text{ kg/m}^3.$$

4–masala. Diametri $d = 500 \text{ mm}$ va uzunligi $L = 1000 \text{ m}$ suv quvuri temperaturasi 5°C , bosimi 400 kPa bo'lgan suv bilan to'ldirilgan. Agar quvurdagi suvning 15°C temperaturagacha isitilishida suvning hajmiy siqilish koeffitsiyenti $\beta_v = 5,18 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$ va temperaturaviy kengayish koeffitsiyenti $\beta_t = 150 \cdot 10^{-6} (\text{C})^{-1}$ bo'lsa, quvur devorining deformatsiya-lanishi va kengayishini hisobga olmagan holda, suv quvuridagi bosimni aniqlang.

Yechish: Avvalo quvurdagi $t = 5^\circ\text{C}$ bo'lgan suvning hajmini aniqlaylik: $V = \pi d^2 L/4$ bo'lganligidan

$$V = 0,785 \cdot d^2 \cdot L = 0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 1000 = 196,25 \text{ m}^3.$$

Temperaturaning o'zgarishi natijasida hajmning ΔV ortishini topamiz:

$$\Delta V = V \cdot \Delta t \cdot \beta_t = 196,25 \cdot 10 \cdot 150 \cdot 10^{-6} = 0,29 \text{ m}^3.$$

Suv hajmining ortishi bilan bog'liq bosim orttirmasini topamiz:

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{V \beta_v} = 0,29 / (196,25 \cdot 5,18 \cdot 10^{-10}) = 2850 \text{ kPa}.$$

Temperatura oshgandan keyingi quvurdagi bosim:

$$p = 400 \text{ kPa} + 2850 \text{ kPa} = 3250 \text{ kPa} = 3,25 \text{ MPa}.$$

5–masala. Neftning Engler viskozimetri bo'yicha aniqlangan qovushoqligi $8,5^\circ\text{E}$. Agar neftning zichligi $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ bo'lsa, uning dinamik qovushoqligini aniqlang.

Yechish: Ushbu

$$\nu = \left(0,0731 \cdot {}^0E - \frac{0,0631}{{}^0E} \right) \cdot 10^{-4}$$

Ubellod formulasi bo'yicha kinematik qovushoqlikni topamiz:

$$\nu = (0,0731 \cdot 8,5 - 0,0631 / 8,5) \cdot 10^{-4} = 6,14 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} .$$

Neftning dinamik qovushoqligi

$$\mu = \nu \cdot \rho = 0,614 \cdot 10^{-4} \cdot 850 = 0,052 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

ga teng bo'ladi.

6-masala. Agar zichligi $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan ebonitdan tayorlangan $d = 2$ mm diametrli sharcha $u = 0,33 \text{ m/s}$ o'zgaras tezlik bilan suvga tushayotgan bo'lsa, zichligi $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan shu suvning dinamik va kinematik qovushoqligini aniqlang.

Yechish: Sharchaning suyuqlikda o'zgaras tezlik bilan harakatlanishida qarshilik kuchi shu sharchaning og'irligiga teng bo'ladi.

Qarshilik kuchi Stoks formulasidan aniqlanadi:

$$F = 3\pi\mu u d .$$

Sharchaning og'irligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$G = \rho g \pi d^3 / 6 .$$

Aytilganlarga ko'ra $F=G$ ekanligidan

$$\rho g \pi d^3 / 6 = 3\pi\mu u d .$$

Dinamik qovushoqlik koeffisienti:

$$\mu = \frac{\rho g d^2}{18u} = 1200 \cdot 9,81 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 / (18 \cdot 0,33) = 0,008 \text{ Pa} \cdot \text{s} .$$

Kinematik qovushoqlik koeffisienti:

$$\nu = \mu / \rho = 0,008 / 1000 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} .$$

7-masala. Yong'inga qarshi suv ta'minoti tizimining gidravlik sinovida 10 minut ichida bosim $\Delta p = 49710,4 \text{ Pa}$ ga tushadi. Hajmi $V = 80 \text{ m}^3$ bo'lgan tizimning sinovdagi mumkin bo'lgan oqib chiqish hajmi ΔV ni aniqlang. Hajmiy siqilish koeffisienti $\beta_V = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$.

Yechish: ΔV mumkin bo'lgan oqib chiqish hajmi quyidagi formulaga ko'ra hisoblanadi:

$$\Delta V = V \cdot \Delta p \cdot \beta_V = 80 \cdot 4,97104 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-10} = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 .$$

8-masala. Termometr yordamida atmosfera bosimini o'chash mumkinmi?

Yechish. Suv normal atmosfera bosimi $0,10135 \text{ MPa}$ dagina 100°C da qaynaydi. Suvni qaynash temperaturasiga oborib va uning temperarurasini o'lchab, atmosfera bosimini normal bosim bilan taqqoslash mumkin. Suvning to'yingan bug'lari bosimining temperaturadan bog'liqligi 1.2-jadvalidan foydalanib, to'yingan bug'ning o'lchangan qaynash temperaturasidagi bosimini aniqlaymiz. Bu atmosfera bosimiga teng.

9-masala. Diametri d ga teng vertikal silindrik rezervuarda $t=0^\circ\text{C}$ dagi zichligi $\rho_0 = 825 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan 100 t yoqilg'i saqlanmoqda. Rezervuar-dagi yoqilg'i 0°C dan

30°C gacha qizdirilganda uning sathi Δh ning o'zgarishini aniqlang. Rezervuarining kengayishini hisobga olmag.

Yechish. Rezervuardagi yoqilg'ining 0°C dagi hajmi:

$$V = \frac{m}{\rho_0} = \frac{100 \cdot 10^3}{825} = 121,21 \text{ m}^3.$$

Yuqoridagi temperaturasi 30°C ga o'zgarganda yoqilg'i hajmining kamayichini ifodalovchi formulaga ko'ra

$$\Delta V = V\beta_t \Delta t = 121,21 \cdot 0,0007 \cdot 30 = 2,55 \text{ m}^3.$$

Rezervuardagi yoqilg'i sathining o'zgarishi:

$$\Delta h = 4\Delta V / (\pi d^2) = 4 \cdot 2,55 / (\pi \cdot 3^2) = 0,36 \text{ m}.$$

10-masala. Quvurning bosimini oshirish hisobiga uning mustahkam-ligini tekshirish tajribasida unga ΔV hajmdagi qo'shimcha suv quyildi. Quvur devori deformatsiyalanmaydi, uning diametri $d = 0,5 \text{ m}$, uzunligi $L = 4 \text{ km}$ hamda undagi suvning bosimi dastlabki $\rho_b = 98,1 \text{ kPa}$ qiymatidan $\Delta p = 1 \text{ MPa}$ ga ortgan deb hisoblab, ΔV hajmni aniqlang.

Yechish. Quvurga qo'shimcha suv quyilgunga qadar uning hajmi:

$$V_0 = (\pi d^2 / 4) L = (\pi \cdot 0,5^2 / 4) \cdot 4000 = 785,4 \text{ m}^3.$$

Hajmiy siqilish koeffitsiyentini hisoblash formulasiga ko'ra:

$$\beta_V = - (1/V)(dV/dp) = - 1/(V_0 + \Delta V) \cdot \Delta V / \Delta p = 1/(2,1 \cdot 10^9) = 4,76 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}.$$

Bu tenglamadan quvurga qo'shimcha qo'shilgan suv hajmi ΔV ni topamiz:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \beta_V V_0 \Delta p / (1 - \beta_V \Delta p) = \\ &= (4,76 \cdot 10^{-10} \cdot 785,4 \cdot 10^6) / (1 - 4,76 \cdot 10^{-10} \cdot 10^6) = 0,374 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

11-masala. Hajmi 5 l neftning og'irligi 4,25 kg·k. Shu neftning zichligi (solishtirma massasi) va solishtirma og'irligini toping.

Berilgan:

$$V = 5 \text{ l} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$G = 4,25 \text{ kg} \cdot k \approx 41,7 \text{ N}$$

$$g = 9,41 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\rho - ?$$

$$\gamma - ?$$

Yechish:

1. Solishtirma og'irlikni hisoblash:

$$\gamma = \frac{G}{V}; \quad \gamma = \frac{41,7}{5 \cdot 10^{-3}} = 8340 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}.$$

2. Ziclikni hisoblash formulasi:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{gV} = \frac{\gamma}{g}; \quad \rho = \frac{8340}{9,41} \approx 850,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

$$\text{Javob: } \rho = 850,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad \gamma = 8340 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}.$$

12-masala. Hajmi 5 l antifrizga ($\rho_1 = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) hajmi 5,5 l suv quyishdi va aralashma-ning hajmi 10,5 l bo'ldi. Aralashmaning zichligi va solishtirma og'irligini toping.

Berilgan:

$$\rho_1 = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_1 = 5 \text{ l} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 5,5 \text{ l} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = 10,5 \text{ l} = 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho_2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9,41 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$\rho - ?$

$\gamma - ?$

Yechish:

1. Zichlikni hisoblash formulasi:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2}{V} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2};$$

$$\rho = \frac{800 \cdot 5 \cdot 10^{-3} + 1000 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3}}{10,5 \cdot 10^{-3}} = 904,76 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

2. Solishtirma og'irlikni topish formulasi:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g; \quad \gamma = 904,76 \cdot 9,81 \approx 8875,71 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}.$$

$$\text{Javob: } \rho = 904,76 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad \gamma = 8875,71 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}.$$

13-masala. Bosimni 5 MPa ga oshirish uchun diametri 500 mm va uzunligi 1 km bo'lgan quvur liniyasiga qo'shimcha ravishda berilishi kerak bo'lgan suv hajmini aniqlang. Quvur gidravlik sinovlarga tayyorlanadi va atmosfera bosimida suv bilan to'ldiriladi. Quvurning deformatsiyasi hisobga olinmasligi kerak.

Berilgan:

$$d = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$l = 1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$$

$$p_2 = 5 \text{ MPa} = 5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p_1 = p_{\text{atm}} = 98100 \text{ Pa}$$

$$\beta_p = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$$

$\Delta V - ?$

Yechish:

1. Quvurga etkazib beriladigan hajm V_1 boshlang'ich (siqishning oldidagi hajm) va yakuniy hajm V_2 o'rtasidagi farqqa teng: $\Delta V = V_1 - V_2$.

2. V_2 hajmquvurning hajmiga teng: $V_2 = \frac{\pi d^2}{4} l$.

3. V_1 hajm quyidagi formuladan topiladi:

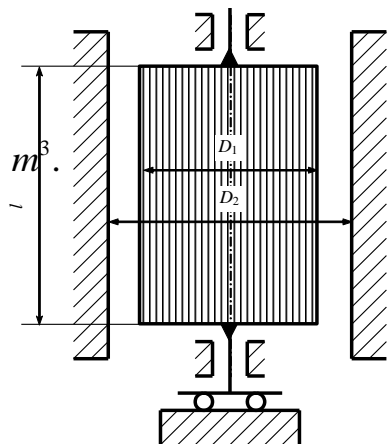
$$V_2 = V_1(1 - \beta_p \Delta p), \text{ buyerda } \Delta p = p_2 - p_1.$$

$$\text{Bundan esa } V_1 = \frac{V_2}{1 - \beta_p(p_2 - p_1)}.$$

4. Bularga ko'ra $\Delta V = \frac{\pi d^2 l}{4} \frac{\beta_p(p_2 - p_1)}{1 - \beta_p(p_2 - p_1)}$;

$$\Delta V = \frac{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 10^3}{4} \frac{5 \cdot 10^{-10} \cdot (5 \cdot 10^6 - 98100)}{1 - 5 \cdot 10^{-10} \cdot (5 \cdot 10^6 - 98100)} \approx 0,482 \text{ m}^3.$$

$$\text{Javob: } \Delta V = 0,482 \text{ m}^3.$$



1.1-shakl.

14-masala. Suyuqlikning qovushoqligidiametri $D_1 = 160 \text{ mm}$ bo'lgan ichki silindrdagi ishqalanish momentini aylanadigan viskozimetrda o'lchash orqaliniqlanadi (1.1-shakl). Tashqi silindrning diametri $D_2 = 180 \text{ mm}$, uzunligi $l = 400 \text{ mm}$. Ichki silindr-ning aylanish chastotasi $n = 90 \text{ min}^{-1}$ bo'lganda salnik va podshipniklarda ishqalanish momenti $M_{mp} = 0,0735 \text{ N} \cdot \text{m}$. Tezlik chiziqli qonunga muvofiq o'zgaradi deb faraz qilib, aylanma bo'shliqqa quyilgan suyuqlikning qovushoqligini aniqlang.

Berilgan:

$$D_1 = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$$

$$D_2 = 180 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$$

$$l = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

$$n = 90 \text{ x6}^{-1} = 1,5 \text{ c}^{-1}$$

$$M_{mp} = 0,0735 \text{ H} \cdot \text{m}$$

$$\mu - ?$$

Yechish:

1. Nyutonning suyuqlik ishqalanish qonunidan dinamik qovushqoqlik aniqlanadi:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}; \quad \mu = \frac{\tau}{du/dy}$$

Chunki tezlik chiziqli qonunga ko'ra o'zgaradi:

$$\mu = \frac{\tau}{u/y} = \frac{\tau \cdot y}{u}$$

2. Tangensial kuchlanish quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi: $\tau = \frac{F_{mp}}{s}$,

bu yerda F_{mp} – ishqalanish kuchi: $F_{mp} = \frac{2M_{mp}}{D_1}$; s – ishqalanish kuchi bo'lgan

silindrning sirt maydoni: $s = \pi D_1 l$. Shunday qilib, τ uchun yakuniy formula:

$$\tau = \frac{2M_{mp}}{\pi D_1^2 l}$$

3. Bu holda tashqi silindrning ichki devoridan u tezlik bilan suyuqlik qatlamigacha bo'lgan masofa y ni (ichki silindrning tashqi devori) aniqlang:

$$y = \frac{D_2 - D_1}{2}$$

4. Tezlik u quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi: $u = \omega \cdot \frac{D_1}{2} = 2\pi n \cdot \frac{D_1}{2} = \pi n D_1$.

5. Bularni μ uchun yuqoridagi formulaga qo'ysak,

$$\mu = \frac{M_{mp} (D_2 - D_1)}{\pi^2 n \cdot D_1^3 \cdot l}; \quad \mu = \frac{0,0735 \cdot (0,18 - 0,16)}{3,14^2 \cdot 1,5 \cdot 0,16^3 \cdot 0,4} \approx 0,067 \text{ Pa} \cdot \text{s}.$$

Javob: $\mu = 0,067 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

15-masala. Benzinning solishtirma og'irligi $\gamma = 7063 \text{ N/m}^3$. Uning zichligini aniqlang. $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ -erkin tushish tezlanishi.

Yechish: Zichlikni solishtirma og'irlikka nisbatan hisoblash formulasi $\rho = \gamma / g$

ga asosan $\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{7063 \text{ N/m}^3}{9,81 \text{ m/s}^2} = 720 \text{ kg/m}^3$.

16-masala. Zichligi $\rho = 878 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan dizel yog'ining solishtirma og'irligini aniqlang.

Yechish: $\gamma = \rho \cdot g$ formulaga asosan $\gamma = \rho \cdot g = 878 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 8613 \text{ N/m}^3$.

17-masala. Diametri $d = 100 \text{ mm}$ bo'lgan mis sharning havodagi og'irligi $G_h = 45,7 \text{ N}$, suyuqlikka tushirilgandagi og'irligi $G_s = 40,6 \text{ N}$. Suyuqlik zichligini aniqlang.

Yechish: Shar siqib chiqargan suyuqlik og'irligi:

$$G_{Sh} = G_h - G_s = 45,7 \text{ N} - 40,6 \text{ N} = 5,1 \text{ N}.$$

Siqib chiqarilgan suyuqlik hajmi:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d^3}{8} \right) = \frac{\pi d^3}{6} = 0,523 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Endi suyuqlikning zichligini topamiz:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{G/V}{g} = \frac{G}{g \cdot V} = \frac{5,1 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,523 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \approx 994 \text{ kg/m}^3.$$

18-masala. Diametri $d = 500 \text{ mm}$ va uzunligi $l = 1000 \text{ m}$ bo'lgan suv quvuri 5° C , bosimi 400 kPa bo'lgan suv bilan to'ldirilgan. Agar quvurdagi suvning temperaturasini 15° C gacha isitishda suvning hajmiy siqilish koeffitsiyenti $\beta_p = 5,18 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$ va temperaturaviy kengayish koeffitsiyenti $\beta_t = 150 \cdot 10^{-6} (\text{ }^\circ \text{C})^{-1}$ bo'lsa, suv quvuridagi bosimni aniqlang.

Yechish: Eng avval $t = 5^\circ \text{ C}$ da suvning hajmini aniqlaymiz:

$$V = \pi R^2 L = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 L = \frac{\pi d^2 L}{4} = 196,25 \text{ m}^3.$$

Temperaturaning o'zgarishi natijasida hajmning ΔV ga o'zgarishini topamiz:

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V \Delta t} \text{ dan } \Delta p = \frac{\Delta V}{\beta_p V} = \frac{0,29}{5,18 \cdot 10^{-10} \cdot 196} = 2850 \text{ kPa}.$$

Temperatura oshgandan so'ng $p = 400 + 2850 = 3,25 \text{ MPa}$.

19-masala. Yong'inga qarshi suv ta'minoti tizimining gidravlik sinovida 10 minut ichida bosim $\Delta p = 49710,4 \text{ Pa}$ ga tushdi. Hajmi $V = 80 \text{ m}^3$ bo'lgan tizimning sinovdagi mumkin bo'lgan oqib chiqish hajmi ΔV ni aniqlang. Hajmiy siqilish koeffitsiyenti $\beta_p = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$.

Yechish: $\beta_p = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta p}$ ifodaga ko‘ra $\Delta V = \beta_p \cdot V \cdot \Delta p = 1,96 \cdot 10^{-3} m^3$.

20-masala. Diametri $d = 500$ mm va uzunligi $L = 1$ km suv uzatish quvurida bosimni $\Delta p = 5 \cdot 10^6$ Pa ga ko‘tarish uchun qo‘shimcha uzatiladigan suv hajmini toping. Suv uzatish qurilmasi gidravlik sinovdan o‘tkazigan va atmosfera bosimida suv bilan to‘ldirilgan. Quvurning deformatsiyalanishini hisobga olmaslik mumkin.

Yechish. Suv uzatish quvurining sig‘imi $V_B = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{3.14 \cdot 0.5^2}{4} 10^3 = 196,2 m^3$.

Suv quvurida uzatilayotgan suv bosimni ko‘tarish uchun ΔV suv hajmini hisoblash formulasi quyidagicha: $\beta_p = \frac{\Delta V}{V \Delta p} = \frac{\Delta V}{(V_B + \Delta V) \Delta p}$. Ma’lumki,

$$\beta_p = 5 \cdot 10^{-10} m^2 / N = \frac{1}{2 \cdot 10^9} Pa^{-1}.$$

U holda quyidagi javobga kelamiz

$$\Delta V = \frac{V_B \beta_p \Delta p}{1 - \beta_p \Delta p} = \frac{196.2 \cdot 5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9 \left(1 - \frac{5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9} \right)} = 0,493 m^3.$$

21-masala. Katta bo‘lmagan uyning isitish tizimidagi (bug‘qozoni, radiatorlar va suv quvurlari) suv hajmi $V = 0,4 m^3$. Agar isitish tizimidagi suv $20^\circ C$ dan $90^\circ C$ gacha isitilsa, kengaytirishga xizmat qiladigan idishga yana qancha qo‘shimcha suv ketadi?

Yechish. Suvning $20^\circ C$ dagi $\rho_{20^0} = 998 kg / m^3$ - zichligi va $m = 0,4 \cdot 998 = 399 kg$ - massasi. Suvning $90^\circ C$ dagi zichligi $\rho_{90^0} = 965 kg / m^3$ va hajmi $V = m / \rho_{90^0} = 399 / 965 = 0,414 m^3$. Kengaytirishga xizmat qiladigan idishdagi suv qo‘shimcha hajmlar farqidan topiladi: $\Delta V = 0,414 - 0,4 = 0,014 m^3$.

22-masala. Agar suyuqlik $p_1 = 1 \cdot 10^5 Pa$ dan $p_2 = 1 \cdot 10^7 Pa$ ga chasiqilgan bo‘lsa, uning zichligi o‘zgarishini toping.

Yechish. Hajmiy siqilish koeffitsiyenti $\beta_p = 5 \cdot 10^{-10} Pa^{-1}$. Suvning zichligi $\rho = m / V$. Suv siqilganda uning V hajmi ΔV ga o‘zgaradi: $\Delta V / V = \beta_p \Delta p$, buyerda $\Delta p = p_1 - p_2 = 1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^7 = -0,99 \cdot 10^7 Pa$.

Suvning massasi o‘zgarmaydi, shuning uchun uning hajmi

$$n = \frac{\rho_{p_2}}{\rho_{p_1}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{(1 + \Delta V / V_1) V_1} = \frac{1}{1 + \Delta V / V_1} = \frac{1}{1 + \beta_p \Delta p} = \frac{1}{1 - 5 \cdot 10^{-10} \cdot 0,99 \cdot 10^7} = 1,005$$

Martaga qisqaradi.

23-masala. Diametri $d=0,4\text{ m}$ va uzunligi $l = 1\text{ km}$ po‘lat suv uzatish quvuri ochiq holda qo‘yilgan bo‘lib, undagi suv bosimi $p = 2 \cdot 10^6\text{ Pa}$ va temperaturasi $t_1 = 10^0\text{ C}$ holatda turibdi. Agar quvurdagi suv tashqi isitish yordamida $t_2 = 15^0\text{ C}$ temperaturaga keltirilgan bo‘lsa, undagi suvning bosimini aniqlang.

Yechish. Temperaturalar farqi $\Delta t = t_2 - t_1 = 15 - 10 = 5^0\text{ C}$. Suv uzatish quvurining hajmi $V_B = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{3.14 \cdot 0.4^2}{4} 10^3 = 125,6\text{ m}^3$.

Suv uzatish quvuridagi bosimning oshishini hisoblash formulasi

$$\Delta p = \frac{\beta_t \Delta t}{(1 + \beta_t \Delta t) \beta_p},$$

buyurda $\beta_p = \frac{\Delta V}{(V_B + \Delta V) \Delta p}$ va $\beta_t = \frac{\Delta V}{V_B \Delta t_1}$. Ma’lumki, temperaturaviy kengayish koeffitsiyentining qiymati $\beta_t \approx 155 \cdot 10^{-6}\text{ }^0\text{ C}^{-1}$; hajmiy kengayish koeffitsiyentining qiymati $\beta_p = 5 \cdot 10^{-10}\text{ Pa}^{-1}$.

Bularni yuqoridagi bosimning oshishini hisoblash formulasiga qo‘ysak,

$$\Delta p = \frac{155 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{(1 + 5 \cdot 155 \cdot 10^{-6}) 5 \cdot 10^{-10}} = 155 \cdot 10^4\text{ Pa} = 1550\text{ kPa}.$$

Temperatura oshgandan keyin suv uzatish quvuridagi suvning bosimi:

$$p_t = p + \Delta p = 2 \cdot 10^6 + 1,55 \cdot 10^6 = 3,55 \cdot 10^6\text{ Pa} = 3,55\text{ MPa}.$$

24-masala. Po‘lat baraban ichida 2 MPa ortiqcha bosim paydo qilish bilan gidravlik sinovdan o‘tkazilmoqda. Buning uchun atmosfera bosimida barabandagi dastlabki hajmga nasos bilan qancha hajmda suv haydash zarurligini aniqlang. Barabanning geometrik sig‘imi 10 m^3 . Baraban deformatsiyalanmaydi, suvning hajmiy elastiklik modulini $E_0 = 2 \cdot 10^9\text{ Pa}$ ga teng deb hisoblang.

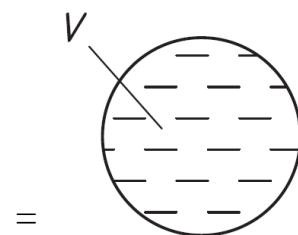
Yechish. Deformatsiyalanish qonuniga ko‘ra $\Delta V = -\frac{\Delta p V_0}{E_0}$. Gidravlik sinov oxirida barabanga yuborilgan suv hajmi: $V_b + \Delta V = V_0$. Barabandagi dastlabki suv hajmining kamayishi qo‘shimcha hajm bilan qoplangan: $\Delta V = \frac{\Delta p (V_b + \Delta V)}{E_0}$. Bu yerda

$$\text{esa } \Delta V = \frac{\Delta p V_b}{E_0 - \Delta p} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 10}{2 \cdot 10^9 - 2 \cdot 10^6} \cong 1,0 \cdot 10^{-2}\text{ m}^3. \text{ Javob: } \Delta V = 0,01\text{ m}^3.$$

25-masala. Yopiq hajmda (1.2-shakl): a) gaz; b) mineral yog‘ bor. Agar hajmdagi moddaning atmosfera bosimidagi temperaturasi 20^0 C dan 30^0 C gacha ko‘tarilsa, idishdagi bosim qanday o‘zgaradi? Idishning devoirni absolyut qattiq deb hisoblang.

Yechish. a) Masala shartiga ko'ra $\rho = \frac{p_0}{RT_0} = \frac{p_k}{RT_k} = const$, ya'ni zichlik o'zgar-
mas. Unda $\Delta p = p_k - p_0 = p_0 \left(\frac{T_k}{T_0} - 1 \right) = p_0 \frac{\Delta T}{T_0}$; $\Delta p = \frac{10^5 \cdot 10}{293} = 3413 Pa = 3,413 kPa$.

b)
Hajmning nisbiyo'zgarishi $\Delta V / V_0 = \Delta p / E_0 = \beta_p \Delta p$ yoki
 $\Delta V / V_0 = \beta_t \Delta T$. Natijada $\Delta p = \beta_t E_0 \Delta T = (\beta_t / \beta_p) \Delta T$. Ma'lumki,
mineral yog' uchun hajmiy elastiklik moduli E_0
 $1,2 \cdot 10^9 Pa$ va temperaturaviy kengayish koeffitsiyenti $\beta_t = 8 \cdot 10^{-4} 1/K$ ekanligidan, $\Delta p =$
 $8 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 10^9 = 9,6 \cdot 10^6 Pa = 9,6 MPa$. 1.2-shakl.



Mustaqil yechish uchun mashqlar

1.1. Neftning zichligi $\rho = 700 kg/m^3$ gateng. Uning SI xalqarobirliklar sistemasidagi γ solishtirma og'irligini toping.

1.2. Suyuqlikning kinematik qovushoqligi $\nu (sm^2/s)$. Agar uning solishtirma og'irligi $\gamma (kN/m^3)$ bo'lsa, u holda uning SI xalqarobirliklar sistemasidagi dinamik qovushoqligini toping.

1.3. Idishning hajmi $V (litr)$. Agar uni to'ldirib turgan suyuqlikning zichligi $\rho (kg/m^3)$ bo'lsa, u holda uning og'irligi qancha? Idishning sof og'irligi $2k \cdot kg$. Javobni SI xalqarobirliklar sistemasida bering.

1.4. Harorati $288K$ bo'lgan kanakunjut moyining zichligi $\rho = 0,96 \cdot 10^3 kg/m^3$, uning $300K$ dagi zichligini toping. Hajmiy haroratli kengayish koeffitsiyenti $\beta_t = 7,6 \cdot 10^{-3} K^{-1}$.

1.5. Atmosfera bosimi ostidagi qalin devorli silindrning yarmigacha moy quyilgan. Diametri $d = 18mm$, uzunligi $l = 4,5m$ bo'lgan silindrdagi bosimni $20MPa$ gacha orttirilgandagi uning hajmi qanchaga kattalashadi? Moyning hajmiy siqilishi $E_c = 1,33 \cdot 10^6 kPa$. Silindr devorlarining deformatsiyasini hisobga olmang.

1.6. Agar suvning boshlang'ich hajmi $1,5\%$ ga kamaysa, bosim o'zgarishini aniqlang.

1.7. Uyning isitish tizimida (qozon, radiator va quvurlar) $0,4 m^3$ suv mavjud. 90 dan $20^\circ C$ gacha sovutilganda tizimga qancha qo'shimcha suv kiradi?

1.8. Idishda $0^\circ C$ haroratda 40 litr benzin mavjud. Harorat $20^\circ C$ ga ko'tarilganda benzin miqdori qancha ko'payadi.

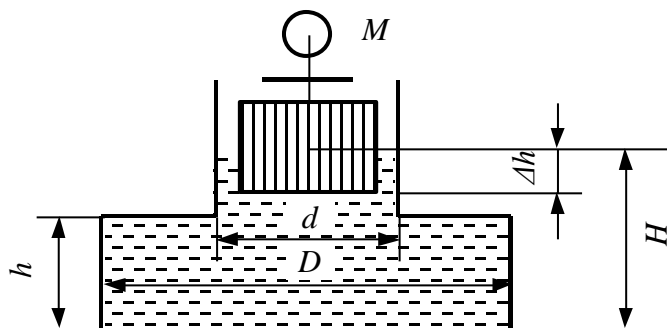
1.9. Yog‘atmosfera bosimi ostida ichki diametri 20 mm va uzunligi 5 m bo‘lgan massiv qalin devorli silindrga joylashtiriladi, silindrdagi bosim 20 MPa ga oshgan holda yog‘ hajmining o‘zgarishini aniqlang. Yog‘ning elastiklik moduli $1,33 \cdot 10^6\text{ kPa}$ ni tashkil qiladi. Devorning deformatsiyasini e‘tiborga olmang.

1.10. "Sanoat 12" moyi (zichligi 880 kg/m^3) kerosin (zichligi $0,8\text{ g/sm}^3$) bilan aralashtirilgan. Aralashmada moyning massasi 90% ni tashkil qiladi. Aralashmaning zichligini aniqlang.

1.11. Hidroyuritmal tizimida "Industrial 45" (zichligi 925 kg/m^3) va "Industrial 12" (zichligi 880 kg/m^3) moylari aralashmasi qo‘llaniladi. Aralashmaning zichligi 910 kg/m^3 . Aralashmatarkibidagi "Industrial 45" yog‘ foizini hisoblang.

1.12. Mineral moy gidravlik motorga 25°C haroratda 6 l/s miqdorida etkazib beriladi. Dvigateldan keyingishlangdagi yog‘ harorati 60°C ga ko‘tariladi. Dvigateldan keyingishlangning hajmiytemperaturaviy kengayishi koeffitsienti $7 \cdot 10^{-4}\text{ grad}^{-1}$ bo‘lsa, u qancha moyni to‘kib yuboradi?

1.13. Agar suyuqlik massasi $m = 250\text{ kg}$ bo‘lganida porshen $\Delta h = 5\text{ mm}$ pastga tushsa, suyuqlikning hajmiy elastiklik modulini aniqlang (1.3-shakl). Porshenning dastlabki holatidagi balandligi (yuksiz) $H = 1,5\text{ m}$; porshenning diametri $d = 80\text{ mm}$, quvurning diametri $D = 300\text{ mm}$. Quvurning balandligi $h = 1,3\text{ m}$. Porshenning og‘irligi va quvur devorlarining elastikligini hisobga olmang.



1.3-shakl.

1.14. Uzunligi 500 mm va diametri 100 mm bo‘lgan yer osti quvurining mahkamligini tekshirish uchun qo‘lda porshenli nasos bilan unga 1 MPa miqdordagi ortiqcha bosimli suv quyadi. Agar quvur liniyasi mutlaqo qattiq deb hisoblasangiz, quvur liniyasiga berilishi kerak bo‘lgan ortiqcha suv miqdorini hisoblang.

1.15. Ichki diametri 40 mm va uzunligi 3 m bo‘lgan massasi va qalin devorli silindrda suv atmosfera bosimi ostida bo‘ladi va silindrdagi bosim 20 MPa ga oshgan holda suv hajmining o‘zgarishini aniqlang. Suvning elastiklik moduli $2 \cdot 10^9\text{ Pa}$.

1.16. "Sanoat 20" moyi (zichligi 890 kg/m^3) dizelyoqilg‘isi (zichligi $0,85\text{ g/sm}^3$) bilan aralashtirildi. Aralashmada yog‘ning massasi 70% ni tashkil qiladi. Aralashmaning zichligi qanday bo‘ladi?

1.17. Shlangi haydash tizimida "Industrial 30" (zichligi 900 kg/m^3) va "Industrial 12" (zichligi 880 kg/m^3) moylari aralashmasi qo'llaniladi. Aralashmaning zichligi 890 kg/m^3 . "Sanoat 12" tarkibidagi yog' miqdorini hisoblang.

1.18. Mineral moy gidravlik motorga 20°C haroratda 7 l/s miqdorida etkazib beriladi. Dvigateldan keyingishlangdagi moyning harorati 70°C ga ko'tariladi. Dvigateldan keyingishlangning hajmiytemperaturaviy kengayishi koeffitsienti $6,5 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$ bo'lsa, u qancha moyni to'kib yuboradi?

1.19. Benzin bilan to'ldirilgan bidon quyoshda 50°C gacha qizdirilgan. Agar bidon de voir mutlaqo qattiq bo'lsa, uning o'rtasidagi bosim qanchaga ko'tariladi? Benzinning boshlang'ich harorati 20°C . Hajmiyelastiklik moduli $E_0 = 1300 \text{ MPa}$, hajmiy temperaturaviy kengayish koeffitsienti $8 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$.

1.20. Suvning zichligi o'zgarishini 7 dan 97°C gacha qizdirish bilan aniqlang (hajmiy temperaturaviy kengayish koeffitsienti $4 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$).

1.21. Benzinning 4 dan 68°C gacha qizdirilishi sababli uning zichligi o'zgarishini aniqlang (hajmiy temperaturaviy kengayish koeffitsienti $1,25 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$).

1.22. Diametri 40 mm va uzunligi 80 mm bo'lgan tsapfa (o'q yoki valning podshipnikda aylanuvchi qismi, bo'yni) podshipnikda $62,8 \text{ s}^{-1}$ burchak tezlik bilan aylanadi. Qalinligi $0,2 \text{ mm}$ bo'lgan tsapfa va podshipnik orasidagi bo'shliqda zichligi 900 kg/m^3 bo'lgan suyuqlik qatlami mavjud. Bo'shliqdagi tezlik o'zgarishini chiziqli deb hisoblasak, agar podshipnikdagi ishqalanish kuchi 6 N bo'lsa, moyning dinamik va kinematik qovushqoqligini aniqlang.

1.23. Avtomobillarni moylash uchun diametri 25 sm bo'lgan gidravlik stend diametri $25,01 \text{ sm}$ bo'lgan silindr plunjer bilan harakatlantirilib ishlaydi. Halqali bo'shliq zichligi 900 kg/m^3 bo'lgan moy bilan to'ldiriladi. Halqali bo'shliqda tezlikning taqsimlanishi chiziqli deb faraz qilsak, moyning kinematik qovushqoqligini aniqlang (ma'lumki, plunjer ko'chishi tezligida ishqalanish kuchlanishining 54 Pa). Shuningdek, ishqalanish kuchi 106 N bo'lsa, plunjer uzunligining qaysi qismi silindrda joylashganligini aniqlang.

1.24. Suvning 105 dan 107 Pa gacha bo'lgan bosimga siqilishi sababli uning zichligi o'zgarishlarni hisoblang.

1.25. Kerosinning 15 dan 60°C gacha qizdirilishi sababli uning zichligi o'zgarishini hisoblang.

1.26. Bosimi 101325 Pa (760 mmsimob ustuni) va harorati 20°C havoning zichligi $1,2 \text{ kg/m}^3$ ni tashkil qiladi. Agar havoning bosimi 97000 Pa (715 mmsimob ustuni) va harorati 100°C bo'lsa, uning zichligi qanday bo'ladi?

1.27. Quvurda tabiiy gaz 12 MPa ortiqcha bosim ostida va 50°C haroratda bo'ladi. Ushbu sharoitda gazning zichligini aniqlang.

1.28. Havoning kinematik va dinamik qovushoqliklari qiymatlarini 150°C haroratda va 5 MPa bosim bilan berilganda hisoblang, bunda dinamik qovushoqlik haroratga qarab $\mu = (1,711 + 0,00503 \cdot t) \cdot 10^{-5} Pa \cdot s$ qonunga muvofiq o'zgaradi deb hisoblang.

1.29. Hajmi 70 dm³ va bosimi 9,8 MPa bo'lgan kislorodli ballon harorat 266⁰K bo'lgan ko'chadan harorati 300⁰K bo'lgan xonaga o'tkazildi. Gazning bosimi va massasi qanday bo'ladi? Gaz doimiysi 260 $\frac{J}{kg \cdot K}$ ga teng. *Ko'rsatma:* jarayon izoxorik, ya'ni $p/T = \text{const}$.

1.30. Okean tubidagi ortiqcha bosim $p = 101 MPa$, yuzadagi dengiz suvining zichligi $\rho = 1030 kg / m^3$. Suvning siqilishini va $E = 2 \cdot 10^3 MPa$ hajmiy elastiklik modulini hisobga olgan holda okean tubidagi suv zichligini aniqlang.

1.31. Havo zichligining izotermik bosimga bog'liqligini hisobga olib, atmosfera havosining bosimining balandlikdan o'zgartirish qonunini toping.

1.32. Havo harorati $T = T_0 - \beta z$ chiziq qonunga binoan $z = 11 km$ balandlikka tushishini hisobga olgan holda $p = f(z)$ bog'liqlikni aniqlang, bunda $\beta = 6,5 ^\circ C / km$.

Sinov savollari

1. Diskret va tutash sistemaga ta'rif bering, misollar keltiring.
2. Suyuqlik va gazlar mexanikasi fani nimani o'rganadi?
3. Tutash muhit zarrachasi nima?
4. Suyuqlik va gazlarning qanday eng muhim xususiyatlarini bilasiz?
5. Suyuqlik va gazlarning deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar bilan umumiy va farq qiluvchi asosiy belgilarini sanab o'ting.
6. Ideal, real va qovushoq suyuqlikni tushuntiring.
7. Suyuqlik va gazlar mexanikasi qanday farazlarga asoslanadi?
8. Suyuqlik va gaz moddalarini tushunchalarini ayting va misollar keltiring.
9. Bosim, zichlik, temperatura va solishtirma og'irlik deb nimaga aytiladi?
10. Kinematik va dinamik qovushoqlik hamda issiqlik diffuziyasi tushunchalarini keltiring.
11. Qovushoqlik va bosim, zichlik va bosim o'rtasidagi o'zaro bog'lanishni qanday izohlaysiz?
12. Suv va havoning xossalari haqida nimalarni bilasiz?
13. Nyuton va nonyuton suyuqliklar qanday farqlanadi?

14. Hajmiy siqilish va temperaturaviy kengayish koeffitsiyentlari qanday kiritiladi?
15. Gazlarning qorishmalari jarayoni qanday parametrlar bilan xarakterlanadi?
16. «Sovuq qaynash» nima va u oddiy qaynashdan nimasi bilan farq qiladi?
17. Kavitatsiya deb nimaga aytiladi?
18. Suvning o'ziga xos qanday xususiyatlarini bilasiz?
19. Muhitning siqiluvchanligi deganda nimani tushunasiz?
20. Kinematik va dinamik qovushoqliklarni tushuntiring.
22. Muhitning holat parametrlarini ayting va ularni tushuntiring.
23. Ideal va qovushoq suyuqliklarga misollar keltiring.
24. Gidromexanikaning o'lchov birliklari sistemasi haqida nimalarni bilasiz?
25. Bir o'lchov birliklari sistemasidan ikkinchisiga qanday o'tiladi?

1.2. Kuchlar klassifikatsiyasi. Kuchlanish tenzori

Suyuqlikni tinch yoki harakat holatida bo'lishidan qat'iy nazar moddiy zarrachalardan tashkil topgan uzluksiz muhit deb qaraymiz. *Kuch* – bu ikki jism o'zaro ta'sirining miqdor o'lchovi. Deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar mexanikasidagi kabi suyuqlik va gaz mexanikasida ham shu zarrachalarga ta'sir etuvchi barcha kuchlar turli belgilariga qarab klassifikatsiyalanadi: ichki, tashqi, jamlangan va taqsimlangan. Suyuqlik moddiy zarrachalarining bir biriga ta'sir kuchlari *ichki kuchlar* deyiladi. Suyuqlik biror hajmining moddiy zarrachasiga boshqa biror jism hajmidagi moddalarning ta'sir qilayotgan kuchlari, chunonchi, shu qaralayotgan suyuqlik hajmining moddiy zarrachalariga, shu hajmni har tomonlama o'rab olgan suyuqlikning ta'sir kuchlari *tashqi kuchlar* deyiladi. Suyuqlik mexanikasida suyuq jismning deformatsiyalanishiga olib kelmaydigan taqsimlangan kuchlarga qaraladi. Bunda ular ob'ektga nisbatan tashqi bo'lmog'i lozim. Ichki kuchlarning tashqi kuchlarga aylantirilishi ma'lum usullar (kesimlar usuli, «muzlatish» usuli) yordamida amalga oshiriladi. Bu usullarga ko'ra muhitdan yopiq hajm ajratib olinadi («muzlatiladi»), tashqi muhit hayolan tashlab yuboriladi va uning ta'siri taqsimlangan kuchlar ta'siri bilan almashtiriladi. Suyuqlik va gaz mexanikasida, yuqorida keltirilgan klassifikatsiyadan farqli, suyuqlikning biror kichik hajmini uni o'rab turgan suyuqlik muhitidan butunlay ajratib qo'yilgan deb faraz qilingan holda uning bu zarrachasiga ta'sir etuvchi kuchlar ikki xil bo'ladi: hajmiy (massaviy) va sirt kuchlari.

Qo'zg'almas suyuqlikda kuchlanishning faqat bir ko'rinishi – siqish kuchlanishi mavjud. *Siqish kuchlanishi* – bu sirt kuchlarining taqsimlanish zichligi. Bu tushuncha fransuz matematigi O.Koshi (1789-1857) tomonidan kiritilgan.

Hajmiy (massaviy) kuchlar. *Hajmiy kuchlar* hajmni tashkil etuvchi barcha moddiy zarrachalarga qo'yilgan. Hajmiy kuchlar: og'irlik kuchi; inertsiya kuchi; markazdan qochma kuchlar; magnit kuchlari; elektr kuchlari. Xuddi shunday, *massaviy kuchlar* deb qaralayotgan hajm birligi massasiga proporsional miqdorga

aytiladi. Suyuqlik zarrachasining zichligi o'zgarimas bo'lganda massaviy kuchlar *hajmiy kuchlar* deb ataladi. Bu kuchlarning muhim xususiyati shundaki, ular suyuqlikning barcha zarrachalariga ta'sir etadi. Umuman olganda, bu kuchlar Nyutonning ikkinchi qonuniga ($\vec{F} = m\vec{a}$) bo'ysunadi. \vec{F} kuchning dekart o'qlaridagi proeksiyalari quyidagicha: $F_x = ma_x$; $F_y = ma_y$; $F_z = ma_z$. Suyuqlik va gaz mexanikasida a_x , a_y , a_z lar o'rniga X , Y , Z kabi belgilashlar ishlatish qabul qilingan. Yuqoridagi proeksiyalar ifodalarining ikkala tarafini massaga bolamiz: $\frac{F_x}{m} = X$; $\frac{F_y}{m} = Y$; $\frac{F_z}{m} = Z$. Shunday qilib, X , Y va Z mos koordinat o'qlaridagi birlik massaviy kuchlarning proeksiyalari va ular ba'zida *massaviy kuchlar kuchlanishi* ham deb ataladi.

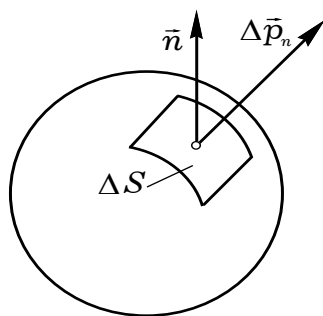
Xuddi shunday, $\Delta\vec{F}$ hajmiy kuchlarning nuqtadan nuqtaga o'zgarishini tavsiflash uchun, bu kuchlarning ΔV hajmga nisbatining hajmning biror ichki nuqtaga yaqinlashish limiti kuchlanish ekanligi haqidagi tushunchani kiritamiz.

Shunga ko'ra berilgan nuqtadagi *hajmiy kuchlar kuchlanishi* $\vec{p} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{F}}{\Delta V} = \frac{d\vec{F}}{dV}$

kabi aniqlaymiz. Shunday qilib, agar suyuqlikdan dV elementar hajm ajratib olsak, u holda uning massasi ρdV bo'ladi va bu hajmga ta'sir etuvchi massaviy kuch $\rho\vec{F}dV$ kabi, butun hajmga ta'sir etuvchi massaviy kuchlarning bosh vektori esa $\vec{F}^M = \iiint_V \rho\vec{F}dV$ kabi ifodalanadi. Suyuqlikning o'z og'irligi hajmiy kuch bo'ladi,

uning inersiya kuchini esa tashqi hajmiy kuch deb qarash mumkin.

Sirt kuchlari. Sirt kuchlarining massaviy kuchlardan farqi shundaki, ular suyuqlik hajmining sirtida joylashgan zarrachalargagina ta'sir qiladi. Suyuqlik hajmining sirtida ΔS elementar yuzachani ajratib olamiz, bu yuzachaning fazodagi joylashishi \vec{n} tashqi normal bilan beriladi (1.5-rasm). Ana shu ΔS yuzachaga qo'yilgan sirt kuchini $\Delta\vec{p}_n$ orqali belgilaymiz. $\Delta\vec{p}_n$ sirt kuchlarining nuqtadan nuqtaga o'zgarishini tavsiflash



1.5-rasm. Sirt elementi va uning normali

uchun bu kuchlarning ΔS sirt yuzasiga nisbati ($\Delta\vec{p}_n / \Delta S$) ning sirtning biror ichki nuqtaga yaqinlashish ($\Delta S \rightarrow 0$) limiti kuchlanish ekanligi haqidagi tushunchani kiritamiz. Quyidagi limit *sirt kuchining kuchlanishi* deb ataladi:

$$\lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{p}_n}{\Delta S} = \vec{p}_n.$$

Shunday qilib, birinchidan tashqi kuchlar ta'siri-da suyuqlikda kuchlanish paydo bo'lar ekan, ikkinchidan, umuman olganda, \vec{p}_n oddiy vektor emas, uning miqdori

hamda sirt kuchining fazoda yuzachaning joylashishidan sxematik tasviri.

bog‘liq. Bu shuni bildiradiki, fazoning berilgan nuqtasi orqali miqdor jihatidan teng, lekin har xil joylashgan yuzachalar o‘tkazsak, u holda ularga ta’sir etuvchi sirt kuchlarining kuchlanishlari har xil bo‘ladi.

Biror nuqtada \vec{p}_n vektor bilan xarakterlanuvchi va yuzachaning joylashishidan bog‘liq holda cheksiz ko‘p qiymatlar qabul qiluvchi fizik miqdor *kuchlanish tenzori* deb ataladi.

Shunday qilib, dS yuzachaga $\vec{p}_n dS$ sirt kuchi, V hajmni chegaralovchi butun S sirt yuzasiga esa ushbu $\vec{F}^S = \iint_S \vec{p}_n dS$ sirt kuchi ta’sir etadi.

Ushbu \vec{p}_n vektorning \vec{n} normal yo‘nalishidagi proeksiyasi *normal kuchlanish*, S ta’sir yuzachasidagi urinma tekislikka proeksiyasi esa *urinma kuchlanish* deb ataladi.

Sirt kuchlari suyuqlikning har xil sohalari orasidagi o‘zaro ta’sirni ifodalaydi. Sirt kuchlariga bosim kuchi (masalan, atmosfera bosimi ochiq o‘zandagi suyuqlikning erkin sathiga ta’sir etadi), ishqalanish kuchi va boshqa kuchlar misol bo‘ladi.

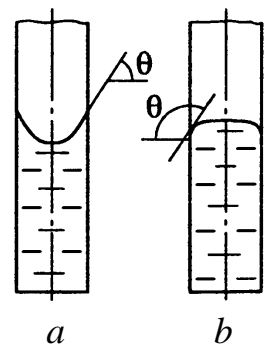
Suyuqlikning eng muhim xossalaridan biri bu uning *sirt tarangligi*. Suyuqlik sirtining xossasi bu uning sirtini kichraytirishga intiluvchi kuch (sirt taranglik kuchi) sifatida namoyon bo‘ladi. Bu xossa moddalarning tutash chegarasida o‘rganiladi.

Sirt taranglik kuchlari – bu suyuqlikka sferik shakl berishga intiluvchi kuchlar. Sirt taranglik kuchlari sirt kuchlaridan bog‘liq va ular suyuqlikning erkin sirtiga perpendikulyar bo‘lib doimo qaralayotgan hajmning ichiga yo‘nalgan. Masalan, erkin sirtida suyuqlikning cheksiz kichik hajmini qaraylik. Bunga qo‘shni hajmlar tomonidan kuchlar ta’sir etadi. Natijada, agar qaralayotgan hajmga ta’sir etayotgan barcha kuchlar vektorlarini yig‘sak, u holda yig‘indi tashkil etuvchi kuch qaralayotgan hajmning ichiga normal yo‘nalgan bo‘ladi.

Sirt taranglik kuchi F ning muhitlarni ajratib turuvchi l chiziq uzunligiga nisbati $\sigma = F/l$ yoki sirt energiyasining yuzaga nisbati $\sigma = E_p/S$ *sirt taranglik koeffitsiyenti* deb ataladi. Bu miqdorning birligi $[N/m]$ yoki $[J/m^2]$ bo‘lib, uning qiymati qaralayotgan suyuqlikning tozaligi va temperaturasiga bog‘liq. Masalan, presslangan suv uchun $\sigma = 73 J/m^2$; spirt uchun $\sigma = 22,5 J/m^2$; simob uchun $\sigma = 490 J/m^2$.

Temperaturaning oshishi bilan sirt tarangligi kamayadi. $t = 20^\circ C$ da va havo bilan tutash chegarada: $\sigma = 0,0726 N/m$ – suv uchun; $\sigma = 0,486 N/m$ – simob uchun; $\sigma = 0,022 N/m$ – etil spirti uchun; $\sigma = 0,0235 - 0,0380 N/m$ – qayta ishlanmagan neft uchun; $\sigma = 0,235$

– $0,380 N/m$ – moylovchi yog‘lar uchun.



1.6-rasm. Qattiq sirtni ho‘llay-digan (a) va ho‘llamaydigan (b) suyuqlik-larga misollar.

Eritilgan po‘latning havo bilan tutash chegarasida $\sigma = 1,86 \text{ N/m}$ ($t = 1550^\circ\text{C}$); eritilgan cho‘yan uchun $\sigma = 0,9 - 1,0 \text{ N/m}$ ($t = 1200^\circ\text{C} - 1450^\circ\text{C}$); suv va simobning tutash chegarasida $\sigma = 0,378 \text{ N/m}$ ($t = 20^\circ\text{C}$).

Suyuqlikning yana bir xossasi bu uning *kapillyarligi*. *Kapillyar bosim* – bu ikkita suyuqlik yoki suyuqlik va gaz orasidagi sirtning har ikkala tarafidagi bosimlar farqi. Masalan, qovariq sferik sirt uchun kapillyar bosim $p = 2\sigma/r$ (xususan, sovun pufagi uchun $p = 4\sigma/r$) formula bilan hisoblanadi, chunki tomchining ichidagi sirtga ta’sir etuvchi kuch ($p\pi r^2$) sirt taranglik kuchi ($2\pi r\sigma$) bilan muvozanatlashadi, bunda r – sirt egriligi radiusi; σ - sirt taranglik koeffitsiyenti.

Real suyuqlikning kapillyarlik xossasini kapillyar quvurlarda kuzatish mumkin. 1.6-rasmda suyuqlik va qattiq devor (naycha) orasida ho‘llanish chegaraviy burchagi θ (suyuqlik erkin sirtining kapillyar devoir bilan tutash nuqtasida shu erkin sirtga o‘kazilgan urinmaning devor bilan hosil qilgan o‘tkir burchagi)ning paydo bo‘lish holatlari tasvirlangan. Masalan, toza suv va shisha uchun $\theta = 0^\circ$; simob va shisha uchun $\theta = 50^\circ$. Kichik diametrli naychada suyuqlikning kapillyar ko‘tarilishi (ho‘llanishda) va tushishi (ho‘llanilmaganda) kuzatiladi va uni quyidagi britaniyalik olim *Djeyms Jyuren* (1684-1750) *formulasi* bo‘yicha hisoblash mumkin:

$$h_{kap} = \frac{4\sigma \cos\theta}{gd(\rho - \rho_0)},$$

bunda d - kapillyarning diametri; ρ - suyuqlik zichligi; ρ_0 - gazli fazaning zichligi. Masalan, $t=20^\circ\text{C}$ da suvning kapillyar ko‘tarilishi balandligi $30/d$; spirtning kapillyar ko‘tarilishi balandligi $11,5/d$; simobning kapillyar ko‘tarilishi balandligi $10,15/d$ (bunda d millimetrlarda). Naycha materialiga qarab kapillyar ko‘tarilishi balandligi oshishi (ho‘llanishda) yoki pasayishi (ho‘llanilmaganda) mumkin. Tuproq qatlamining kapillarlarida suvning ko‘tarilishi unda suvning tarqalishini ko‘rsatadi. Masalan, tuproq qatla-mida kapillyar ko‘tarilishi balandligi 0 (soz tuproq uchun) dan 5 m (soch tolasidek yoriq-kapillarlariga ega tuproq uchun) gacha o‘zgarishi mumkin.

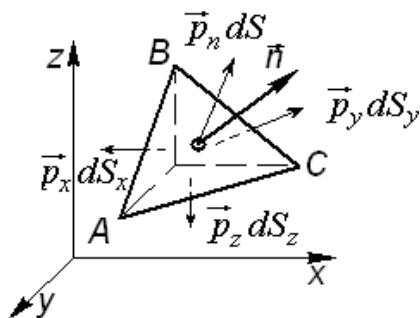
Sirt taranglik va kapillyarlik xossalari vaznsizlik sharoitida suyuqlikning harakati qonuniyatini ifodalaydi hamda bu hossalalar suyuqlikning qovushoqlik xossasi bilan juda ham bog‘liq.

Koshi formulasi. Keyingi tuchunchalarni berish uchun \vec{p}_n vektorni atroflicha qarab chiqish lozim bo‘ladi. Harakatlanayotgan suyuqlik muhitidan tetraedr shaklidagi zarrachasini fikran ajratib olamiz. Tetraedrning uchta o‘zaro perpendikulyar yoqlarini koordinat sistemasi yoqlari bilan ustma-ust tushadigan qilib olamiz. Faraz qilaylik, tetraedr to‘rtinchi (qiya) yog‘ining tashqi normali \vec{n} , bu yoqning yuzasi esa dS bo‘lsin (1.7-rasm).

Boshqa yoqlarning yuzalari mos ravishda dS_x , dS_y , dS_z , chunki ularni ABC yoqning koordinat tekisliklaridagi proeksiyalari deb qarash mumkin. Bundan kelib chiqadiki, $dS_x = dS \cos(\vec{n}, \vec{x}) = n_x dS$, bunda n_x – yo‘naltiruvchi kosinusni bildiradi.

Xuddi shunday, $dS_y = dS \cos(\vec{n}, \vec{y}) = n_y dS$, $dS_z = dS \cos(\vec{n}, \vec{z}) = n_z dS$.

Tetraedrning hajmini dV deb belgilasak, u holda unga ta'sir etuvchi massaviy kuch $\rho \vec{F} dV$, inersiyaning massaviy kuchi esa $\rho \vec{a} dV$ kabi topiladi, bunda \vec{a} – suyuq tetraedrning tezlanish vektori.



1.7-rasm. Tetraedr, uning qiya yog'idagi normal va tik yoqlariga ta'sir etayotgan sirt kuchlari.

Qiya yoqqa ta'sir etayotgan sirt kuchi $\vec{p}_n dS$ ga teng.

Qolgan uchta yoqlar uchun esa quyidagilarni yozamiz:

$$-\vec{p}_x dS_x = -\vec{p}_x n_x dS, \quad -\vec{p}_y dS_y = -\vec{p}_y n_y dS, \\ -\vec{p}_z dS_z = -\vec{p}_z n_z dS,$$

bunda minus ishora \vec{p}_x , \vec{p}_y , \vec{p}_z vektorlarning koordinat o'qlariga qarama-qarshi yo'nalgan-ligidan.

Mexanikaning umumiy qonunlariga ko'ra, tetraedrning harakat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

(Massa) \times (tezlanish) = (massaviy kuchlar yig'indisi) + (sirt kuchlari yig'indisi), ya'ni

$$\rho \vec{a} dV = \rho \vec{F} dV + \vec{p}_n dS - \vec{p}_x n_x dS - \vec{p}_y n_y dS - \vec{p}_z n_z dS,$$

bu yerda $\rho \vec{a} dV$ va $\rho \vec{F} dV$ qo'shiluvchilar uchinchi, qolganlari esa ikkinchi tartibli kichik miqdordir. Shuning uchun bu ikkita hadni e'tiborga olmasak, *Koshi formulasi* deb ataluvchi quyidagi tenglikka ega bo'lamiz:

$$\vec{p}_n = \vec{p}_x n_x + \vec{p}_y n_y + \vec{p}_z n_z. \quad (1.8)$$

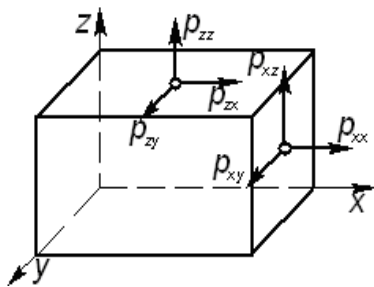
Bu tenglikdan kelib chiqadiki, agar qaralayotgan yuzachaning tashqi normali Ox , Oy va Oz koordinat o'qlariga parallel bo'lib, uning biror nuqtasidagi kuchlanish aniq bo'lsa, u holda \vec{p}_n kuchlanish \vec{n} normalning ixtiyoriy yo'nalishi uchun aniqlanishi mumkin (1.8-rasm).

Ushbu (1.8) formuladagi koordinat tekisliklariga qo'yilgan \vec{p}_x , \vec{p}_y va \vec{p}_z kuchlanish vektorlari ob'ektiv fizik ma'noga ega emas, chunki ular koordinat sistemasini tanlashga bog'liq. Shuning uchun bunday miqdorlarga fizik vektorlarga qo'llaniladigan barcha munosabatlar qo'llanilsa ham ular «kvazi-vektorlar» deb ataladi.

Kuchlanish tenzori. Koshi formulasidan kelib chiqqan holda \vec{p}_x , \vec{p}_y va \vec{p}_z vektorlarni Ox , Oy va Oz koordinat o'qlaridagi mos proeksiyalari orqali quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{p}_x(p_{xx}, p_{xy}, p_{xz}), \quad \vec{p}_y(p_{yx}, p_{yy}, p_{yz}), \quad \vec{p}_z(p_{zx}, p_{zy}, p_{zz}).$$

Natijada ixtiyoriy joylashgan yuzaning nuqtasidagi kuchlanishni hisoblash uchun quyidagi to'qqizta qiymatdan tashkil topgan ushbu



1.8-rasm.

Harakatlanayotgan suyuqlikning paralelepiped shaklidagi zarrachasi va undagi kuchlanishlar.

$$T = \begin{vmatrix} p_{xx} & p_{yx} & p_{zx} \\ p_{xy} & p_{yy} & p_{zy} \\ p_{xz} & p_{yz} & p_{zz} \end{vmatrix} \quad (1.9)$$

jadval aniq bo'lishi kerak. Bunda satrlar bo'yicha birinchi indeks yuzachaga perpendikulyar bo'lgan, ikkinchisi esa kuchlanish proeksiyalangan koordinat o'qini bildiradi.

Keltirilgan 1.8-rasmdan ko'rinadiki, bir xil indeksli kuchlanishlar normal, har xil indeksilari esa urinma kuchlanishlardir. Yuqoridagi (1.8) ifodani koordinat o'qlariga proeksiyalasak, ushbu

$$\begin{aligned} p_{nx} &= p_{xx}n_x + p_{yx}n_y + p_{zx}n_z, \\ p_{ny} &= p_{xy}n_x + p_{yy}n_y + p_{zy}n_z, \\ p_{nz} &= p_{xz}n_x + p_{yz}n_y + p_{zz}n_z \end{aligned} \quad (1.10)$$

tengliklarni yozishimiz mumkin. Kuchlanishning ushbu p_{ij} ($i, j = x, y, z$) to'qqizta komponentalari birgalikda kuchlanish tenzorini tashkil etadi va u matritsa shaklida quyidagicha yoziladi: $T = \parallel p_{ij} \parallel$.

Tenzor analizi kursidan ma'lumki, kuchlanish tenzori simmetrik. Bu shuni bildiradiki, $\parallel p_{ij} \parallel$ matritsaning bosh diagonaliga nisbatan simmetrik miqdorlar o'zaro teng, ya'ni $p_{yx} = p_{xy}$, $p_{xz} = p_{zx}$, $p_{zy} = p_{yz}$. Bundan kelib chiqadiki, kuchlanish tenzorini aniqlash uchun to'qqizta emas, balki oltita skalyar miqdorlarni bilish yetarli.

Yuqorida ta'kidladikki, suyuqlikning fundamental xossalaridan biri – uning qovushoqligi, bu xossa tinch turgan suyuqliklarda sezilmaydi, ya'ni bunday holda tenzorning urinma kuchlanishlari nolga teng va faqat tashqi normalga orientatsiyalangan p_{xx} , p_{yy} , p_{zz} normal kuchlanishlar ta'sir etadi (1.8-rasm). Bunda ular cho'zuvchi kuchlanishlardir. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, suyuq jism faqat siquvchi zo'riqlashlarni qabul qiladi, qattiq jismlarda esa, bundan farqli, o'zining tutashliligini yo'qotmagan holda cho'zuvchi (musbat) va siquvchi (manfiy) normal kuchlanishlarni qabul qilishi mumkin. Ko'rsatish mumkinki, agar suyuq jismda urinma kuchlanishlar bo'lmasa, u holda $p_{xx} = p_{yy} = p_{zz}$. Bundan berilgan nuqtadagi normal kuchlanishlar yuzachaning joylashishiga bog'liq emasligi kelib chiqadi.

Son qiymati normal kuchlanishlarga teng, ammo ishorasi qarama-qarshi bo'lgan miqdor gidromexanikada bosim, to'laroq qilib aytganda gidrostatik bosim deb ataladi.

Gidrostatik bosim p harfi bilan belgilanadi, ya'ni $p = -p_{xx} = -p_{yy} = -p_{zz}$.

Shunday qilib, gidrostatik bosim skalyar miqdor (tenzor komponentasi sifatida) bo‘lib, o‘zi ta’sir qilayotgan yuzachaning joylashishiga bog‘liq emas. Bunday suyuqlikning harakatini nazariy jihatdan o‘rganish ideal suyuqlikning modeli bilan bog‘liq. Bu modelga ko‘ra suyuqlik absolyut siqilmaydigan, uzilishga olib keluvchi zo‘riqishga qarshilik ko‘rsatmaydigan va absolyut qo‘zgaluvchan, ya’ni qovushoqmas suyuqlik deb qaraladi. Oxirgi faraz bunday suyuqlikda urinma kuchlanishlarning yo‘qligini bildiradi.

Suyuqlikning harakat tenglamalari. Quyida sirt va massaviy kuchlarni bog‘lovchi va kuchlanishlarga nisbatan harakat tenglamalari deb ataluvchi umumiy tenglamani olamiz. Bu tenglamani keltirib chiqarish uchun massasi ρdV ga va sirti dS ga teng bo‘lgan suyuqlik zarrachasining harakatini tahlil qilamiz. Bu zarracha uchun harakat tenglamasi, yuqorida tetraedrga nisbatan chiqarilgani kabi, quyidagicha yoziladi:

$$\rho \frac{d\vec{u}}{dt} dV = \rho \vec{F} dV + \vec{p}_n dS. \quad (1.11)$$

U holda harakatlanayotgan S sirtli V hajm uchun ushbu

$$\iiint_V \rho \frac{d\vec{u}}{dt} dV = \iiint_V \rho \vec{F} dV + \iint_S \vec{p}_n dS \quad (1.12)$$

tenglamaga ega bo‘lamiz.

Kuchlanish tenzorining ushbu $\vec{p}_n = \vec{p}_x n_x + \vec{p}_y n_y + \vec{p}_z n_z$ ifodasidan foydalanib, (1.12) tenglikning o‘ng tarafidagi sirt integralini hajm integraliga almashtiramiz, bunda n_x, n_y, n_z - yo‘naltiruvchi kosinuslar. Vektorlar analizi kursidan ma’lum va ixtiyoriy vektor uchun o‘rinli bo‘lgan quyidagi formulalardan foydalanamiz:

$$\iint_S n_x \vec{R} dS = \iiint_V \frac{\partial \vec{R}}{\partial x} dV, \quad \iint_S n_y \vec{R} dS = \iiint_V \frac{\partial \vec{R}}{\partial y} dV, \quad \iint_S n_z \vec{R} dS = \iiint_V \frac{\partial \vec{R}}{\partial z} dV. \quad (1.13)$$

Bu formulalarni \vec{p}_n tenzorining (1.8) ifodasi uchun qo‘llab ushbu

$$\iint_S \vec{p}_n dS = \iiint_V \left(\frac{\partial \vec{p}_x}{\partial x} + \frac{\partial \vec{p}_y}{\partial y} + \frac{\partial \vec{p}_z}{\partial z} \right) dV \quad (1.14)$$

tenglikka ega bo‘lamiz. Bu ifodani boshlang‘ich (1.12) tenglamaga qo‘ysak, quyidagini olamiz:

$$\iiint_V \left[\rho \frac{d\vec{u}}{dt} - \rho \vec{F} - \left(\frac{\partial \vec{p}_x}{\partial x} + \frac{\partial \vec{p}_y}{\partial y} + \frac{\partial \vec{p}_z}{\partial z} \right) \right] dV = 0.$$

Ammo $dV \neq 0$ va V ixtiyoriy tanlanganligi uchun:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \vec{p}_x}{\partial x} + \frac{\partial \vec{p}_y}{\partial y} + \frac{\partial \vec{p}_z}{\partial z} \right). \quad (1.15)$$

Bu suyuq muhitning kuchlanishlarga nisbatan vektor ko‘rinishdagi harakat tenglamasi deb ataladi. Bu tenglama koordinat o‘qlariga nisbatan proeksiyalarda quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned}\frac{du_x}{dt} &= X + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z} \right), \\ \frac{du_y}{dt} &= Y + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z} \right), \\ \frac{du_z}{dt} &= Z + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} \right).\end{aligned}\tag{1.16}$$

Bu yerda noma'lumlar sifatida to‘qqizta miqdorni o‘z ichiga oladi: tezlikning uchta proeksiyalari va kuchlanishning oltita proeksiyalari. Birlik massaviy kuchlarning proeksiyalari masalaning qo‘yilish shartidan ma'lum bo‘ladi.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Ho‘llamaydigan suyuqlik ikkita tutash kapilyarda qanday Δh balandlikka ko‘tariladi? Kapilyar naychalarning ichki diametrlari d_1 va d_2 .

Yechish: Suyuqlikning kapilyar naycha bo‘ylab ko‘tarilish balandligi quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\sigma = \frac{\rho h g r}{2 \cos \theta} \Rightarrow h = \frac{4\sigma}{\rho g d} \cos \theta.$$

Suyuqlik to‘liq ho‘llamaydigan bo‘lganligi uchun $\theta = 180^\circ$ ga teng. Har bir kapilyarda suyuqlikni ko‘tarilish balandliklari:

$$h_1 = -\frac{4\sigma}{\rho g d_1} \text{ va } h_2 = -\frac{4\sigma}{\rho g d_2} \text{ ga teng.}$$

Kapilyardagi suyuqlik sathlari farqi quyidagiga teng:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{4\sigma}{\rho g} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right).$$

2-masala. Agar suyuqlikka r radiusli kapilyar tushirilgan bo‘lsa, unda ko‘tarilgan suyuqlikning massasini m deb olib, shu suyuqlikning sirt tarangligini toping. Bunda ho‘llanishni to‘liq deb oling.

Yechish: Kapilyar bo‘ylab suyuqlikni ko‘tarilish balandligi quyidagi formuladan topiladi:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \theta \text{ bunda } \theta = 0^\circ, \cos 0^\circ = 1 \text{ ekanligidan } h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$

To‘la ho‘llanishda chegaraviy burchak nolga teng va kapilyar bo‘ylab ko‘tarilish balandligi quyidagicha:

$$m = \rho V; \quad V = 2\pi r^2 h$$

ekanligidan

$$h = \frac{m}{2\rho\pi r^2} \cdot h_1 = h$$

ekanligini e'tiborga olsak

$$\frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{m}{2\rho\pi r^2} \Rightarrow \sigma = \frac{m\rho g r}{4\rho\pi r^2} = \frac{mg}{4\pi r}$$

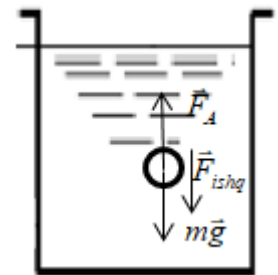
3-masala. Zichligi ρ_1 bo'lgan suyuqlikda zichligi undan 4 marta kam bo'lgan sharcha ν o'zgaras tezlik bilan suzmoqda. Sharchaga ta'sir qilayotgan F_{ishq} kuchi og'irlik kuchidan necha marta kata? $\rho_1 = 4\rho_2$.

Yechish: Nyutonning 2-qonuniga ko'ra quyidagi tenglikni yozishimiz mumkin:

$$\vec{F}_A - m\vec{g} - \vec{F}_{ishq} = 0;$$

bu yerda

$$F_A = \rho_1 g V^b; \quad m = \rho_2 V; \quad V = \frac{m}{\rho_2}; \quad F_A = 4\rho_2 g \cdot \frac{m}{\rho_2} = 4mg.$$



ushbu ifodaga ko'ra

$$4mg - mg = F_{ishq} = 3mg$$

ni yozishimiz mumkin. Bundan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{F_{ishq}}{mg} = 3.$$

4-masala. Uksus kislotasi kapillyarda 30mm balandlikka ko'tariladi. Diametri 2 marta katta bo'lgan shunday kapillyarda etil spirti qanday balandlikka ko'tariladi?

Yechish: Har ikkala naycha uchun kapillyardagi ko'tarilish balandliklari quyidagicha:

$$h_1 = \frac{2\sigma_1}{\rho_1 r_1 g} = \frac{4\sigma_1}{d_1 \rho_1 g}; \quad h_2 = \frac{2\sigma_2}{\rho_2 r_2 g} = \frac{4\sigma_2}{d_2 \rho_2 g}$$

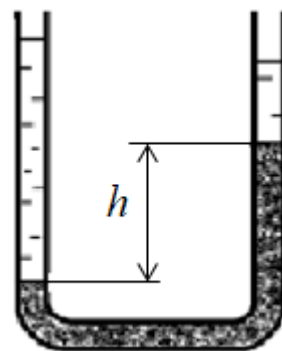
ifodalarga ko'ra quyidagilarni yozishimiz mumkin: $g = \frac{4\sigma_1}{h_1 d_1 \rho_1}$; bu yerda $d_2 = 2d_1$;

shunga ko'ra

$$h_2 = \frac{4\sigma_2}{d_2 \rho_2 \cdot \frac{4\sigma_1}{h_1 d_1 \rho_1}} = \frac{\sigma_2 \rho_1 d_1}{\sigma_1 d_2 \rho_2} h_1 = \frac{\sigma_2 \rho_1 h_1}{2\sigma_1 \rho_2} = \frac{0,017 \cdot 1050 \cdot 30}{2 \cdot 0,028 \cdot 710} \approx 13,5 \text{ mm}.$$

5-masala. U-shakldagi shisha idishning yenglarining diametrlari 1mm va 3mm. Har ikki yengdagi suv sathlarining farqi nimaga teng?

Yechish: Bu masalada idishning o'ng yengidagi bosim p_1 ni chap yengidagi bosim p_2 va gidrostatik bosim yig'indilari muvozanatlaydi: $p_1 = \rho gh + p_2$. Chegaraviy burchak $\varphi = 0^\circ$ deb olib $p_1 = \frac{2\sigma}{r_1}$ va $p_2 = \frac{2\sigma}{r_2}$. Radiuslarni o'rniga diametrlarni qo'yib $p_1 = \frac{4\sigma}{d_1}$ va $p_2 = \frac{4\sigma}{d_2}$ larga ega bo'lamiz. Bosimlarni



o'rniga mos ifodalarni qo'yib quyidagi tengliklarga ega bo'lamiz: $\rho gh_1 = \frac{4\sigma}{d_1}$ va

$\rho gh_2 = \frac{4\sigma}{d_2}$. Ushbu ifodalarga ko'ra quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g d_1} - \frac{4\sigma}{\rho g d_2} = \frac{4\sigma}{\rho g} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) = \frac{4 \cdot 73}{1 \cdot 980} \left(\frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,3} \right) = 2 \text{ sm.}$$

Mustaqil yechish uchun mashqlar

Sinov savollari

1. Hajmiy (massaviy) kuchlar va sirt kuchlarini ta'riflab bering.
2. Hajmiy, massaviy va sirt kuchlari kuchlanishi nima?
3. Qiya tekislik nuqtasidagi kuchlanish haqidagi Koshi formulasini ayting.
4. Kuchlanishlardagi harakat tenglamasini tushuntiring.

2-BOB. GIDROSTATIKA

Gidrostatikada nisbatan tinch holatdagi suyuqliklar o'rganiladi. *Suyuqlikning nisbatan tinch holati deb uning zarrachalari bir biriga nisbatan qo'zg'almagan holatiga aytiladi.*

Gidrostatika – bu suyuqlik va gazlar mexanikasi fanining suyuqlikning muvozanati va tinch holatidagi suyuqlikning unga botirilgan jismga ta'siri qonuniyatlarini o'rganuvchi bo'limi.

Suyuqlik va gazlarning gidrostatik xossalari o'zining molekulyar tuzilishiga ko'ra qattiq jismlar xossalari bilan keskin farq qiladi. Gazlar o'zini saqlayotgan idish shaklida bo'ladi. Yetarlicha kichik ta'sir kuchi yordamida suyuqlikning hajmini o'zgartirishdan uning shaklini o'zgartirish mumkin. Og'irlik kuchi maydonidagi suyuqlik uni saqlayotgan idish shaklida bo'ladi. Tinch holatdagi suyuqlikning sathi (gazlardan farqli), uni saqlayotgan idishning shaklidan qat'iy nazar, og'irlik kuchi ta'siri yo'nalishiga perpendikulyar bo'ladi.

Gidrostatikaning asosiy qonunlari: Paskal qonuni; energiyaning saqlanish qonuni (gidrostatikaning asosiy tenglamasi); tutash idishlar qonuni; Arximed qonuni; jismning suzish sharti va hokazo.

Gidrostatikaning asosiy tenglamalari: Eyler tenglamasi (suyuqlikning muvozanat tenglamasi); teng bosimli sirt tenglamasi; gidrostatik bosim taqsimoti tenglamasi (Paskal qonuni); uzviylik tenglamasi va hokazo.

Gidrostatikaning asosida ikkita teorema yotadi:

- qaralayotgan suyuqlik zarrachasiga qo'yilgan barcha kuchlarning yig'indisi nolga teng;
- qaralayotgan suyuqlik zarrachasiga qo'yilgan barcha kuchlarning biror o'qqa nisbatan momentlari yig'indisi nolga teng.

Gidrostatikaning asosiy qoidalari sodda bo'lishiga qaramasdan ular muhim amaliy ahamiyatga ega xulosalarni chiqarishga yordam beradi.

2.1. Gidrostatik bosim va uning xossalari. Gidrostatikaning asosiy tenglamalari

Gidrostatik bosim va uning xossalari. Tinch holatdagi suyuqlik barcha tarafdin sirt kuchlari bilan siqilgan bo'ladi.

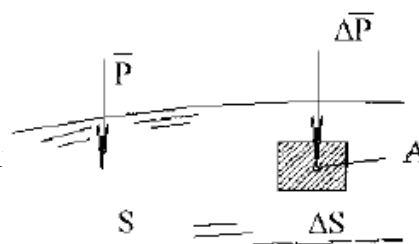
Bu kuchlar sirt nuqtalariga normal bo'ylab hajmning ichiqa qarab yo'nalgan. Bunday \bar{P} kuchlar *gidrostatik bosim kuchlari* deb ataladi. \bar{P} kuch ta'sirida suyuqlik ichida \bar{p} siquvchi kuchlanish paydo bo'ladi va uning moduli *gidrostatik bosim* deb ataladi.

Suyuqlikning berilgan A nuqtasidagi gidrostatik bosimning qiymati quyidagi formuladan topiladi (2.1-rasm):

$$p = |\bar{p}| = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{|\Delta \bar{P}|}{\Delta S},$$

bu yerda $\Delta \bar{P}$ – berilgan ΔS yuzachaga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi.

Kuchlanish vektori normalining yo'nalish ixtiyoriy aniqlangan yuzadan bog'liq. Har bir vektor yuzaga nisbatan normal va urinma tashkil etuvchilarga ega.



2.1-rasm. Gidrostatik bosimni aniqlash.

Tinch holatdagi suyuqlikda urinma kuchlanish mavjud emas va qaralayotgan nuqtada molekullar orasidagi masofa barcha yo'nalishlarda bir xil (chunki, suyuqlikda tuzilma yo'q). Shuning uchun, suyuqlik ichki nuqtasidagi kuchlanish vektor emas, balki skalyar miqdordir (u yo'nalishdan bog'liq emas). Shunday qilib, p bosim (N/m^2 yoki Pa) – bu skalyar miqdor.

Butun S sirt bo'ylab p ning o'rtacha qiymati:

$$p = |\bar{p}| = \frac{|\bar{P}|}{S},$$

bu yerda \bar{P} (N) – berilgan S (m^2) yuzaga qo'yilgan gidrostatik bosim kuchlari yig'indisi (keyingi yozuvlarda P ni bosim kuchi sifatida ishlatamiz).

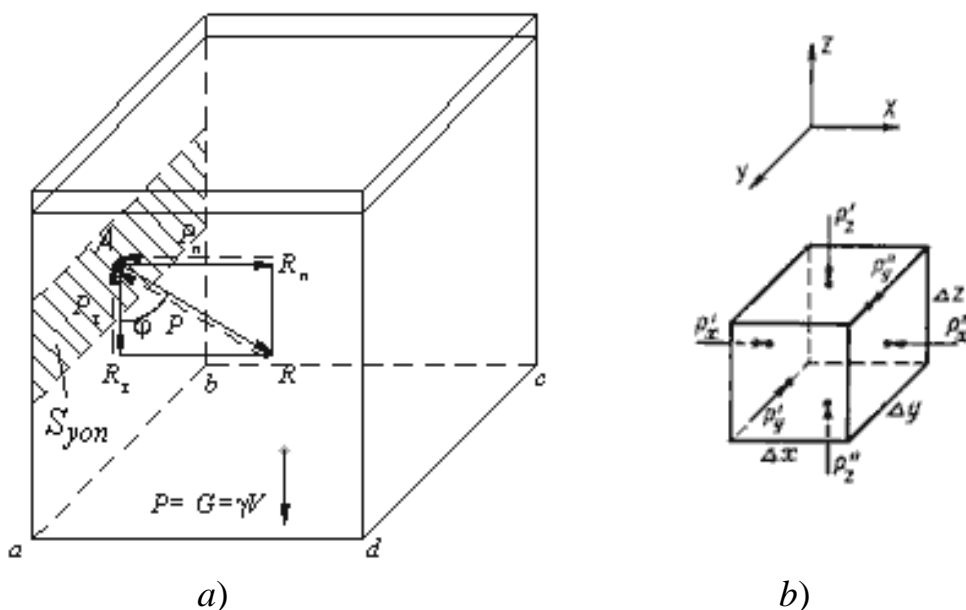
Suyuqlik bilan to'ldirilgan vertikal tekis devorli rezervuarni qaraylik (2.2,a-rasm). Rezervuarining tubiga unga quyilgan suyuqlik og'irligi $G = \gamma \cdot V$ ga teng bosim kuchi P ta'sir etadi, ya'ni $P = G$.

Agar bu P kuchni idish tubining yuzasi S_{abcd} ga bo'lsak, u holda rezervuar tubiga ta'sir etuvchi o'rtacha gidrostatik bosimni hosil qilamiz: $p_{o'rt} = P / S_{abcd}$.

Gidrostatik bosim quyidagi xossalarga ega:

1-xossa. *Suyuqlikning ixtiyoriy ichki nuqtasidagi gidrostatik bosim uning ajratib olingan hajmiga uringan yuzaga perpendikulyar va u qaralayotgan hajmning ichiga normal bo'ylab yo'nalgan.*

Bu tasdiqni isbotlash uchun 2.2,a-rasmga murojaat qilamiz. Rezervuarining yon devorida S_{yon} yuzachani (shtrixlangan) ajratamiz. Gidrostatik bosim bu yuzaga taqsimlangan kuch ko'rinishida ta'sir qiladi, uni bitta teng ta'sir etuvchi P kuch bilan almashtirish mumkin. Faraz qilaylik, shu yuzaga ta'sir etuvchi P gidrostatik bosimning teng ta'sir etuvchisi A nuqtaga qo'yilgan va unga φ burchak ostida yo'nalgan (rasmda strelkali shtrix kesma bilan tasvirlangan). U holda devorning suyuqlikka ta'sir etuvchi reaksiya kuchi R xuddi shu miqdorga teng, ammo unga rama-qarshi yo'nalgan bo'ladi (strelkali to'la kesma). Ko'rsatilgan R vektorini ikkita tashkil etuvchi vektorlarga ajratish mumkin: R_n – normal (shtrixlangan yuzachaga perpendikulyar) va R_τ - devorga urinma



2.2-rasm. Hidrostatik bosimning xossalari ifodalovchi sxemalar:
 a) – birinchi xossa uchun; b) – ikkinchi xossa uchun.

R_n – normal bosim kuchi suyuqlikda siqish kuchlanishini yuzaga keltiradi. Bunday kuchlanishlarga suyuqlik osongina qarshilik ko‘rsatadi. R_τ - devorga urinma kuch suyuqlikka devor bo‘ylab ta‘sir qiladi, odatda u suyuqlikda urinma kuchlanishlarni yuzaga keltirishi va suyuqlik zarrachalari pastga qarab ko‘chishi kerak edi. Ammo rezervuardagi suyuqlik tinch holatda bo‘lganligi uchun R_τ tashkil etuvchi yo‘q. Bu yerdan gidrostatikaning birinchi xossasi kelib chiqadi.

2-xossa. *Suyuqlik ichida berilgan ixtiyoriy nuqtadagi gidrostatik bosimning miqdori barcha yo‘nalishlarda bir xil, ya’ni bosim o‘zi ta‘sir qilayotgan normalining yo‘nalishi ixtiyoriy aniqlangan yuzadan bog‘liq emas.*

O‘quvchining muammoni mustaqil o‘zlashtirishiga ko‘maklashish maqsadida ushbu masalani yechishning quyidagi ikki xil yondashuvini qaraylik.

1) Biror rezervuarni to‘ldirib turgan suyuqlikdan tomonlari juda kichik Δx , Δy , Δz elementar kubchani ajratib olamiz (2.2,b-rasm). Har bir yon sirtini elementar yuzachaning mos p_x , p_y , p_z bosimlarga ko‘paytmasidan iborat gidrostatik bosim kuchi siqadi. Musbat yo‘nalishda ta‘sir etuvchi bosim vektorining komponentalarini p'_x , p'_y , p'_z , teskari yo‘nalishda ta‘sir etuvchi bosim vektorining komponentalarini esa p''_x , p''_y , p''_z kabi belgilaymiz. Kub muvozanat holatida bo‘lganligi uchun quyidagi tengliklar o‘rinli:

$$p'_x \Delta y \Delta z = p''_x \Delta y \Delta z; \quad p'_y \Delta x \Delta z = p''_y \Delta x \Delta z; \\ p'_z \Delta x \Delta y + \gamma \Delta x \Delta y \Delta z = p''_z \Delta x \Delta y,$$

bu yerda γ – solishtirma og‘irlik; $\Delta x \Delta y \Delta z$ – kubning hajmi.

Hosil bo‘lgan tengliklarda mos qisqartirishlarni bajarsak,

$$p'_x = p''_x; \quad p'_y = p''_y; \quad p'_z + \gamma \Delta z = p''_z.$$

Uchunchi tenglamaning $\gamma \Delta z$ hadi p'_z va p''_z larga nisbatan cheksiz kichik bo‘lganligi uchun uni e‘tiborga olmaslik mumkin, natijada

$$p'_x = p''_x; \quad p'_y = p''_y; \quad p'_z = p''_z.$$

Kub deformatsiyalanmaganligi (o'qlarning birortasi yo'nalishida ham cho'zilmasligi) sababli bosim har xil o'qlar yo'nalishida bir xil deb faraz qilish lozim, ya'ni

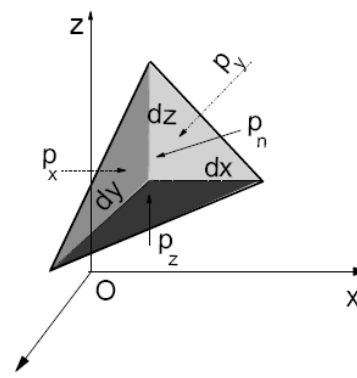
$$p'_x = p''_x = p'_y = p''_y = p'_z = p''_z.$$

Bu gidrostatikaning ikkinchi xossasi isbotini bildiradi.

2) Bu xossani quyidagicha ham isbotlash mumkin. Qo'zg'almas suyuqlikdan qirralari koordinata o'qlariga parallel bo'lib, ular mos ravishda d_x, d_y va d_z bo'lgan to'g'ri burchakli parallelepiped shaklidagi elementar hajmdan 2.3-rasmda tasvirlangan tetraedrni ajratib olamiz.

Faraz qilaylik, suyuqlikdan ajratib olingan hajmga tashkil etuvchilari X, Y, Z bo'lgan birlik massaviy kuch ta'sir etsin. Ox o'qiga normal yoqqa ta'sir etuvchi gidrostatik bosimni p_x , Oy o'qiga normal yoqqa ta'sir etuvchi gidrostatik bosimni p_y va Oz o'qiga normal yoqqa ta'sir etuvchi gidrostatik bosimni p_z deb belgilaylik. Qiya yoqqa ta'sir etuvchi gidrostatik bosimni p_n , shu yoqning yuzasini dS deb belgilaylik. Bu bosimlarning barchasi mos yoqlarga normal yo'nalgan.

Suyuqlikning ajratib olingan hajmi uchun Ox o'q



2.3-rasm. Gidrostatik bosimning xossa-siga oid sxema.

bo'ylab muvozanat tenglamasini tuzamiz, u holda Ox o'q bo'ylab ta'sir etuvchi kuch quyidagiga teng:

$$(1/2)p_x d_y d_z - p_n dS \cos(n, x).$$

Tetraedrning massasi uning hajmiga zichligining ko'paytmasiga teng, ya'ni $(1/6)\rho d_x d_y d_z$. Natijada, Ox o'q bo'ylab tetraedrga ta'sir etuvchi massaviy kuch

$$(1/6)\rho d_x d_y d_z X.$$

Bularga asosan tetraedrning muvozanat tenglamasini quyidagicha yozamiz:

$$(1/2)d_y d_z p_x - p_n dS \cos(n, x) + (1/6)\rho d_x d_y d_z X.$$

Bu tenglamani hadma had $(1/2)d_y d_z$ ga bo'lamiz, bu ifoda dS qiya yoqning yOz tekislikdagi proeksiyasini beradi, ya'ni $(1/2)d_y d_z = dS \cos(n, x)$. Natijada ushbu

$$p_x - p_n + (1/3)\rho d_x X = 0$$

tenglikka ega bo'lamiz.

Tetraedrning o'lchamlari nolga intilganda bu tenglamaning d_x ko'paytuvchini o'z ichiga olgan uchinchi hadi ham holga intiladi, p_x va p_n bosimlar esa chekli miqdorlar bo'lib qoladi. Natijada, limitdan $p_x - p_n = 0$ yoki $p_x = p_n$ tenglik kelib chiqadi. Xuddi shunday, p_y va p_z bosimlar uchun ham Oy va Oz o'qlarga mos $p_y = p_n$ va $p_z = p_n$ tengliklarni olish mumkin.

Natijada, ushbu $p_x = p_y = p_z = p_n$ tenglikka kelimiz. Bu aytilgan xossaning isbotini beradi.

Tetraedrning dx, dy va dz o'lchamlari ixtiyoriy olingani uchun dS qiya yuza ham ixtiyoriy. Tetraedrni bitta nuqttagacha siqib borsak, bu nuqtadagi bosim barcha yo'nalishlarda bir xil bo'lib chiqadi.

Qo'zg'almas suyuqlikdagi gidrostatik bosim xossasining isboti qovushoqmas suyuqlikning harakatida ham o'rinli. Qovushoq suyuqlikning harakatida esa urinma kuchlanishlar paydo bo'ladi, natijada, qovushoq suyuqlikdagi gidromexanik bosim yuqorida ko'rsatilgan xossaga ega bo'lmaydi.

3-xossa. Nuqtadagi gidrostatik bosim shu nuqtaning fazodagi koordinatalaridan bog'liq, ya'ni $p = p(x, y, z)$.

Suyuqlikning muvozanat tenglamasi. Suyuqlikning muvozanat tenglamasi, yuqoridagi (1.16) harakat tenglamalarida $u_x = u_y = u_z = 0$ deb olsak, kelib chiqadi. Yuqorida ta'kidladikki, tinch holatdagi suyuqlikda urinma kuchlanishlar paydo bo'lmaydi, ya'ni t vaqt bo'yicha hosilalar nolga teng. Normal kuchlanishlarni bosim bilan almashtirsak, quyidagi tenglamalarga kelimiz:

$$X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0; \quad Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \quad Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0. \quad (2.1)$$

Bu sistemani vektor shaklida quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p = 0. \quad (2.2)$$

Yuqoridagi (2.1) tenglama *gidrostatika uchun Eylerning differensial tenglamalari sistemasi* deb ataladi. Bu tenglama ham siqilmaydigan va ham siqiluvchan suyuqliklarga tegishli. Agar (2.1) tenglamalar sistemasini integrallasak, u holda nuqtadagi gidrostatik bosim va uning koordinatalar orasidagi bog'lanish ifodasini hosil qilamiz.

Suyuq jismga har xil fizik tabiatga ega kuchlar ta'sir qilishi mumkin. Shuning uchun, "Qo'yilgan kuchlar ta'sirida suyuqlik hamma vaqt ham tinch holatda turadimi?", degan savol tug'iladi. Bu savolga javob berish uchun (2.1) differensial tenglamalar sistemasida ba'zi almashtirishlar bajarish lozim bo'ladi.

Gidrostatikaning differensial shaklidagi asosiy tenglamasi. Yuqoridagi (2.1) tenglamalar sistemasining har bir tenglamasini mos ravishda dx , dy , dz ga ko'paytiramiz va ularni yig'ib chiqamiz. Natijada quyidagi tenglamaga kelimiz:

$$(Xdx + Ydy + Zdz) - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = 0. \quad (2.3)$$

Bu tenglamaning ikkinchi hadidagi qavs ichidagi ifoda bosimning to'la differensialini beradi, shunga ko'ra (2.3) tenglamani quyidagicha yoza olamiz:

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz). \quad (2.4)$$

Bu tenglama *gidrostatikaning differensial shaklidagi asosiy tenglamasi* deb ataladi. Ko'rinib turibdiki, bu tenglamaning chap tarafi to'la differensial, demakki uning o'ng tarafi ham to'la differensialni berishi kerak. Bundan kelib chiqadiki, kuchlar va zichlik x , y va z larning shunday funksiyalari bo'lib, ular (2.4) tenglamaning o'ng tarafini to'la differensialga aylantirishi lozim. Agar bunday holat bajarilmasa, u holda suyuqlikning muvozanat holati sodir bo'lmaydi. Boshqacha aytganda, agar suyuqlik muvozanat holatida bo'lsa, (2.4) tenglamaning o'ng tarafi biror Φ funksiyaning to'la differensial bo'ladi.

Zichlikni o'zgarmas ($\rho = \text{const}$) deb faraz qilib, ushbu

$$Xdx + Ydy + Zdz = d\Phi \quad (2.5)$$

tenglikni yoza olamiz. Nazariy mexanika kursidan ma'lumki, kuchlarning suyuqlik zarrachalari elementar ko'chishiga skalyar ko'paytmasi *elementar ish* deb ataladi, ya'ni

$$f_x dx + f_y dy + f_z dz . \quad (2.6)$$

Ish harakatning yo'liga bog'liq bo'lmagan, ya'ni faqatgina uning boshlang'ich va oxirgi holatiga bog'liq bo'lgan holda kuch *potensial kuch* deyiladi. Bunda kuchning ishi harakatning yo'liga bog'liq bo'lmasligi uchun elementar ish ifodasi, ya'ni (2.6) ifoda kuch funksiyasi deb ataluvchi biror P skalyar funksiyaning to'la differensialini berishi zarur va yetarli. Uning teskari ishora bilan olingan qiymati potensial deb ataladi. Shunday qilib, yuqorida qaralgan funksiyani kuch funksiyasi deb atash mumkin, (2.4) ifodani esa quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$dp = \rho d\Phi . \quad (2.7)$$

Bundan kelib chiqadiki, potensialga ega bo'lgan kuch ta'siridagina siqilmaydigan suyuqlik muvozanat holatida bo'lishi mumkin.

Ekvipotensial va bir xil bosimli sirtlar. Har bir nuqtasida $\Phi = \text{const}$ bo'lgan sirtlar *ekvipotensial sirtlar* deb ataladi. Xususiyl holda, bosimi teng bo'lgan sirtlar, ya'ni har bir nuqtasida $p = \text{const}$ bo'lgan sirtlar ekvipotensial sirtlar bo'ladi. Bunday holda $dp = 0$ bo'ladi va (2.4) tenglama quyidagicha yoziladi.

$$\rho(Xdx + Ydy + Zdz) = 0 .$$

Ammo, ma'lumki, $\rho \neq 0$ va bundan kelib chiqadiki,

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0 . \quad (2.8)$$

(2.8) tenglama *teng bosimli sirt tenglamasi* deb ataladi. Agar suyuqlikka massaviy kuchlardan faqat og'irlik kuchi ta'sir etsa, u holda $X = Y = 0$; $Z = -g$ (bunda og'irlik kuchi koordinat o'qiga qarama-qarshi yo'nalganligi uchun minus ishora olingan); $-gdz = 0$ va $z = C = \text{const}$, ya'ni tinch holatdagi suyuqlikning gorizontol sirt tekisligi – bu *bosimi nolga teng bo'lgan tekislik yoki sath sirti (tekisligi)* deyiladi.

Sath sirti quyidagi xossalarga ega: ikkita sath sirtlari o'zaro kesishmaydi; massaviy kuchlar sath sirtiga normal yo'nalgan. Suyuqlik va gazzimon muhitni ajratib turuvchi sath sirti *erkin sirt* deb ataladi.

Bosim taqsimotining gidrostatik qonuni. Suyuqlik siqilmaydigan, ya'ni $\rho = \text{const}$ deb faraz qilib va massaviy kuchlardan faqat og'irlik kuchi ta'sir qilayapti deb hisoblab, gidrostatikaning differensial shakldagi asosiy tenglamasi (2.4) ni integrallaymiz.

Yuqorida ko'rsatilgan ediki, bu holda

$$X = Y = 0, Z = -g, \text{ ya'ni } dp = -\rho g dz .$$

Buni integrallagandan keyin esa

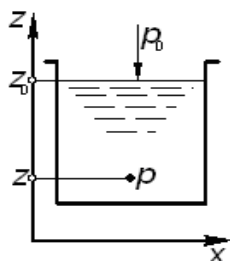
$$p = -\rho g z + C, \quad (2.9)$$

bunda C – ixtiyoriy integrallash o‘zgarishi. Uni topish uchun quyidagi chegaraviy shartdan foydalanamiz (2.4-rasm):

$$z = z_0 \text{ bo‘lganda } p = p_0,$$

bunda p_0 - suyuqlik sathiga qo‘yilgan tashqi bosim.

Chegaraviy shartdan foydalanib, (2.9) dan integrallash o‘zgarishi uchun quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz: $C = p_0 + \rho g z_0$.



2.4-rasm. Idish hajmidagi chuqurlik bo‘yi-cha bosimni aniqlash.

Bu ifodani (2.6) ga qo‘ysak,

$$p = p_0 + \rho g(z_0 - z). \quad (2.10)$$

Bosimning (2.10) tenglama bo‘yicha taqsimoti bosimning chuqurlik bo‘ylab gidrostatik taqsimoti deyiladi.

Gidrostatikaning asosiy tenglamasi. Taqdim etilgan 2.4-rasmdan ko‘rinadiki, $(z_0 - z)$ - suyuqlik zarrachasining suv ostiga tushish chuqurligi, bu kattalik h harfi bilan belgilanadi, ya’ni

$$p = p_0 + \rho g h. \quad (2.11)$$

Hosil bo‘lgan (2.11) tenglama fizika kursidan ma’lum bo‘lgan *Paskal qonunini* ifodalaydi va *gidrostatikaning asosiy tenglamasi* deb yuritiladi. Suyuqlikning erkin sirtiga qo‘yilgan bosim uning barcha nuqtalariga o‘zgarishsiz uzatiladi. Agar idish ochiq bo‘lsa, u holda tashqi bosim atmosfera bosimiga teng. Olingan (2.11) tenglamaga ko‘ra bosim shu suyuqlikning faqatgina chuqurligiga bog‘liq. Agar har xil shakldagi idishlarga bir xil suyuqliklar quyilsa, u holda bu idishlarning bir xil chuqurliklaridagi gorizontall tublarida bosim bir xil bo‘ladi.

Shubhasiz har qanday to‘g‘ri tuzilgan fizik tenglama birligi bir jinsli bo‘lmog‘i lozim, masalan, oxirgi tenglamadagi $\rho g h$ had bosim bilan bir xil, ya’ni Paskalda o‘lchanmog‘i zarur. Bu miqdor *ortiqcha bosim* deb ataladi. U musbat ham, manfiy ham bo‘lishi mumkin. Bunday talqin qilish, (2.11) tenglamaga mos ravishda, absolyut bosim barotropik (atmosfera) bosim va ortiqcha bosimlar yig‘indisiga teng, degan xulosaga olib keladi, ya’ni

$$P_{abs.} = P_{atm.} \pm P_{ort.} \quad (2.12)$$

Manfiy ortiqcha bosim *vakuumbosim* deb ataladi va uning qiymati atmosfera bosimidan kichik bo‘ladi.

Gidrostatik bosim *simobli, suvli va mexanik asboblar (manometrlar)* yordamida o‘lchanadi. Vakuumni o‘lchaydigan asbob *vakuummeter* deyiladi.

Yana (2.10) tenglamaga qaytaylik. Bu tenglamaning har ikkala qismini ρg ga bo‘lib, quyidagini olamiz:

$$z + \frac{p}{\rho g} = z_0 + \frac{p_0}{\rho g}. \quad (2.13)$$

Bu tenglama *bosim taqsimotining gidrostatik qonunini* ifodalaydi. Yuqoridagi (2.13) tenglamaning barcha hadlari uzunlik birligida ifodalanadi va *napor* deb ataladi. z miqdor hisob boshida tanlangan gorizontall tekislik ustida turgan suyuqlik zarrachasining holatini ifodalaydi, ya’ni z – bu *geometrik napor*; $p/(\rho g)$ –

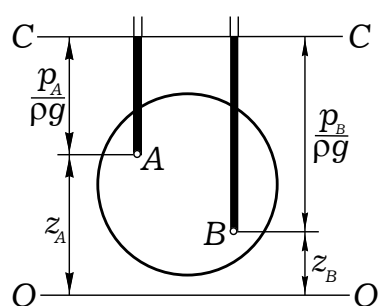
pyezometrik napor. Bu miqdor-larning yig'indisi *gidrostatik napor* deb ataladi. $p_0/(\rho g)$ - atmosfera bosimining keltirilgan balandligi. Bu miqdorlarning mexanik ma'nosini tushuntirish uchun 2.5-rasmda tasvirlangan sodda sxemani qaraylik.

Bosim ta'siri ostida joylashgan suyuqlik bilan to'ldirilgan va germetik yopilgan idishni qaraylik. Bu idishda joylashgan ixtiyoriy ikkita *A* va *B* nuqtalarni va xuddi shunday hisob boshlanishi tekisligi deb ataluvchi ixtiyoriy *O-O* gorizontal tekislikni tanlaylik.

A va *B* nuqtalardagi suyuqlik zarrachalarining koordinatalari z_A va z_B bo'ladi. Yuqorida aytilganlarga ko'ra z_A va z_B miqdorlar geometrik naporni ifodalaydi. Idishning qopqog'i orqali *A* va *B* nuqtalarda atmosfera bilan tutashgan shisha naychalar tushiraylik. Bu naychalar *pyezometrlar* deb ataladi. Ma'lumki, shartga ko'ra suyuqlik bosim ostida turibdi, shuning uchun suyuqlik pyezometr orqali ko'tarila boshlaydi. Hech bir qiyinchiliksiz bu ko'tarilish balandligini aniqlash mumkin. Tabiiyki, ma'lum vaqt o'tgandan so'ng qaralayotgan nuqtadagi suyuqlik ustunining balandligi bosimni muvozanatlashtiradi. Ana shu balandlik *pyezometrik balandlik* yoki *pyezometrik napor* deb ataladi.

Tinch holatdagi suyuqlikning ixtiyoriy tanlangan zarrachasi uchun (2.13) munosabat o'rinli, ya'ni suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasi uchun gidrostatik napor bir xil bo'ladi, shuning uchun uni umumiy holda quyidagicha yozish mumkin:

$$z + \frac{p}{\rho g} = \text{const},$$



2.5-rasm. Gidrostatik bosimning fizik talqini uchun sxema.

Bundan kelib chiqadiki, pyezometrlarning sathi bir xil balandlikda to'xtaydi (2.5-rasmda *C-C* tekislik).

Gidrostatikaning asosiy tenglamasini tahlil qilib, quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

- gidrostatik bosim suyuqlikning erkin sirtiga ta'sir etayotgan p_0 – tashqi bosim va suyuqlikning h balandlikli ustuni og'irligi natijasida paydo bo'ladigan ρgh – og'irlik bosimi yig'indisiga teng;

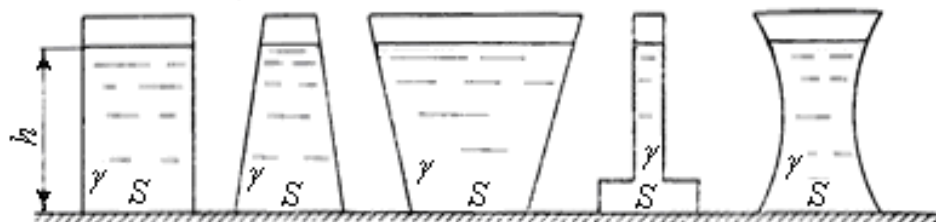
- p_0 – tashqi bosim qaralayotgan nuqtaning koordinatalaridan bog'liq, ya'ni u tinch holatdagi suyuqlikning barcha nuqtalariga o'zgarishsiz bir xil uzatiladi, shuning uchun amaliyotda suyuqlik bosim uzatuvchi muhit sifatida qaraladi, masalan, gidravlik mashinalar (gidrozichlagichlar, siquvchi silindrlar, gidroko'targichlar)ning ishlash jarayoni suyuqlikning ana shu xossasiga asoslangan;

- ρgh – og'irlik bosimi nuqtaning koordinatalari funksiyasi, nuqtaning suyuqlik sathidan cho'kish chuqurligi oshishi bilan bu bosim oshib boradi;

- p_0 – tashqi bosim atmosfera bosimidan katta, atmosfera bosimiga teng va atmosfera bosimidan kichik bo'lishi mumkin; agar p ning sonli qiymati atmosfera bosimini hisobga olib aniqlangan bo'lsa, u holda (2.11) formula bo'yicha aniqlangan bosim absolyut bosim va aksincha atmosfera bosimisiz aniqlangan bosim ortiqcha bosim deb ataladi.

2.2. Bosim taqsimotining gidrostatik qonuni va Paskal qonunining tadbirlari

Gidrostatik g'ayritabiiylik (paradoks). Suyuqlik va gazlarning gidrostatik xossalari o'zining molekulyar tuzilishiga ko'ra qattiq jismlar xossalariidan keskin farq qiladi. Gazlar o'zini saqlayotgan idish shaklida bo'ladi. Yetarlicha kichik ta'sir kuchi yordamida suyuqlikning hajmini o'zgartirmasdan uning shaklini o'zgartirish mumkin. Og'irlik kuchi may-donidagi suyuqlik uni saqlayotgan idish shaklida bo'ladi. Tinch holatdagi suyuqlikning sathi (gazlardan farqli), uni saqlayotgan idishning shaklidan qat'iy nazar, og'irlik kuchi ta'siri yo'nalishiga perpendikulyar bo'ladi. Biz yuqorida tinch holatdagi suyuqlikka ta'sir etuvchi kuchlar: sirt kuchlari, massaviy kuchlar hamda sirt taranglik kuchi va ularning ahamiyati haqida to'xtalib o'tgan edik. Yuqorida aytilganlarga qo'shimcha qilib, shuni ta'kidlash lozimki, suyuqlik ustunining idish tubiga bosuvchi kuchi suyuqlikning jinsidan, idish tubining yuzasidan va suyuqlik ustuni balandligidan bog'liq, ammo idishning shaklidan bog'liq emas. Shunday qilib, idishning shakli har xil, ammo ularning tubi yuzasi bir xil bo'lib, ularga bir xil jinsli suyuqlik bir xil chuqurlikda quyilgan bo'lsa, u holda idishlarning tubiga ta'sir etuvchi bosim kuchi bir xil va o'zaro teng bo'ladi (2.6-rasm). Bunday hodisa *gidrostatik g'ayritabiiylik (paradoks)* deb ataladi.

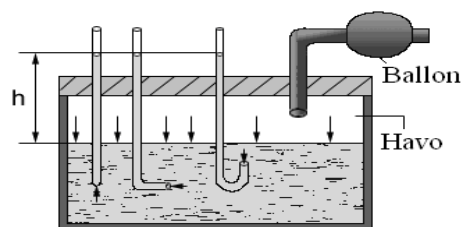


2.6-rasm. Gidrostatik g'ayritabiiylik (paradoks) sxemasi.

Suyuqlik va gazlar uchun Paskal qonuni va uning tadbirlari. Qattiq jismlar o'zlariga ta'sir etayotgan tashqi bosimni shu bosimlarni yuzaga keltirgan kuchlar yo'nalishida uzatadi. Suyuqlik va gazlarda esa tashqi bosim umuman boshqacha uzatiladi. Gidrostatikaning asosiy tenglamasidan ko'rinadiki, idishdagi siyqlik hajmining ixtiyoriy joyidagi nuq-tani tanlamaylik, unga tashqi sirtga qo'yilgan p_0 bosim doimo ta'sir etadi.

Paskal qonuni (1663 yilda yaratilgan): *yopiq idishdagi suyuqlikning tashqi sirtiga qo'yilgan bosim shu suyuqlikning hamma ichki nuqtalariga barcha yo'nalishlarda o'zgarishsiz bir xil uzatiladi.*

Paskal qonunining ma'nosini tushunish uchun avvalo quyidagi eksperimentni qaraymiz (2.7-rasm). Tiqin bilan yopilgan idishda suv saqlanadi. Tiqinga diametrlari bir xil uchta naycha qo'yilgan bo'lib, ularning suyuqlikdagi quyi teshiklari bir xil chuqurlikda joylashgan, ammo ular har xil tomonga (quyiga, yonga va yuqoriga) yo'naltirilgan, yana bitta naycha esa suvga yetmaydigan qilib, purkagichga rezinali ballon orqali ulangan.



2.7-rasm. Suyuqlik va gazlar uchun Paskal qonunini ifodalovchi eksperiment sxemasi.

Uning yordanida idishga havo haydab, idishda suv sirtidagi havo bosimini oshiramiz. Ta'kidlaymizki, bunda har uchala naychada ham suv bir xil balandlikka

ko‘tariladi. Natijada, yopiq idishdagi qo‘zg‘almas suyuqlik o‘zining sirtiga qo‘yilgan tashqi bosimni barcha yo‘nalishlarda o‘zgarishsiz bir xil uzatadi. Kuzatishlar shuni ko‘rsatadiki, yopiq idishdagi gazlar ham tashqi bosimni xuddi shunday uzatadi.

Ko‘plab gidravlik qurilmalar (gidroko‘targich, gidrozichlagich, mashinalarning gidrouzatmasi, avtomobillarning tormoz sistemasi va hokazo)ning ishlash prinsipi Paskal qonuniga asoslangan. Paskal qonunining tadbiqu sifatida tutash idishlardagi suyuqlikning muvozanat shartini (tutash idishlar qonunini) hamda gidravlik zichlagich va uning ishlash prinsipini qarash mumkin.

Tutash idishlardagi suyuqlikning muvozanat sharti (tutash idishlar qonuni). O‘zaro aralashmaydigan har xil suyuqliklar bilan to‘ldirilgan ikkita tutash idishlarni qaraylik (2.8-rasm).

Idishlar yopiq, I va II idishlardagi suyuqliklar sathidagi p_{01} va p_{02} bosimlar har xil. $O-O$ chiziq har xil jinsli suyuqliklarning bo‘linish chi-zig‘i. Shu $O-O$ chiziq orqali o‘tuvchi gorizontallik teng bosimli tekislik. Ana shu teng bosimli tekislikda yotuvchi C_1 va C_2 nuqtalardagi gidrostatik bosimlarni aniqlaylik. Gidrostatikaning asosiy tenglamasiga ko‘ra

$$p_{C1} = p_{01} + \rho_1 g h_1; \quad p_{C2} = p_{02} + \rho_2 g h_2,$$

bunda h_1 va h_2 – suyuqliklarning I va II idishlarda $O-O$ tekislikdan yuqori ko‘tarilish balandligi; ρ_1 va ρ_2 – suyuqliklarning zichliklari.

Ko‘rinib turibdiki, $p_{C1} = p_{C2}$ bo‘lganligi uchun

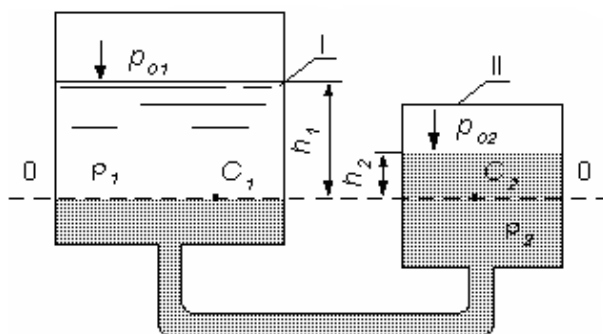
$$p_{01} + \rho_1 g h_1 = p_{02} + \rho_2 g h_2 \text{ yoki } p_{01} - p_{02} = \rho_2 g h_2 - \rho_1 g h_1.$$

Bu oxirgi bog‘lanish tutash idishlardagi suyuqliklarning muvozanat shartini ifodalaydi va undan amaliy masalalarni yechishda foydalaniladi. Bunda quyidagi xususiy hollarni qarash amaliyotda yordam beradi:

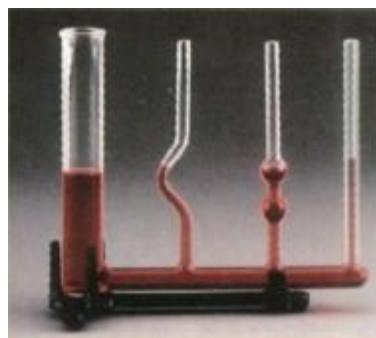
1-hol. Tutash idishlarga bir xil suyuqlik quyilgan, ammo p_{01} va p_{02} bosimlar har xil (2.8-rasm). $O-O$ teng bosimli tekislikda yotuvchi C_1 va C_2 nuqtalardagi gidrostatik bosimlarni aniqlaylik. Bu holda $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ ekanligidan

$$p_{01} - p_{02} = \rho g (h_2 - h_1).$$

2-hol. Tutash idishlarga bir xil suyuqlik quyilgan, ya’ni $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ va $p_{01} = p_{02}$ (2.8-rasm). $O-O$ teng bosimli tekislikda yotuvchi C_1 va C_2 nuqtalardagi gidrostatik bosimlarni aniqlaylik. Bu holda $h_2 = h_1$, ya’ni idishlardagi suyuqlik sathlari bir xil bo‘ladi. Bunga misol sifatida 2.9-rasmdagi tutash idishlarni keltirish mumkin.



2.8-rasm. Tutash idishlar sxemasi.



2.9-rasm. Tutash idishlar.

3-hol. Tutash idishlarga bir xil suyuqlik quyilgan, ya'ni $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, ammo birinchi idish ochiq ($p_{01} = p_{atm}$), ikkinchisi esa yopiq ($p_{02} > p_{atm}$). $O-O$ teng bosimli tekislikda yotuvchi C_1 va C_2 nuqtalardagi gidrostatik bosimlarni aniqlaylik (2.8-rasm). Bu holda

$$p_{C1} = p_{atm} + \rho gh_1; \quad p_{C2} = p_{02} + \rho gh_2,$$

chunki $p_{C1} = p_{C2}$, bu degani $p_{atm} + \rho gh_1 = p_{02} + \rho gh_2$ va bu yerdan $h_1 = h_2 + (p_{02} - p_{atm}) / (\rho g)$. Bundayi $(p_{02} - p_{atm}) / (\rho g)$ ifoda yopiq idishdagi suyuqlik sirtida yotgan nuqta uchun pyezometrik balandlik.

4-hol. Tutash idishlarga aralashmaydigan har xil jinsli suyuqliklar ($\rho_2 \neq \rho_1$) quyilgan va $p_{01} = p_{02}$ (2.8-rasm). $O-O$ teng bosimli tekislikda yotuvchi C_1 va C_2 nuqtalardagi gidrostatik bosimlarni aniqlaylik. Bu holda

$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2 \quad \text{yoki} \quad h_1 / h_2 = \rho_2 / \rho_1.$$

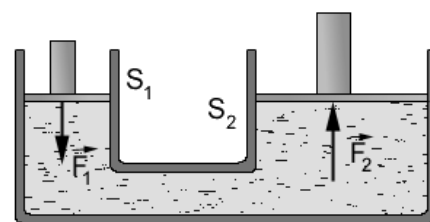
Bu shuni bildiradiki, tutash idishlarda sokin holatda turgan aralashmaydigan har xil jinsli suyuqliklarning ustuni balandliklari nisbati bu suyuqliklarning zichliklari nisbatiga teskari proporsional bo'lar ekan.

Paskal qonuni, xususan, tutash idishlar qonuni tadbqiqining bir misoli sifatida texnikada keng qo'llaniladigan gidravlik zichlagichni qarash mumkin.

Gidravlik zichlagich va uning ishlash prinsipi. Gidravlik zichlagich deb silindrik shaklidagi har xil diametrlil, ya'ni ko'ndalang kesimlari yuzasi har xil (masalan, $S_2 \gg S_1$) ikkita tutash idish tushuniladi. Silindrlar suyuq yog' (odatda transformator yog'i) bilan to'ldiriladi. Gidravlik zichlagichning sxematik qurilmasi 2.10-rasmda tasvirlangan (bu rasmda yog' zaxirasi va klapanlar tizimi ko'rsatilmagan). Yuklanish qo'yilmaganda porshenlar bir xil sathga ega bo'ladi. Ma'lumki, suyuqlikning p bosimi deb uning S yuzachasiga ta'sir etayotgan F kuchning shu yuza birligiga nisbatiga aytiladi, ya'ni $p = F / S$.

Gidravlik zichlagichda S_1 kichik yuzachali porshenga ta'sir etuvchi F_1 kichik kuch S_2 katta yuzachali porshenga ta'sir etuvchi F_2 katta kuch bilan uzatiladi. Haqiqatan ham, Paskal qonuniga ko'ra $p = F_1/S_1 = F_2/S_2$.

Natigada $F_2 = F_1 \cdot S_2/S_1 > F_1$, bundan esa $F_2/F_1 = S_2/S_1$ tenglikka kelamiz. Bu shuni bildiradiki, gidravlik zichlagich porshenlariga ta'sir eruvchi kuchlar shu porshenlar yuzalari proporsional. Shuning uchun, agar S_2 yuza S_1 yuzaga nisbatan qancha katta bo'lsa, gidravlik zichlagich yordamida shuncha kuchdan yutish mumkin.



2.10-rasm. Gidravlik zichlagich sxemasi.

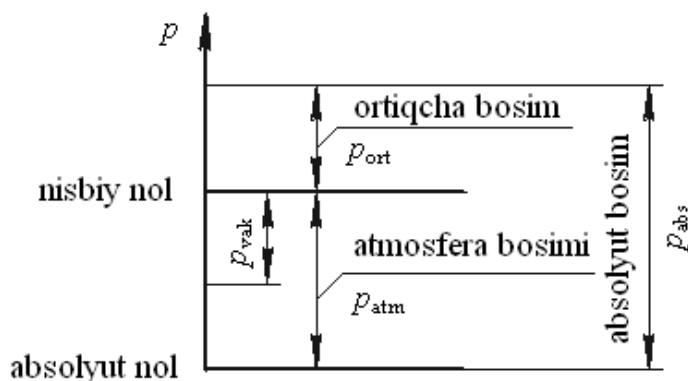
2.3. Bosim o'lchagich asboblari

Agar p bosim absolyut noldan boshlab hisoblansa, u holda uni p_{abs} – *absolyut bosim* deb atashadi. Absolyut bosim doimo musbat bo'ladi. Absolyut bosim uchun quyi limit nolga teng. Agar bosim atmosfera bosimidan boshlab hisoblansa, u p_{ort} – *ortiqcha bosim* deb ataladi. Ortiqcha bosim musbat ham va manfiy ham bo'lishi

mumkin. Atmosfera bosimi o'zgaras $p_{at} = 103 \text{ kPa}$ (2.11-rasm). Shularga ko'ra $p_{abs} = p_{ort} + p_{at}$ yoki $p_{ort}/\gamma = (p_{abs} - p_{at})/\gamma = h_p$, bu yerda h_p – ortiqcha bosimning o'lchovi bo'lib, *pyezometrik balandlik* deb ataladi. To'la va atmosfera bosimlari orasidagi farq *manometrik bosim* deb ataladi, ya'ni $p_{man} = p - p_{at}$. Manometrik bosim ortiqcha gidrostatik bosim ham deb ataladi. U nuqtaning suyuqlik erkin sirtidan cho'ktirish chuqurligidan bog'liq.

Tashqi bosim p_0 suyuqlik ichidagi ixtiyoriy nuqtasida bir xil ta'sir etadi, uning o'zgarishi berilgan nuqtadagi absolyut gidrostatik bosimning o'zgarishiga olib keladi. Gidrotexnik amaliyotda (ochiq idishlar va suv havzalarida) p_0 – tashqi bosim ko'pincha atmosfera bosimiga teng, ya'ni $p_0 = p_{at}$, bunda $p_{at} = 98100 \text{ N/m}^2$ – *texnik atmosfera* deb ataladi. Texnik atmosferaga $h_1 = p/\gamma_{suv} = 10 \text{ m}$ suv ustuni va $h_2 = p/\gamma_{simob} = 0,735 \text{ m}$ simob ustuni mos keladi.

Vakuummertik bosim yoki *vakuum* – atmosfera bosimiga yetmagan bosim (bosim tanqisligi), ya'ni atmosfera yoki barometrik va absolyut bo-simlar farqi: $p_{vak} = p_{at} - p$. Boshqacha aytganda, manfiy ishora bilan olin-gan ortiqcha bosim *vakuummertik bosim* deb ataladi: $p_{vak} = -p_{ort} = -p_{man}$.



2.11-rasm. Bosimlarni aniqlash sxemasi.

Yuqorida ta'kidlanganidek, biror sohada bosim atmosfera bosimidan kam ($p' < p_{at}$) bo'lsa, u holda bu sohada vakuum hosil bo'lgan deyiladi. Suyuqlikning berilgan nuqtasidagi *vakuum* – bu bosimning atmosfera bosimiga yetmasligi. Bunday bosimni o'lchash uchun teskari pyezometr – vakuummetr qo'llaniladi.

Vakuummert – bu bir uchi **A** soha bilan tutashgan bo'lib, bosim o'lchaydigan, ikkinchi uchi esa **B** yordamchi suyuqlikli idishga tushirilgan, erkin sirtidagi bosim esa atmosfera bosimiga teng naycha (2.12-rasm).

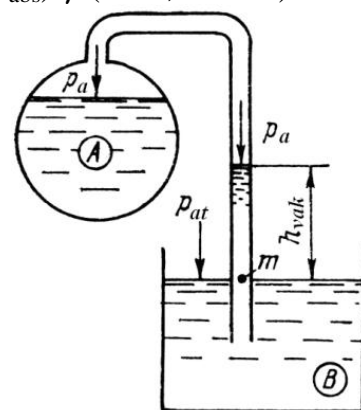
Atmosfera bosimi ta'siri ostida suyuqlik **B** idishdan naycha bo'ylab h_{vak} balandlikka ko'tariladi va bu balandlik *vakuummertik balandlik* yoki *vakuummert balandligi* deb ataladi.

Vakuummertik balandlik biror nuqtadagi ikkita bosimlar – atmosfera va absolyut farqini ifodalaydi. Aynan ana shu farq (bosimning o'zi emas) *vakuum* deb ataladi.

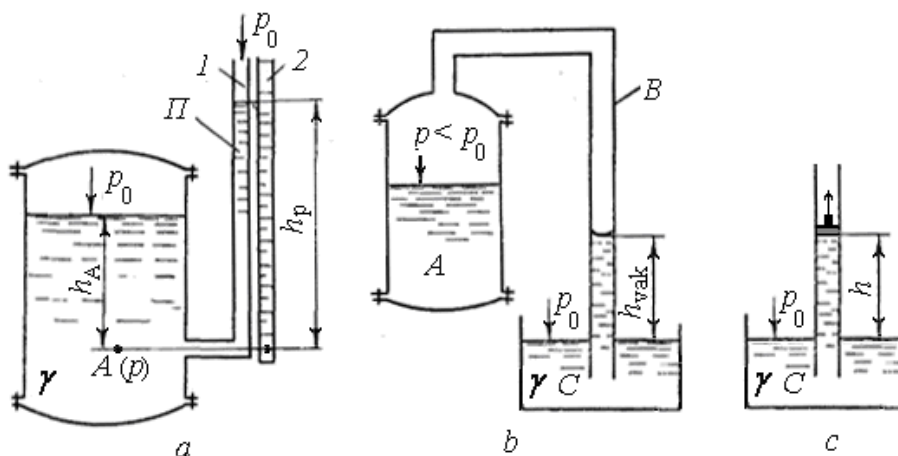
Yuqoridagi tushunchalardan foydalanib, quyidagi tushunchalarni kiritamiz: *pyezometrik balandlik* (h_p) – bu ortiqcha bosimning o'lchovi (rezervuarga ulangan **II** – pyezometr **A** nuqtadagi ortiqcha bosimni aniqlaydi): $h_p = p_{ort}/\gamma = (p_{abs} - p_{at})/\gamma$

(2.13,a-rasm); *vakuummatrik balandlik* (h_{vak}) – bu ortiqcha bosimning o‘lchovi (rezervuarga ulangan **B** vakuummeter): $h_{\text{vak}} = p_{\text{vak}}/\gamma = (p_{\text{at}} - p_{\text{abs}})/\gamma$ (2.13,b-rasm).

Vakuumnig o‘lchov birligi bosimniki kabi. Bu ikki ifodadan kelib chiqadiki, vakuum noldan atmosfera bosimigacha o‘zgaradi; 2.13,c-rasmda tasvirlangan naychadagi porshening yuqoriga harakati natijasida $h_{\text{max}} = p_0/\gamma$ bo‘lib, normal atmosfera bosimi $1,033 \text{ kg/sm}^2$ ga teng bo‘lganda $h_{\text{max}} = 0,76 \text{ m}$ (simob ushun); $10,33 \text{ m}$ (suv ushun); $13,8 \text{ m}$ (benzin uchun).



2.12-rasm. Vakuummeter



2.13-rasm. Pyezometrik (a), vakuummatrik (b), hamda maksimal vakummatrik (c) balandliklarni izohlashga oid sxemalar.

Suyuqlik hajmining biror nuqtasidagi p' – absolyut bosimini suyuqlikning biror ustuni balandligi yoki h' – absolyut (keltirilgan) pyezometrik balandlik bilan ifodalash mumkin va u metrlarda o‘lchanadi.

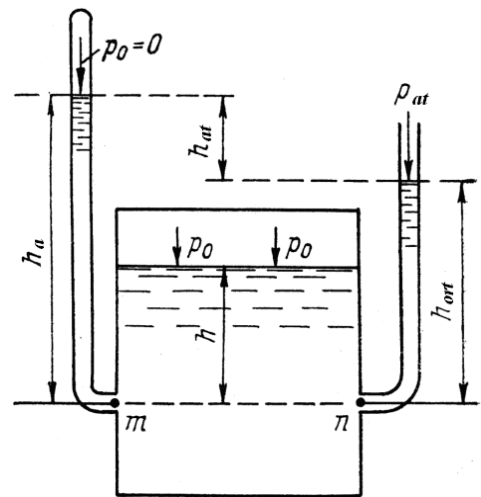
Absolyut (keltirilgan) pyezometrik balandlik – bu suyuqlik shunday ustunining balandligiki, bu qaralayotgan nuqtadagi absolyut bosimga teng. Bunday balandlikni o‘lchaydigan asbob *yopiq pyezometr* deyiladi (2.14-rasm).

Suyuqlik hajmining biror nuqtasidagi p – manometrik bosimini suyuqlik ustuni balandligi yoki h' – ortiqcha (keltirilgan) pyezometrik balandlik bilan ifodalash mumkin va u metrlarda o‘lchanadi.

Ortiqcha pyezometrik balandlik (h) – bu suyuqlik shunday ustunining balandligiki, bu qaralayotgan nuqtada suyuqlik o‘zining og‘irligi bilan manometrik bosimga teng bosim hosil qiladi (2.14-rasm).

Pyezometrilar kichik bosimlarni (0,3 – 0,4 at gacha) o‘lchashda ishlatiladi (ochiq turdagi pyezometrilar), chunki kattaroq bosimlarni (3–4 m suv ustuni) o‘lchash uchun pyezometrlarning quvurchasi juda ham uzun bo‘lishi talab etiladi. Bu sodda va aniq asboblari laboratoriya gidravlik tadqiqotlarida keng qo‘llaniladi.

Yetarlicha katta bosimlarni o‘lchash uchun boshqa asboblardan foydalanish maqsadga muvofiq. Masalan, simobli manometerda naychadagi suv simob bilan almashtiriladi.



2.14. Ochiq va yopiq turdagi pyezometrilar.

Umuman olganda, laboratoriya sharoitida suyuqlik va gazlarning bosimini o‘lchash uchun, pyezometrlardan tashqari, ikki xil manometrlardan foydalaniladi: *suyuqlikli va mexanik manometrlar*.

Suyuqlikli manometrlar o‘zining tuzilishiga ko‘ra quyidagi sxemalarda bo‘ladi (2.15-rasm):

- U – shaklida (2.15,a-rasm);
- bir nechta U-shaklli manometrlar ulanmasi (2.15,b-rasm);
- kosali manometrlar (2.15,c-rasm);
- U-shakladi differensial manometrlar (2.15,d-rasm);
- ikki suyuqlikli mikromanometrlar (2.15,e-rasm);
- ikki suyuqlikli kosali manometrlar (2.15,f-rasm).

Suyuqlikli manometrlarning ishlash prinsipini qaraylik.

U-shaklli manometr egilgan shishali naychadan iborat bo‘lib, unga simob solingan (2.15,a-rasm).

Gazlarda uncha katta bo‘lmagan bosimni o‘lchash uchun spirt qo‘llaniladi.

Ketma-ket ulangan bir nechta U-shaklidagi manometrlar p_{ort} – ortiqcha bosim yetarlicha katta bo‘lgan hollarda qo‘llaniladi va unga mos keluvchi h balandlik U-shaklidagi bitta naycha doirasigacha kamaymaydi. 2.15,b-rasmda tasvirlangandek ketma-ket ulangan ikkita U-shaklidagi naychalar (bunda K – jo‘mrak yoki havo qo‘yish uchun qisqich) uchun

$$p_{ort} = \gamma_{simob}(h_1 + h_2) - \gamma_2 (H_1 + H_2)$$

yoki umumiy holda bir nechta naychalar uchun

$$p_{ort} = \gamma_{simob} \sum h - \gamma_2 \sum H.$$

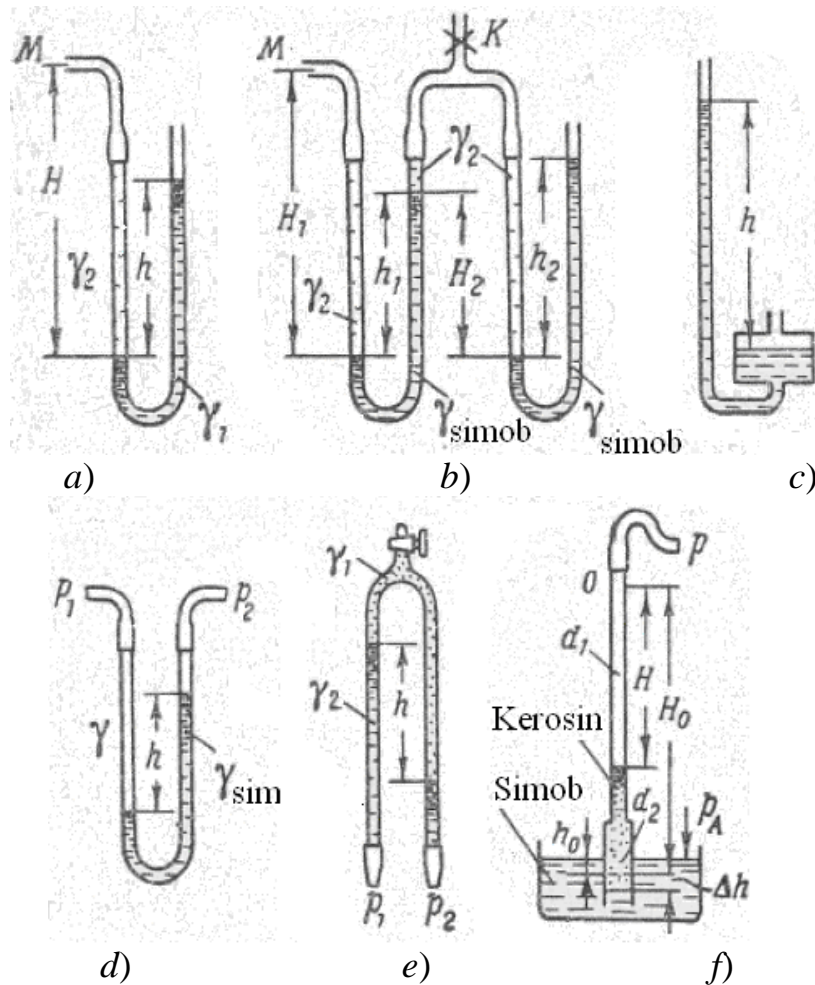
Kosali manometrning (2.15,c-rasm) yuqoridagidan qulayligi shundaki, uni qo‘llashda suyuqlikning bitta sathini fiksirlash yetarli. Kosaning naycha diametriga nisbatan yetarlicha katta diametrlarida suyuqlikning sathini o‘zgarimas deb hisoblash mumkin.

Differensial manometr ikkita nuqtadagi bosimlar farqini aniqlash uchun xizmat qiladi, uning eng soddasi U-shakldagi manometer bo‘lib, u 2.15,d-rasmda tasvirlangan. Agar simob solingan bundy manometr tutash idishni to‘ldirib turgan γ – solishtirma og‘irlikli suyuqlikning p_1 va p_2 bosimlari farqini o‘lchasa, u holda

$$p_1 - p_2 = h (\gamma_{\text{simob}} - \gamma).$$

Bu manometrning tadbqiqi sifatida 2.16-rasmda tasvirlangan differensial manometrni misol qilib keltirish mumkin.

Ikki suyuqlikli kosali manometrlar taxminan 0,1 dan 0,5 atm gacha intervalda bosimni o'lash yoki havoning siyraklashishini aniqlash uchun ishlatiladi (2.17, e-rasm), bunda spirtli yoki suvli manometr spirtning juda katta ustunini beradi, shuning uchun undan foydalanish noqulay; simobli manometr esa simob ustunining balandligi etarlicha bo'lmagani uchun kerakli aniqlikni bermaydi.

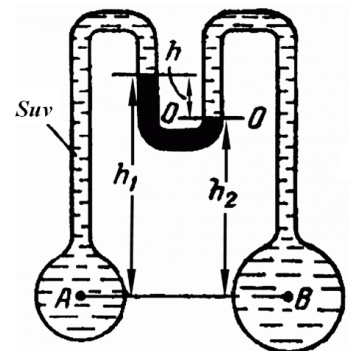


2.15-rasm. Suyuqlikli manometrlar sxemalari.

Bunday manometrlar tezkor aerodinamik quvurlarda qo'llaniladi. Uning ishlash sxemasi 2.15, f-rasmda tasvirlangan (kosaga simob, naychaga esa spirt, kerosin yoki boshqa suyuqlik quyilgan, bunda kam bug'lanuvchan kerosindan foydalanish qulaylik tug'diradi).

Temir yo'l transportida manometrlar magis-traldagi yog' bosimini nazorat qilishda qo'llaniladi.

Hozirgi kunda manometrlarning eng ko'p tarqalgan turlaridan biri elektrik manometr hisob-

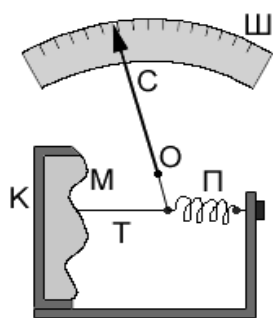


2.16-rasm. Differensial manometer.

lanadi, mexanik manometrlar esa ularga ko'ra kamroq qo'llaniladi. Elektrik manometrda sezgich sifatida membrana ishlatiladi. O'lchanayotgan bosim ta'sirida membrana deformatsiyalanadi va uzatgich qurilma orqali potensiometrning dvijogini harakatga keltiradi, o'z navbatida bu potensiometr kalit orqali elektrik sxemaga ulangan.

Mexanik manometrlar ikki turda bo'ladi: *prujinali va membranali*. Ularning ishlash prinsipi o'lchanayotgan bosim ta'sirida to'la prujinaning yoki membrananing deformatsiyasiga asoslangan bo'lib, maxsus mexanizm orqali bu deformatsiya strelkaga uzatiladi, uning siferblati o'lchanayotgan bosimni ko'rsatadi.

Atmosfera bosimini o'lchagich aneroid deb ataluvchi metall barometrni bunga misol qilib keltirishimiz mumkin (2.17-rasm). Bu asbob (K – havosi so'rilgan silindrik kamera; M – kamerani germetik yopuvchi membrana; T – taranglovchi; П – prujina; C – strelka; O – o'q; III - shkala) suvli manometrlarga nisbatan aniqligi kamroq, ammo u bilan atmosfera bosimini har xil balandliklarda o'lchash qulay. Shishali aneroid (altimetr yoki balandlik o'lchagich) yordamida Yerdan ko'tarilish balandligini o'lchash mumkin, u aviatsiyada, parashyutdan sakrash sportida, alpinizmida va boshqa hollarda keng qo'llaniladi.



2.17-rasm

Barometraaneroid
sxemasi.

katta hajmdagi tutash idishlar tabiiy gidrodinamik tizimlarning alohida tirsaklari rolini o'ynovchi quduqlar tizimi bilan suv shimuvchi tog' jinslari qatlami orqali bog'langan bo'ladi. Bir jinsli suyuqlik bilan to'ldirilgan ochiq tutash idishlarda suyuqlikning erkin sathi har ikkala tirsakda bir hil bo'ladi. Agar idishlar tirsaklariga o'zaro aralashmaydigan suyuqliklar quyilgan bo'lsa, u holda suyuqlikning erkin sathi suyuqliklarning zichligidan bog'liq holda chap va o'ng tirsaklarda har xil balandliklarda bo'ladi. Bu qoidadan differensial manometrlarda foydalaniladi (2.16-rasm).

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Suv bilan to'ldirilgan idish tubidagi p' - gidrostatik bosimni aniqlang. Idish og'zi ochiq, erkin sirtiga ta'sir etayotgan bosim atmosfera bosimi. Idishdagi suvning chuqurligi $h = 0,6$ m.

Yechish. Idishdagi gidrostatik bosim $p' = p_0 + \gamma h$. Bu yerda $p_0 = p_{at}$ bo'lgani uchun $p' = p_{at} + \gamma h$. Berilganlarga ko'ra $p_{at} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$; $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$. U holda $p' = p_{at} + \gamma h = 9,81 \cdot 10^4 + 9810 \cdot 0,6 = 103986 \text{ N/m}^2$.

Javob: $p' = 103986 \text{ N/m}^2 = 103,986 \text{ kN/m}^2$.

2-masala. Yopiq idishda suyuqlik sathidan h balandlikda suv ustuni balandligini aniqlang. Idishdagi suv $p'_1 = 1,06$ at absolyut bosim ostida turibdi (2.18-rasm).

Yechish. A umumiy nuqta uchun muvozanat shartini tuzamiz. A nuqtada chapdan gidrostatik bosim $p' = p'_1 + \gamma h_1$. A nuqtada o'ngdan gidrostatik bosim $p' = p_{at} + \gamma h + \gamma h_1$.

Bu tenglamalarning o'ng taraflari tenglashtiramiz:

$$p'_1 + \gamma h_1 = p_{at} + \gamma h + \gamma h_1, \text{ u holda } p'_1 = p_{at} + \gamma h.$$

Natijada $h = (p'_1 - p_{at}) / \gamma$ hisob formulasini hosil qilamiz. O–O tekislik hisob shkalasining boshi. Pyezometr suyuqlik ustunining h balandligidagi manometrik bosimning miqdorini o'lchaydi. Boshlang'ich berilganlarni hisob formulasiga qo'ysak,

$$p'_1 - p_{at} = 1,06 - 1 = 0,06 \text{ at.}$$

Bu yerda at ni N/m ga o'tkzaksak,

$$0,06 \text{ at} \cdot 98100 \text{ N/m}^2 = 5886 \text{ N/m}^2;$$

Agar $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$ desak, u holda

$$h = (p'_1 - p_{at}) / \gamma = 5886 / 9810 = 0,6 \text{ m.}$$

3-masala. Ballon ichidagi havoning absolyut bosimi $p'_B = 0,95$ at bo'lsa, u holda vakuummetda suvning h_{vak} – ko'tarilish balandligini toping (2.20-rasm). Vakuummetr qanday bosimni o'lchashini aniqlang.

Yechish. O–O gorizontal tekislikka nisbatan muvozanat shartini tuzamiz. Ichkaridan ta'sir qilayotgan gidrostatik bosim quyidagiga teng:

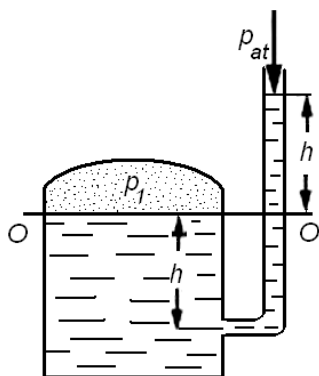
$$p'_{O-O} = p'_B + \gamma h_{vak}.$$

Tashqi tarafdin gidrostatik bosim:

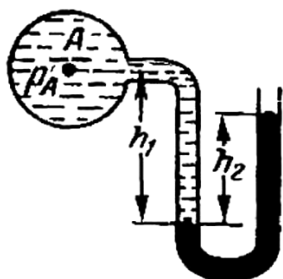
$$p'_{O-O} = p_{at}.$$

Tizim muvozanatda turganligi uchun bu ikki tenglamaning o'ng taraflarini tenglashtiramiz:

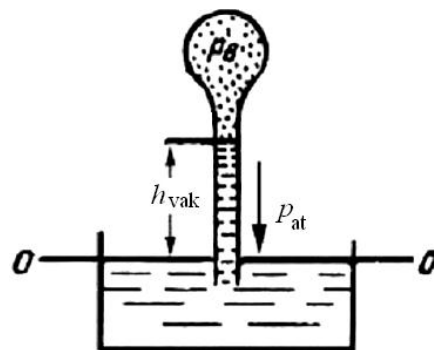
$$p_{at} = p'_B + \gamma h_{vak}.$$



2.18-rasm.



2.19-rasm.



2.20-rasm.

Bu yerdan quyidagi hisob formulasi kelib chiqadi:

$$h_{vak} = (p_{at} - p'_B) / \gamma$$

Vakuummeter atmosfera bosimiga yetmayotgan suyuqlik ustuni h bilan ifodalanuvchi bosimni yoki vakuummni o'ldiradi.

$$p_{at} - p'_B = 1 - 0,95 = 0,05 \text{ at} = 0,05 \cdot 98100 = 4905 \text{ N/m}^2;$$

$$\gamma = 9810 \text{ N/m}^3; \quad h_{vak} = 4905/9810 = 0,5 \text{ m.}$$

4-masala. Agar pyezometr bo'yicha simob ustuni balandligi $h_2 = 25$ sm bo'lsa, u holda suv uzatish quvurining A nuqtasidagi manometrik bosimni aniqlang. Quvurning markazi suv va simobning ajralish chizig'idan $h_1 = 40$ sm pastda joylashgan (2.21-rasm).

Yechish. B nuqtadagi bosimni topamiz. A nuqta B nuqtadan h_1 ga pastda joylashganligi uchun

$$p'_B = p'_A - \gamma h_1 = p'_C.$$

C nuqtadagi bosim B nuqtadagi bosimga teng, chunki suv ustunining bosimi muvozanatlashadi. Atmosfera bosimini hisobga olib, C nuqtadagi bosimni aniqlaymiz:

$$p'_C = p'_{at} + \gamma_{simob} h_2.$$

Har ikkala tenglamani tenglashtirsak,

$$p'_A - \gamma h_1 = p_{at} + \gamma_{simob} h_2.$$

Natijada manometrik bosim quyidagiga teng bo'ladi:

$$p_A = p'_A - p_{at} = \gamma_{simob} h_2 + \gamma h_1.$$

U holda $p_A = 133416 \cdot 0,25 + 9810 \cdot 0,4 = 37278 \text{ N/m}^2$.

5-masala. Atmosfera bosimi $p_{atm} = 10^5 \text{ Pa}$, idishdagi suv chuqurligi $h = 2,5$ m bo'lsa, u holda ochiq idishning tubidagi absolyut va ortiqcha bosimlarni aniqlang.

Yechish. Suv zichligini $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ desak, idish tubidagi ortiqcha bosim $p_{ort} = \rho gh = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 24525 \text{ Pa} = 0,245 \text{ bar}$. Absolyut bosim esa $p_{abs} = p_{atm} + p_{ort} = 10^5 + 24525 = 124525 \text{ Pa} = 1,245 \text{ bar}$.

6-masala. Suv bilan to'ldirilgan idish tubidagi p' -gidrostatik bosimni aniqlang. Idish og'zi ochiq erkin sirtga ta'sir etayotgan bosim atmosfera bosimi. Idishdagi suvning chuqurligi $h = 0,6 \text{ m}$.

Yechish: Idishdagi gidrostatik bosim $p' = p_0 + \rho gh$.

Bu masalada $p_0 = p_{at}$ bo'lganligi uchun

$$p' = p_{at} + \gamma h.$$

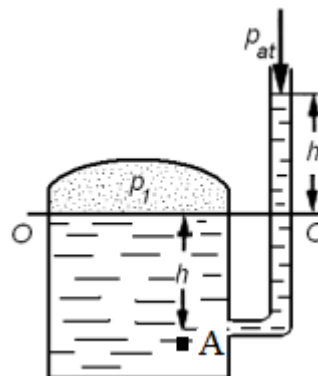
Ushbu ifodaga muvofiq

$$p' = p_{at} + \gamma h = 98100 + 0,6 \cdot 9810 = 103986 \text{ N/m}^2.$$

ga ega bo'lamiz.

7-masala. Yopiq idishda suyuqlik sathidan h balandlikda suv ustuni balandligini aniqlang. Idishdagi suv $p'_1 = 1,06 \text{ at}$ absolyut bosim ostida turibdi.

Yechish: A umumiy nuqta uchun muvozanat shartini tuzamiz. A nuqtadan chapda gidrostatik bosim $p' = p'_1 + \gamma h_1$. A nuqtadan o'ngda gidrostatik bosim $p' = p_{at} + \gamma h + \gamma h_1$. Bu



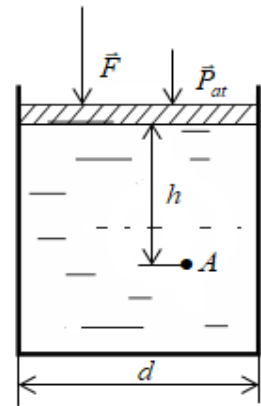
tenglamalarni tenglashtirib $p'_1 + \gamma h_1 = p_{at} + \gamma h + \gamma h_1 \Rightarrow h = \frac{p'_1 - p_{at}}{\gamma}$ ni hosil qilamiz. Bu formulaga asosan $h = 0,6m$.

8-masala. Agar porshenga ta'sir etayotgan kuch $F = 6,2kN$, atmosfera bosimi $p_{at} = 0,1MPa$ bo'lsa, porshendan $h = 0,5m$ chuqurlikda joylashgan A nuqtadagi mutlaq va ortiqcha bosimni aniqlang.

Yechish: Suyuqlikka porshen orqali ta'sir etayotgan ortiqcha bosim quyidagicha teng:

$$P_{ort} = \frac{\vec{F}}{S} = \frac{\vec{F}}{\pi R^2} = \frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{4 \cdot 6,2 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 4 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^5 Pa = 200 kPa.$$

A nuqtaga suyuqlik tomonidan ta'sir qilayotgan ortiqcha bosim



$$P_{ort} = P + \gamma h = 0,2 \cdot 10^6 + 10^3 \cdot 10 \cdot 0,5 = 0,2 MPa + 0,005 MPa = 0,205 MPa$$

kabi hisoblanadi.

Umumiy ortiqcha bosim esa quyidagicha hisoblanadi:

$$P_{um.ort} = \gamma h = 0,005 MPa.$$

A nuqtadagi mutlaq bosim

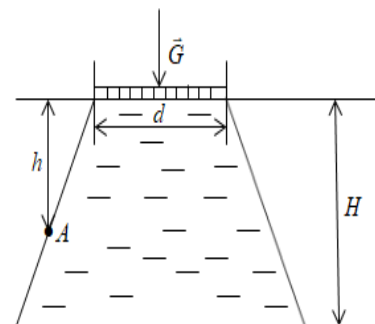
$$P_{Amut} = P_{at} + P_{ort} = 0,1 MPa + 0,205 MPa = 0,305 MPa.$$

9-masala. Idishning $d = 0,5m$ diametrli qopqog'iga $G = 3,14kN$ kuch ta'sir etmoqda. Idish qopqog'idan A nuqtagacha bo'lgan masofa $h = 1,5m$, tubigacha esa $H = 2,0$. Suyuqlik zichligi $\rho = 1020 kg/m^3$ uchun idish tagida va A nuqtadagi mutlaq va ortiqcha bosimni aniqlang.

Yechish: Idish tubidagi mutlaq gidrostatik bosim $P_{mut} = P_{at} + \frac{G}{S} + \gamma H$ ga teng.

Bunda $P_{at} = 100000 Pa$; $S = \frac{\pi d^2}{4} = 0,2 m^2$; $\gamma H = \rho g H = 1020 \cdot 9,8 \cdot 2,0 = 20000 Pa$.

Natijada idish tubidagi mutlaq bosim quyidagicha hisoblanadi:



$$P_{mut} = 100000 + \frac{3,14 \cdot 10^3}{0,2} + 20000 = 100000 + 15700 + 20000 = 135700 \text{ Pa} = 135,7 \text{ kPa}.$$

A nuqtadagi bosim

$$P_A = 100000 + 15700 + 1020 \cdot 9,8 \cdot 1,5 = 130694 \text{ Pa} = 0,13 \text{ Pa}.$$

A nuqtadagi ortiqcha bosim $P_{Aort} = P_A - P_{at} = 130700 - 100000 = 30700 \text{ Pa}.$

10-masala. Agar idish ichidagi suyuqlik sathiga $P_0 = 120 \text{ kN/m}^2$ bosim ta'sir etib, A nuqttagacha bo'lgan chuqurlik $h = 1,0 \text{ m}$, suyuqlik zichligi $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$,

Topshiriqlar

1. Yuqoridagi 1-masala shartlaridan kelib chiqib, idish tubiga ta'sir etayotgan manometrik bosimni aniqlang.

2. Agar pyezometrning ko'rsatgichi $h = 0,4 \text{ m}$ bo'lsa, p' – gidrostatk bosimni toping (2.18-rasm). p – manometrik bosim nimaga teng?

3. Agar A ballondagi neftning manometrik bosimi $p_A = 0,6 \text{ at}$, neft ($\gamma_{neft} = 7848 \text{ N/m}^3$) ustunining balandligi $h_1 = 55 \text{ sm}$ bo'lsa, simob ustunining balandligi h_2 ni toping (2.19-rasm).

4. Agar vakuummetrning ko'rsatgichi $h_{vak} = 0,7 \text{ m}$ suv ustuni (2.20-rasm) bo'lsa, u holda ballon ichidagi p_{vak} – vakuumm va p'_B – absolyut bosimni toping.

5. A ballondagi (2.20-rasm) manometrik bosim (p_A) va absolyut bosim (p'_A) larni quyidagi ikki hol uchun hisoblang (hisoblashlarda $h_1 = 70 \text{ sm}$, $h_2 = 50 \text{ sm}$ deb oling):

1) ballonda va chap naychada suv ($\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$), o'ng naychada esa simob ($\gamma_{simob} = 133\,416 \text{ N/m}^3$);

2) ballonda va chap naychada havo ($\gamma_{havo} = 133,416 \text{ N/m}^3$), o'ng naychada esa suv.

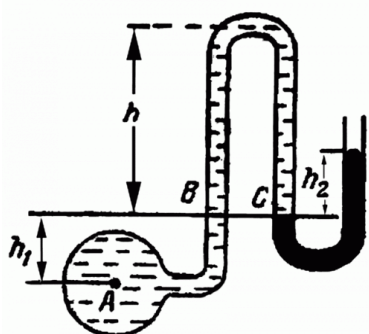
6. Agar quvurning markaziy A nuqtasi 2.21-rasmda ko'rsatilganiga nisbatan yuqoriga ko'tarilib, suv va simobning ajralish chizig'idan $h_1 = 40 \text{ sm}$ yuqorida joylashgan bo'lsa, simob ustuni balandligi h_2 ni toping. Quvurdani manometrik bosimni, $p_A = 37278 \text{ N/m}^2$ deb oling.

7. Agar quvurdagi $p_A = 39240 \text{ N/m}^2$ manometrik bosimda va $h = 40 \text{ sm}$ ko'rsatgichda tizim muvozanatda turgan bo'lsa, u holda pyezometrda simob sathi qanday z balandlikda bo'lishini aniqlang (2.22-rasm).

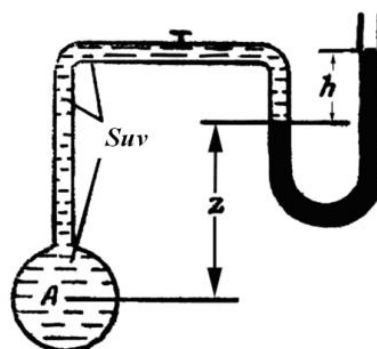
8. Yopiq rezervuarga bosim ostida yog' quyilgan (2.23-rasm). Yog'ning nisbiy solishtirma og'irligi 0,75. Yog'ning sathini aniqlash uchun rezervuarning o'ng tarafiga pyezometr ulangan. Chap pyezometr rezervuardagi bosimni aniqlashga mo'ljallangan. Quyidagilarni aniqlang:

1) o'ng pyezometrning ko'rsatgichi $h = 80 \text{ sm}$ bo'lganda rezervuarning maksimal manometrik bosimi $p = 5886 \text{ N/m}^2$ ni o'lchash uchun chap pyezometrning z balandligini qanday o'rnatish kerak;

2) agar $h = 80 \text{ sm}$ qatlamda chap pyezometrning z ko'rsatgichi 1,2 m ga teng bo'lsa, rezervuardagi absolyut bosim nimaga teng.



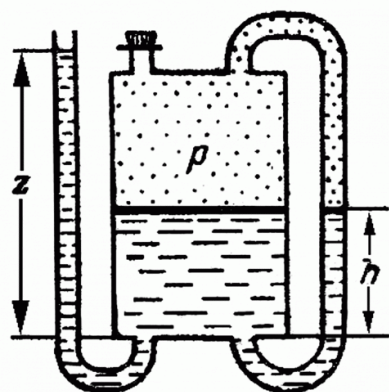
2.21-rasm.



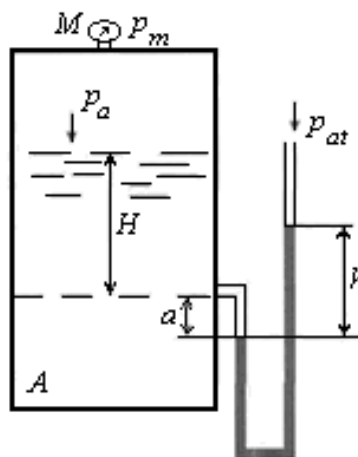
2.22-rasm.

Ko'rsatma. Nisbiy solishtirma og'irlik – bu shu suyuqlik og'irligining xuddi shu hajmdagi distillangan 4°C li suv og'irligiga nisbati. Qaralayotgan hol uchun $0,75 = \gamma_{yog'}/\gamma$ va $\gamma_{yog'} = 0,75 \cdot \gamma$.

9. Suyuqlik bilan to'ldirilgan A rezervuarga simobli manometr va M manovakuummetr ulangan (2.24-rasm). Agar ulangan simobli manometrning chuqurligi H, simob sathlari farqi h, simobning manometrdagi tushish chuqurligi a bo'lsa, u holda manovakuummetrning ko'rsatgichi p_m ni aniqlang. Simobning solishtirma og'irligi $\gamma = 133,416 \text{ kN/m}^3$.



2.23-rasm.



2.24-rasm.

Masala	Suyuqlik	H (m)	h (m)	a (m)
1.	Suv	1,2	0,15	0,5
2.	I-12 yog'	1,0	0,12	0,4
3.	Baku nefti (yengil)	2,0	0,2	0,25
4.	Mazut	2,5	0,1	0,15
5.	Glitserin	1,5	0,08	0,3
6.	Metil spirti	1,7	-0,2	0,5
7.	Dixloretan	1,8	-0,1	0,3
8.	Xloroform	2,1	-0,08	0,2
9.	AMG yog'i	1,5	-0,15	0,1
10.	Kerosin	1,4	-0,05	0,25

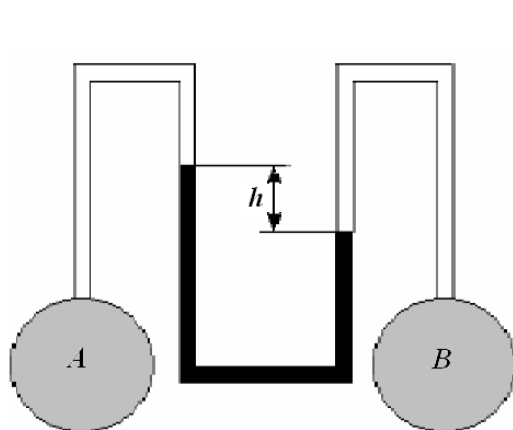
10. Simobli differensial manometrning ko'rsatgichi h bo'lsa, u holda γ solishtirma og'irlikli suyuqlik bilan to'ldirilgan quvurdagi p_A va p_B bosimlar farqini aniqlang (2.25-rasm).

Masala	Suyuqlik	h (m)
1.	I-20 yog'i	0,2
2.	Etil spirti	0,15
3.	Glitserin	0,1
4.	Mazut	0,3
5.	Transformator yog'i	0,7
6.	Atseton	-0,2
7.	Toluol	-0,15
8.	4 xlorli uglerod	-0,1
9.	Kerosin	-0,3
10.	Xloroform	-0,7

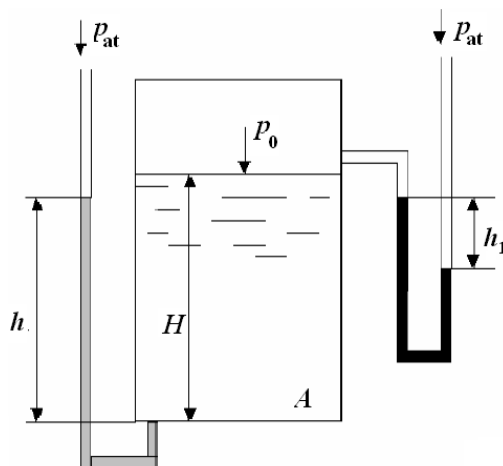
11. H chuqurlikli suyuqlik bilan to'ldirilgan A rezervuarga simobli vakuummetr va pyezometr ulangan (2.26-rasm). Agar vakuummetrdagi simob sathlari farqi h_1 bo'lsa, u holda rezervuarning erkin sirti ustidagi p_0 bosimni va pyezometrda suyuqlikning ko'tarilish balangligi h ni aniqlang. Simobning solishtirma og'irligi $\gamma = 133,416 \text{ kN/m}^3$.

Masala	Suyuqlik	H (m)	h_1 (m)
1.	Benzin	2,5	0,12
2.	Benzol	3	0,10
3.	Atseton	4	0,2
4.	Dixloretan	3	0,35
5.	Toluol	1	0,15
6.	I-20 yog'i	0,5	-0,12
7.	Kerosin	0,8	-0,10
8.	Glitserin	0,9	-0,2
9.	Etil spirti	1	-0,25
10.	Suv	2	-0,15

12. H chuqurlikli suyuqlik bilan to'ldirilgan A rezervuarga simobli vakuummetr va pyezometr ulangan (2.26-rasm). Agar pyezometrda suyuqlikning ko'tarilish balangligi h bo'lsa, u holda rezervuarning erkin sirti ustidagi p_0 bosimni va vakuummetrdagi simob sathlari farqi h_1 ni aniqlang. Simobning solishtirma og'irligi $\gamma = 133,416 \text{ kN/m}^3$.



2.25-rasm.



2.26-rasm.

Masala	Suyuqlik	H (m)	h (m)
1.	Metil spirit	2,5	1
2.	Benzol	3	1,5
3.	AMG-10 yog'i	4	2
4.	Kerosin	3	2,5
5.	Baku nefti (og'ir)	1	0,7
6.	Mazut	0,5	0,3
7.	Atseton	0,8	0,6
8.	Turbina yog'i	0,9	0,5
9.	Toluol	1	0,4
10.	I-50 yog'i	2	1

13. Qirg'oq devorini tekshirish uchun g'avvos h (jadvalga qarang) chuqurlikka tushdi. Shu chuqurlikdagi absolyut bosimning miqdorini toping.

Masala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, m	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5

14. Quyida berilganlarga (jadvalga qarang) ko'ra gidrozichlagichning detalni siquvchi P kuchini va bu kuchdan yutishni aniqlang: d , sm – kichik gidrosilindrning diametri; D , sm – katta (ishchi) silindrning diametri; a , m – dastak uzunligi; b , m – dastak kichik yelkasining uzunligi; P_0 , kgk – qo'yilgan zo'riqish; η - foydali ish ko'effisiyenti.

Masala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , sm	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	5,0	5,1	5,2	5,4	5,6
D , sm	30	32	33	35	36	38	40	41	44	46
a , m	0,9	0,92	0,94	0,96	1,0	0,98	1,2	1,4	1,6	1,8
b , m	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
P_0 , kgk	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16
η	0,85									

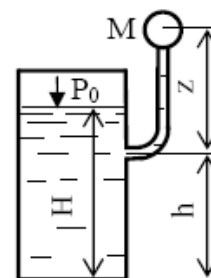
15. Diametri D , balandligi H , ichi $P = P_0$ bosimli havo bilan to'ldirilgan yupqa devorli qo'ng'iroq suvga G og'irlik ta'sirida tushirildi (jadvalga qarang). Havoning siqilish qonuni izotermik deb hisoblab, qo'ng'iroq cho'ktirilgan h chuqurlikni aniqlang.

Masala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D , sm	25	26	27	29	30	32	33	28	35	36
H , sm	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65
G , kg·k	2	4	5	6	7	8	10	12	14	16

16. Nasos ochiq rezervuardan naporli bakka zichligi $\rho = 840 \text{ kg/m}^3$ va kinematik qovushoqlik koeffitsiyenti $\nu = 6 \text{ mm}^2/\text{s}$ bo'lgan neftni p_m – manometrik bosim bilan h balandlikka Q miqdorda uzatmoqda. Uzatish quvurining uzunligi L , diametri d , devorining g'adir-budirligi Δ va mahalliy qarshiliklarning yig'indi koeffitsiyenti $\sum \xi$ (jadvalga qarang). Nasosning H_n naporini aniqlang.

Masala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p_m , kPa	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470
H , m	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32
Q , m^3/s	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
L , m	220	230	230	240	250	250	250	260	260	270
D , mm	80	80	90	90	100	100	110	110	120	120
Δ , mm	0,15	0,15	0,2	0,2	0,23	0,25	0,25	0,15	0,15	0,2
$\sum \xi$, m	20	25	20	25	30	30	35	35	40	40

17. Prujinali manometer suv solingan idishga uning tubidan $h=1 \text{ m}$ balandlikda ulangan (2.27-rasm). Mano-metrning markazi ulanish nuqtasidan $z=1 \text{ m}$ balandlikda. Quyidagilarni aniqlang: a) manometr ko'rsatgichi $p_{\text{man}} = 1,5 \text{ bar} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bo'lganda ortiqcha bosimni; b) idishdagi suv sathida absolyut bosimi $p_0=1,8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $H=1,5 \text{ m}$, atmosfera bosimi $p_{\text{atm}} = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bo'lganda manometer ko'rsatgichini.



18. Daryodagi muzlik 700 kPa bosimgacha chidaydi. Shu muzdan og'irligi 4 t, zanjirlarining muzga tekkan uzunligi 4 m va kengligi 30 sm bo'lgan traktor o'ta oladimi?

19. Silindrik idishga simob va suv quyilgan. Ularning og'irliklari bir xil. Idishdagi suyuqlikning umumiy balandligi h . Agar ρ_1 – simob zichligi, ρ_2 – suv zichligi bo'lsa, u holda idish tubidagi gidrostatik bosimni aniqlang

20. Asosining radiusi R bo'lgan silindrik idishga qanday balandlikda suyuqlik quyilganda, idishning tubiga va yon yog'ida bosim kuchi bir xil bo'ladi?

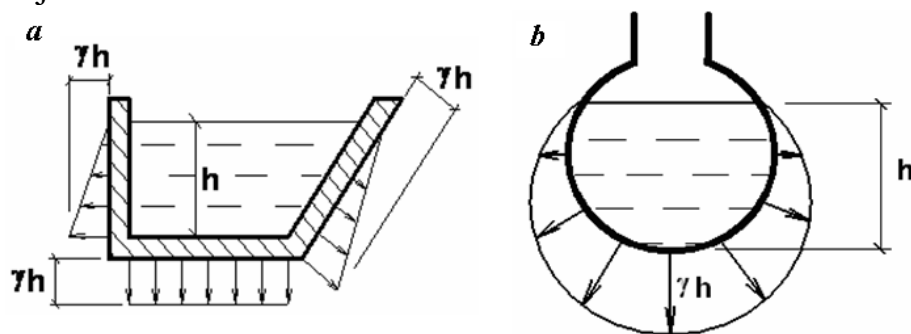
Sinov savollari

1. Suyuqlikka qanday kuchlar ta'sir etadi?

2. Hidrostatik bosim deb nimaga aytiladi? Bu tushunchaning ma'nosini qanday formula ifodalaydi? Berilgan nuqtadagi gidrostatik bosim, yuzaga ta'sir etuvchi o'rtacha bosim qanday aniqlanadi?
3. Hidrostatik bosimning asosiy xossalarini ayting.
4. Erkin sirt deb nimaga aytiladi? Uning shakli qanday kuchlardan bog'liq?
5. Hidrostatikaning asosiy tenglamasini bosimlar ko'rinishida yozing. Uni izohlang.
6. Paskal qonunini ayting va uni izohlang.
7. Hidrostatikaning asosiy tenglamasini naporlar ko'rinishida yozing. Uning fizik ma'nosini izohlang.
8. Absolyut, ortiqcha (manometrik) va vakuummetrik bosim deb nimaga aytiladi?
9. Bosim qanday birliklarda o'lchanadi? SI birliklar sistemasi va boshqa birliklar sistemalarida bosimning birliklari orasidagi bog'lanishlarni ayting.
10. Bosimi aniq bo'lgan nuqtadan yuqorida (quyida) turgan nuqta uchun gidrostatikaning asosiy tenglamasini yozing.
11. Paskal qonunini ifodalovchi tajribani shakllarda izohlang va shu qonunga ko'ra gidrostatik bosim uchun qanday formula o'rinli?
12. Tutash idishlar deb nimaga aytiladi? Tutash idishlar qonunini izohlang.
13. Gidravlik zichlagichning ishlash jarayonini rasmlar orqali izohlang.

2.4. Suyuqlikning jism sirtiga ta'sir etuvchi bosim kuchini aniqlash. Arximed qonuni

Suyuqlik bosimining epyurasi – bu suyuqlik bilan tutash qattiq sirt bo'ylab suyuqlik bosimi taqsimotining grafik tasviridir. Tekis va egri chiziqli sirtlar uchun epyuralar namunalari 2.28-rasmda tasvirlangan. Rasmdagi strelka bosimning ta'sir yo'nalishini (to'g'riroq aytganda, bosimning ikkinchi xossasiga ko'ra uning skalyar ekanligidan bosim ta'sirida paydo bo'lgan normal kuchlanishlarning yo'nalishini) ifodalaydi. Strelkaning miqdori (ordinatasi) masshtablarda tasvirlangan va bosimning miqdorini son jihatidan ko'rsatadi.



2.28-rasm. Tekis sirt (a) va egri chiziqli sirt (b) suyuqlik bosimining epyurasi.

Bosimning epyurasi suyuqlik bilan ta'sirlashayotgan qurilma (suzib yuruvchi basseyn, rezervuar, katta suv idishlari devori va hokazo) ning mustahkamligi va ustivorligini hisoblash uchun boshlang'ich ma'lumot bo'lib xizmat qiladi. Bunday hisoblar materiallar qarshiligi, qurilish mexanikasi, gidroelastiklik usullari bilan bajariladi. Ko'pgina hollarda to'la bosim o'rniga ortiqcha bosimning epyurasi

chiziladi, cheklovchi qurilmanining har ikkala tarafidagi atmosfera bosimlari o‘zaro qisqarganligi sababli ular hisobga olinmaydi. Tekis va egri chiziqli sirtlar uchun bunday epyuralarni chizishda bosimning chuqurlikdan chiziqli bog‘liqligini ifodalovchi ushbu $p_{ort} = \gamma h$ ifoda va gidrostatik bosimning birinchi xossasidan foydalaniladi.

Suyuqlikning jism sirtiga ta’sir etuvchi bosim kuchini aniqlash. Qo‘yilgan masala suyuqlikning uni sheklab turgan devor sirtiga ta’sir etuvchi bosim kuchini aniqlashdan iborat.

Yuzasi S ga teng bo‘lgan ixtiyoriy shakldagi AB egri chiziqli sirtini, bu sirtidan esa dS elementar yuzachani tanlaylik, \vec{n} - yuzachaning tashqi birlik normalini bo‘lsin (2.29-rasm). Bu yuzachaga ta’sir etayotgan kuch quyidagiga teng:

$$d\vec{F} = p\vec{n}dS,$$

bunda p – yuzacha markazidagi gidrostatik bosim.

Odatda texnik tadbiqlarda qo‘shimcha bosimdan paydo bo‘ladigan kuch qiziqish uyg‘otadi, ya’ni $p = \rho gh$ ekanligini e’tiborga olsak, u holda quyidagi tenglamani olamiz:

$$d\vec{F} = \rho gh\vec{n}dS. \quad (2.14)$$

Butun yuzaga ta’sir etuvchi kuch ushbu

$$\vec{F} = \iint_S \rho gh\vec{n}dS. \quad (2.15)$$

ifodaga teng. Bu ifodani koordinat o‘qlaridagi proeksiyalari

$$F_x = \rho g \iint_S h \cos(\vec{n}, \vec{x}) dS, \quad (2.16)$$

$$F_z = \rho g \iint_S h \cos(\vec{n}, \vec{z}) dS. \quad (2.17)$$

kabi yoziladi. Qulaylik uchun alohida elementar yuzachani tasvirlab olaylik (2.30-rasm). Rasmdan ko‘rinadiki,

$$dS \cdot \cos(\vec{n}, \vec{x}) = dS_{ver}, \quad dS \cdot \cos(\vec{n}, \vec{z}) = dS_{gor},$$

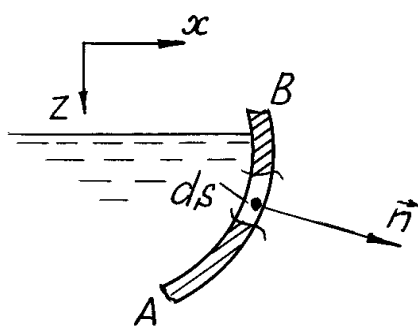
bunda dS yuzacha uchun dS_{ver} - vertikal va dS_{gor} - gorizontal proeksiyalar.

Shunday qilib,

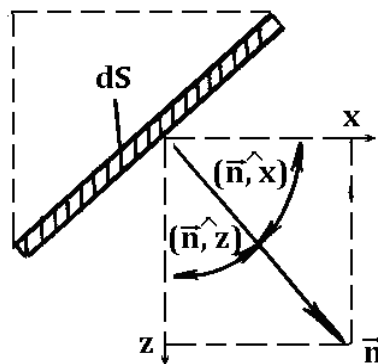
$$F_x = \rho g \iint_S h \cdot dS_{ver}, \quad (2.18)$$

$$F_z = \rho g \iint_S h \cdot dS_{gor}. \quad (2.19)$$

Yuzaga ta’sir etuvchi kuchning gorizontal tashkil etuvchisini qaraylik. Nazariy mexanika kursidan ma’lumki, (2.18) integral yuzaning statik momenti bo‘lib, uning qiymati $h_{ver} S_{ver}$ ko‘paytmaga teng, bunda S_{ver} - devorning vertikal proeksiyasi yuzasi; h_{ver} - vertikal proeksiyadagi og‘irlik markazining koordinatasi.



2.29-rasm. Suyuqlikning jism devori sirtiga ta'sir etuvchi bosim kuchini aniqlashga oid sxema.



2.30-rasm. Yuzachadagi bosim kuchini aniqlashga oid sxema.

Bundan kelib chiqadiki,

$$F_x = \rho g h_{ver} S_{ver} , \quad (2.20)$$

ya'ni gorizontaal tashkil etuvchi shu devorning vertikal proeksiyasi yuzasi bilan bu proeksiyasi og'irlik markazidagi gidrostatik bosimning ko'paytmasiga teng.

Endi kuchlarning vertikal tashkil etuvchilarini topaylik. Buning uchun Gauss-Ostrogradskiy formulasi natijasidan foydalanamiz:

$$\iint_S p \vec{n} dS = \iiint_V \text{grad } p dV .$$

(2.2) muvozanat tenglamasidan $\rho \vec{F} = \text{grad } p$ tenglamaga ega bo'lamiz, ya'ni

$$\iiint_V \text{grad } p dV = \iiint_V \rho \vec{F} dV .$$

Birlik massaviy kuchning vertikal proeksiyasi $\vec{F} = Z = g$ (bu holda ishora musbat, chunki bunda z o'qi pastga yo'naltirilgan).

Bundan kelib chiqadiki,

$$F_z = \iiint_V \rho g dV = \rho g \iiint_V dV = \rho g V , \quad (2.21)$$

bunda V – bosim ostidagi jismning hajmi (yoki bosim jismi hajmi) deb ataladi.

Arximed qonuni. Shunday qilib, *Arximed qonuni* quyidagicha talqin qilinadi: *jism suyuqlikka botirilganda vertikal tashkil etuvchi bosim jism hajmi ichidagi suyuqlikning og'irligiga teng va og'irlik markazidan o'tib, pastdan yuqoriga yo'nalgan bo'ladi.*

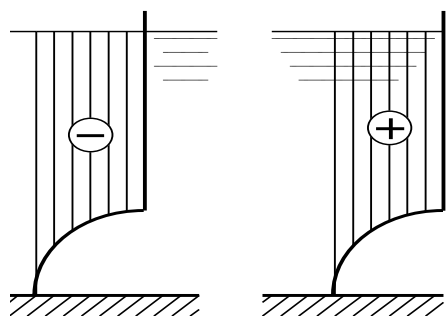
Bu hajmni aniqlash uchun quyidagi qoidadan foydalanamiz: *bosim jismi – bu egri siziqli sirt, uning erkin sirtidagi proeksiyasi (yoki erkin sirtning davomi) va vertikal proeksiyalanuvchi tekisliklar bilan cheklangan hajmdir.*

2.31-rasmda bosim jismini aniqlashning ikki holati tasvirlangan. Rasmdan ko'rinadiki, bosim jismi musbat ham, manfiy (soxta) ham bo'lishi mumkin ekan.

Shunday qilib, (2.21) formulaga asosan Arximed qonunidagi suyuqlikka botirilgan jismga ta'sir etuvchi ko'taruvchi kuch (Arximed kuchi, F_n) quyidagicha hisoblanadi: $F_n = \gamma V_m$, bunda V_m - jism siqib chiqargan suyuqlik hajmi.

Arximed kuchi og'irlik kuchi ta'siriga qarama-qarshi yo'nalgan, uning ta'sir chizig'i suyuqlikka botirilgan jism bo'lagi hajmi egallab turgan suyuqlik hajmining

og'irlik markazi orqali o'tadi va u jismning og'irlik markazi qayerda (suyuqlik uchida yoki undan tashqarida) ekanligidan bog'liq emas. Gazga botirilgan qattiq jismga ham Arximed kuchi ta'sir etadi, ammo gaz zichligining juda kichik bo'lganligi sababli u jism hajmiga va suyuqliklardagi siqib chiqaruvchi kuchga nisbatan juda kichik.



2.31-rasm. Bosim jismini aniqlashning sxemasi.

Arximed qonuniga asoslangan holda *jismning suzish shartini* keltirib chiqarish mumkin: *agar jismning o'rtacha zichligi suyuqlik zichligidan kam bo'lsa, u holda jismning bir qismi suyuqlik yuziga qalqib chiqadi.*

Agar suyuqlikka botirilgan jism sirti suyuqlik bilan to'la o'ralgan bo'lsagina Arxi-med qonuni kuchga ega, aks holda, masalan, jism idish tubiga cho'kkanda Arximed qonuni

o'rinli bo'lmay qoladi, chunki ko'taruvchi kuch yo'qoladi. Shuning uchun, masalan, okean tubiga o'tirgan suv osti kemasi cho'kadi.

Arximed qonuni asosida qurilgan asboblari: areometr - suyuqlik zichligini, laktometr - sut yog'ligini, spirtometr - spirt konsentratsiyasini o'lchovchi asboblari va hokazo.

Qurilish amaliyotida bu qonunning qo'llanilishi, masalan, 2.32-rasmda suv shimgan tuproqdagi yer osti rezervuarining suzishi tasvirlangan, bu rasmda ko'rsatilgan rezervuar tuproq suvi sathidan pastda joylashgan. Rasmdan ko'rinadiki, idish suvga botirilgan qismi hajmiga teng suv hajmini siqib chiqaradi va F_n Arximed kuchini paydo qiladi. Agar F_n kuch rezervuarining sof og'irligi G_p dan katta bo'lsa, u holda qurilma yuzaga qalqib chiqadi.

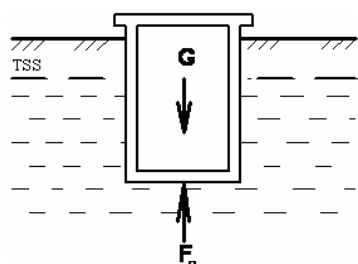
Tekis sirt. Bu holni yuqoridagining xususiy holi deb qarash mumkin, ammo undanda qulayroq munosabatni olish mumkin. Haqiqatan ham, bosim kuchi uchun umumiy ifoda (2.15) ko'rinishida ifodalanadi, ammo sirt tekis bo'lganligi uchun uning hamma nuqtalari normal orientatsiyasi bir xil bo'lib qolaveradi va natijada

$$\vec{F} = \rho g \vec{n} h_{ver} S. \quad (2.22)$$

Bu (2.22) formuladan kelib chiqadiki, \vec{F} - devorga normal bo'yicha yo'nalgan, shuning uchun quyidagi tenglikni yoza olamiz:

$$F = \rho g h_{ver} S. \quad (2.23)$$

Natijada tekis sirdagi bosim kuchi sirt yuza-sining shu sirt og'irlik markazidagi gidrostatik bosim bilan ko'paytmasiga teng bo'ladi.



2.32-rasm. Arximed qonuniga oid sxema.

Shuni ta'kidlash lozimki, sirdagi bosim kuchini aniqlashga bog'liq masalalar gidrotexnik amaliyotda keng qo'llaniladi.

Namynaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Agar tashqi bosim texnik atmosferaga, ya'ni $1 \text{ kG/sm}^2 = 10000 \text{ kG/m}^2 = 98100 \text{ N/m}^2$ ga teng va suyuqlik esa solishtirma og'irligi $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3 = 9810 \text{ N/m}^2$ ga teng suv bo'lsa, u holda pyezometrik balandlik (yoki pyezometrik napor) ni toping (2.5-rasmga qarang).

Yechish. Ma'lumki, $h = \frac{p_0}{\gamma}$ miqdor ham tashqi bosimdan va ham ko'tarilish naychasidan kuzatilayotgan suyuqlik turiga bog'liq. Shuning uchun u quyidagiga teng bo'ladi:

$$h = \frac{p_0}{\gamma} = \frac{10000}{1000} = \frac{98100}{9810} = 10 \text{ m suv ustuni.}$$

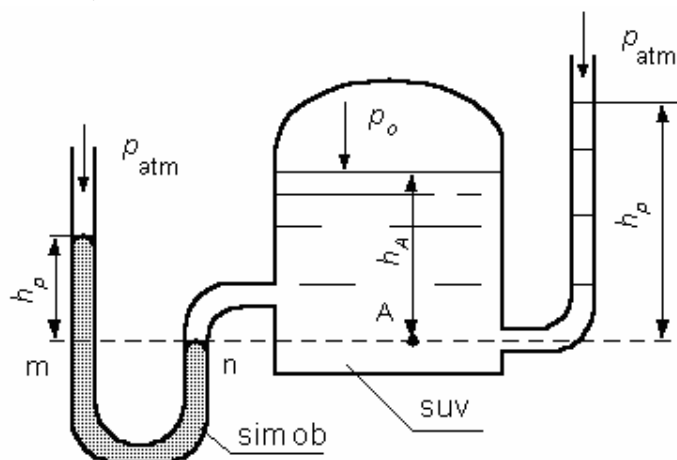
Agar suyuqlik simob ($\gamma = 13600 \text{ kG/m}^3 = 134000 \text{ N/m}^2$) bo'lsa, u holda

$$h = \frac{p_0}{\gamma} = \frac{10000}{13600} = \frac{98100}{134000} = 0.735 \text{ m simob ustuni} = 735 \text{ mm simob ustuni.}$$

Normal barotropik bosim ($p_0 = 1,033 \text{ kG/sm}^2 = 10330 \text{ kG/m}^2 = 101500 \text{ N/m}^2$) uchun mos natija quyidagicha bo'ladi:

$$h = \frac{p_0}{\gamma} = 10,33 \text{ m suv ustuni} \quad \text{va} \quad h = \frac{p_0}{\gamma} = 0,760 \text{ m} = 760 \text{ mm simob ustuni.}$$

2-masala. Suv sathidan $h_A = 2,5 \text{ m}$ suqurlikda joylashga A nuqtaning absolyut va ortiqcha gidrostatik bosimlari hamda A nuqtaning pyezometrik balandligini, shu sirdagi absolyut gidrostatik bosim $p_0 = 147,2 \text{ kPa}$ ekanligini bilgan holda, aniqlang (2.33-rasm).



2.33-rasm. Pyezometrik qurilma sxemasi.

Yechish. Gidrostatikaning asosiy tenglamasiga asosan A nuqtadagi gidrostatik bosim quyidagicha aniqlanadi: $p_{abs} = p_0 + \rho g h_A$.

A nuqtadagi ortiqcha bosim quyidagicha aniqlanadi:

$$p_{ort} = p_{abs} - p_{atm} = 171,7 - 98,1 = 73,6 \text{ kPa.}$$

A nuqtaning pyezometrik balandligi quyidagiga teng:

$$h_p = p_{ort} / (\rho g) = 73,6 \text{ kN/m}^2 / (1 \text{ t/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) = 7,5 \text{ m.}$$

Shuni ta'kidlash lozimki, pyezometr yordamida nisbatan kichik bosimlarni o'lchash mumkin, aks holda esa juda baland pyezometrda foydalanish lozim bo'ladi, bu esa amaliyotda foydalanish uchun juda noqulay. Bu miqdorni U shaklidagi manometrdan foydalanib topaylik. $m-n$ bo'linish sirti bo'yicha ham rezervuar va ham

manometrning ochiq tarafida bosimlar bir xil bo‘ladi: $p_0 + \rho gh_A = p_{atm} + \rho_{simob} gh_{simob}$

Natijada $m-n$ bo‘linish sirtidan h_p balandlikdagi simob ustuni og‘irligi hisobiga A nuqtadagi ortiqcha bosim muvozanatlashadi:

$$\rho gh_{simob} = p_0 + \rho gh_A - p_{atm} = 147,2 + 1 \cdot 9,81 \cdot 2,5 - 98,1 = 73,6 \text{ kN/m}^2 .$$

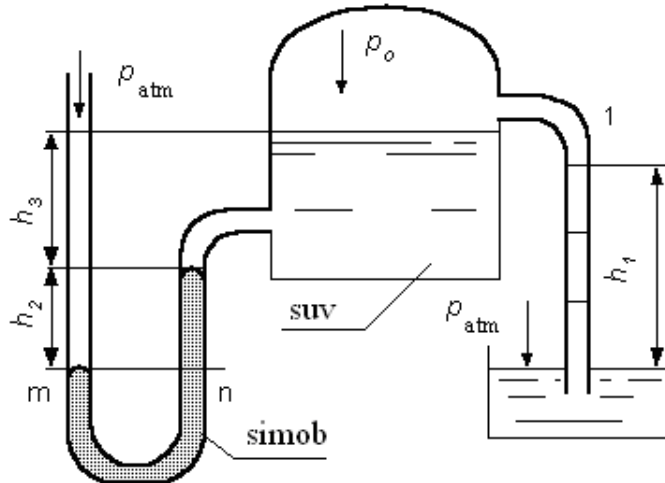
Simob ustuni balandligini topaylik:

$$h_{simob} = p_{ort} / (\rho_{simob} g) = 73,6 / (13,6 \cdot 9,81) = 0,55 \text{ m} ,$$

bu yerda $\rho_{simob} = 13,6 \text{ t/m}^3$ – simob zichligi.

3-masala. Agar simobli manometrning ko‘rsatgichlari $h_2 = 0,15 \text{ m}$; $h_3 = 0,8 \text{ m}$; $\rho_{simob} = 13,6 \text{ t/m}^3$; $\rho_{suv} = 1 \text{ t/m}^3$ bo‘lsa, u holda rezervuardagi p_0 bosimni va 1 -naychadagi sathning h_1 ko‘tarilish balandligini aniqlang (2.34-rasm).

Yechish. Quyidagi tekislik-lar bo‘yicha simob manometri uchun muvozanat shartlarini yozamiz:



2.34-rasm. Simobli manometrik qurilma sxemasi.

- rezervuar tarafdan $p = p_0 + \rho_{suv}gh_3 + \rho_{simob} gh_2$;
- manometr tarafdan $p = p_{atm}$, u holda $p_{atm} = p_0 + \rho_{suv}gh_3 + \rho_{simob} gh_2$.

Demak

$$p_0 = 98,1 - 1 \cdot 9,81 \cdot 0,8 - 13,6 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 70,24 \text{ kN/m}^2 = 70,24 \text{ kPa} .$$

Shunday qilib, rezervuardagi vakuum miqdori:

$$p_v = p_{atm} - p_0 = 98,1 - 70,24 = 27,86 \text{ kPa} .$$

1 -naychadagi muvozanat shari:

$$p_0 + \rho_{suv}gh_1 = p_{atm} ; h_1 = (p_{atm} - p_0) / (\rho_{suv}g) = 27,86 / (1 \cdot 9,81) = 2,84 \text{ m} .$$

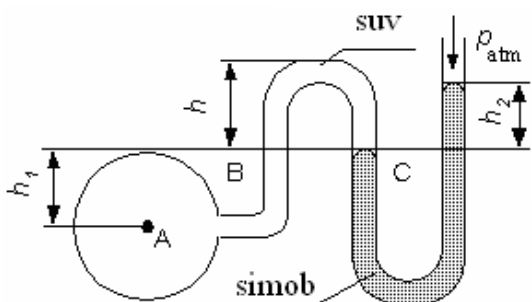
4-masala. Agar pyezometr bo‘yicha simob ustuni balandligi $h_2 = 25 \text{ sm}$ bo‘lsa, u holda A suv uzatish quvuridagi manometrik bosimni aniqlang (2.35-rasm). Suv uzatish quvurining markazi suv va simobni ajratuvchi chiziqdan $h_1 = 40 \text{ sm}$ pastda joylashgan.

Yechish. B nuqtadagi bosimni topamiz. B nuqta A nuqtadan h_1 balandlikda joylashgan. Demakki, B nuqtadagi bosim quyidagiga teng:

$$p_B = p_A - \rho_{suv} gh_1 .$$

C nuqtadagi bosim ham xuddi B nuqtadagi kabi: $p_C = p_B = p_A - \rho_{suv} gh_1$.

Endi C nuqtadagi bosimni o‘ngdan hisoblaylik: $p_C = p_{atm} + \rho_{simob} gh_2$.



2.35-rasm. Simobli manometrik qurilma sxemasi.

5-masala. 2.36-rasmda tasvirlangan $H = 3 \text{ m}$ chuqurlikdagi neft solingan idishning barcha turdagi gidrostatik bosimlarini aniqlang, bunda neftning erkin sirtidagi bosim 200 kPa , neftning zichligi $\rho = 0,9 \text{ t/m}^3$.

Yechish. Idish tubidagi absolyut gidrostatik bosim: $p = p_0 + \rho g H$;

$$p = 200 \text{ kN/m}^2 + 0,9 \text{ t/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3 \text{ m} = 226,5 \text{ kN/m}^2 = 226,5 \text{ kPa}.$$

Idish tubidagi ortiqcha (manometrik) bosim:

$$p_{ort.(m)} = p - p_{atm.}; \quad p_{ort.(m)} = 226,5 - 98,1 = 128,4 \text{ kPa}.$$

Suyuqlik ustunidan hosil bo'ladigan ortiqcha bosim:

$$p_{ort.} = \rho g H = 0,9 \cdot 9,81 \cdot 3 = 26,5 \text{ kPa}.$$

Erkin sirtidagi ortiqcha bosim:

$$p_{ort. erkin sirt} = p_0 - p_{atm.} = 200 - 98,1 = 101,9 \text{ kPa}.$$

6-masala. Batareyka shaklidagi simobli manometr ko'rsatgichi bo'yicha quvurdagi suvning ortiqcha bosimini hisoblang (2.37-rasm). Quvur o'qidan hisoblaganda simob sathlari:

$$z_1 = 1,75 \text{ m}; \quad z_2 = 3 \text{ m}; \quad z_3 = 1,5 \text{ m}; \quad z_4 = 2,5 \text{ m};$$

simob zichligi: $\rho_{simob} = 13,6 \text{ t/m}^3$; suv zichligi: $\rho_{suv} = 1 \text{ t/m}^3$.

Yechish. Batareyka shaklidagi simobli manometr ikkita ketma-ket ulangan simobli manometrlardan iborat. Simob sathlari va manometr naychalaridagi suv sathlarining pasayishi hisobiga quvurdagi suv bosimi muvozanatlashadi.

Manometrning ochiq oxiridan uning quvur bilan tutashgan qismigacha ko'rsatgichini yig'sak quyidagi natijaga kelamiz:

$$p_{ort} = \rho_{simob} g (z_4 - z_3) - \rho_{suv} g (z_2 - z_3) + \rho_{simob} g (z_2 - z_1) + \rho_{suv} g (z_1 - z_0);$$

$$p_{ort} = 13,6 \cdot 9,81 (2,5 - 1,5) - 1 \cdot 9,81 (3 - 1,5) + 13,6 \cdot 9,81 (3 - 1,75) + 1 \cdot 9,81 (1,75 - 0) = 300 \text{ kPa} = 0,3 \text{ MPa}.$$

7-masala. Tog'ning 3000 m balandligida vakuum bosimi $\Delta p = 25 \text{ kPa}$, atmosfera bosimi $p_{atm} = 70,6 \text{ kPa}$ bo'lsa, p_{abs} absolyut bosimni toping.

Yechish. Absolyut bosim formulasiga ko'ra $p_{abs} = p_{atm} + \Delta p = 70,6 - 25 = 45,6 \text{ kPa}$.

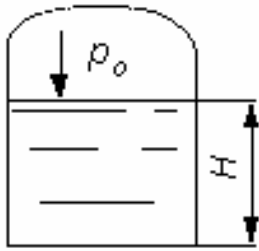
Bu tenglamalarni tenglashtirsak:

$$p_A - \rho_{suv} g h_1 = p_{atm} + \rho_{simob} g h_2.$$

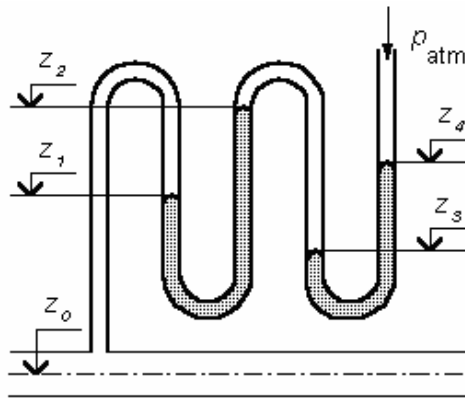
Bu yerdan manometrik bosim quyidagiga teng:

$$p_A - p_{atm} = p_m = \rho_{simob} g h_2 - \rho_{suv} g h_1.$$

$$p_m = 13,6 \cdot 9,81 \cdot 0,25 - 1 \cdot 9,81 \cdot 0,4 = 29,43 \text{ kN/m}^2 = 29,43 \text{ kPa}.$$



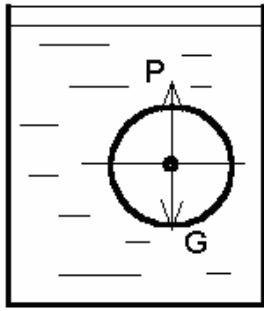
2.36-rasm. Neft solingan rezervuar.



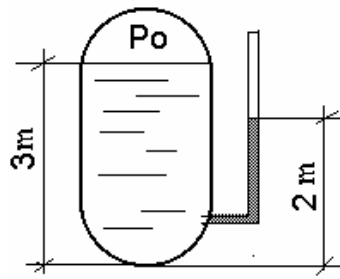
2.37-rasm. Simobli manometr.

Topshiriqlar

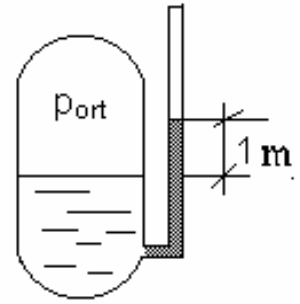
- Balandligi H va diametri D bo'lgan idish h sathgacha suyuqlik bilan to'ldirilgan. Idishni qanday ω burchak tezlik bilan aylantirish mumkinki, undan suyuqlik to'kilib ketmasin ?
 - $H=0,3$ m , $D=0,1$ m , $h=0,2$ m ;
 - $H=3$ m , $D=0,45$ m , $h=1$ m ;
 - $H=0,5$ m , $D=0,2$ m , $h=0,2$ m
- Idish suvga to'ldirilgan. Idishning $h=0,6$ m suv chuqurligi uchun gidrostatik bosimni aniqlang.
- Ko'ndalang kesimi yuzalari har xil bo'lgan tutash idishlarda bosim kuchining shu devor yuzasiga to'g'ri proporsionalligidan $P_1=100$ N, $S_1=0,0005$ m², $S_2=0,005$ m² bo'lsa, ikkinchi idishdagi bosim kuchini aniqlang.
- Daryoda og'irligi $G=1000000$ N va ustiga $Q=7000000$ N yuk qo'yilgan to'g'ri to'rtburchak shaklidagi ponton suzib yuribdi. Uning asosining yuzi 320 m². Pontonning cho'kish chuqurligini va siqib chiqarilgan suv hajmini toping.
- Ichi bo'sh sharning hajmi $V = 1$ l va og'irligi $G = 5$ N. Bu shar suv yuziga qalqib chiqadimi yoki cho'kadimi? Javobingizni izohlang (2.38-rasm).
- Germetik (zich yopilgan) idish suyuqlik bilan to'ldirilgan. Uning pastki qismiga yuqori uchi ochiq naycha o'rnatilgan (pyezometr). Naychada suv muvozanati o'rnatildi (2.36,a-rasm). Idishda ortiqcha bosimmi yoki vakuum? Idishdagi p_0 absolyut bosimmi va $p_{ort} = p_0 - p_{atm}$ ortiqcha bosimmi aniqlang.
- Yuqoridagi 6-masala shartidan foydalanib, 2.39,b-rasmda tasvirlangan idishdagi p_{ort} (Pa) ortiqcha bosimni aniqlang.
- Odam oddiy sharoitda og'irligi 30 kG bo'lgan temir sharni ko'taryapti. Suv ostida shu temir sharni ko'tarishda uning og'irligi qancha bo'ladi?
- Solishtirma og'irligi 0,8 t/m³ bo'lgan yog'och to'sin suvda oqayotganda uning qancha hajmi suvga botadi?



2.38-rasm. Arximed qonuniga oid masala sxemasi.



a)

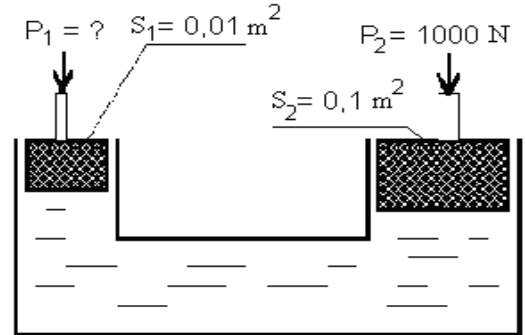


b)

2.39-rasm. Idishdagi bosimni aniqlashga oid sxemalar.

10. 2.40-rasmda tasvirlangan gidravlik press uchun $p_1 = ?$

11. Suv quvuriga o'rnatilgan mano-metr $p_{man.}$, $\text{kg}\cdot\text{k}/\text{sm}^2$ bosimni ko'r-satmoqda. Bu bosim qanday pyezometrik balandlikka mos keladi va SI birliklar sistemasida suv quvuridagi to'la bosim nimaga teng?



2.40-rasm. Paskal qonuniga oid masala sxemasi.

Boshlang'ich ma'lumotlar	Variantlar				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$p_{man.}$, $\text{kg}\cdot\text{k}/\text{sm}^2$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5

12. Ochiq idish sathidan h m chuqurlikdagi tubiga diametri 1 m bo'lgan gorizontal qopqoqqa ta'sir etayotgan kuchni toping.

Boshlang'ich ma'lumotlar	Variantlar				
	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
h , m	1	2	3	4	5

13. Chuqurligi h metr suv bilan to'ldirilgan ochiq idishning tubki nuqtasidagi to'la va ortiqcha bosimni toping.

Boshlang'ich ma'lumotlar	Variantlar				
	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15
h , m	3	4	5	6	8

14. Vertikal devori balandligi 4 (m) va tubi d (m) diametrli doiraviy kesimga ega idish butun balandligi bo'ylab yerga ko'milgan. Yer osti suvining sathi yer sirtidan h (m) chuqurlikda. Idishning sof og'irligi G (kN). Idishni suzib chiqishga tekshiring.

Boshlang'ich ma'lumotlar	Variantlar				
	№ 16	№ 17	№ 18	№ 19	№ 20
d, m	2	3	4	3,6	2,4
h, m	1	2	3	2,5	1,5
G, kN	100	50	150	120	130

15. Og'zi ochiq idish h_2 (m) chuqurlikdagi suv bilan to'ldirilgan va yer sirtidan h_1 (m) chuqurlikka tushirilgan. Idishdagi suv sathidan h_3 (m) chuqurlikdagi nuqta uchun yer sirtiga nisbatan gidrostatik naporni toping.

Boshlang'ich ma'lumotlar	Variantlar				
	№ 21	№ 22	№ 23	№ 24	№ 25
h_1, m	8	7	6	5	4
h_2, m	2	1,5	2,2	1,8	1,4
h_3, m	1	0,5	1	0,5	1

16. Gorizontaal suv quvuriga o'rnatilgan manometrning bosim ko'rsatgichi $p_{man.}$ $kg \cdot k/sm^2$. Quvurning o'qiga nisbatan gidrostatik naporni toping (quvurning radiusini hisobga olmang).

Boshlang'ich ma'lumotlar	Variantlar				
	№ 26	№ 27	№ 28	№ 29	№ 30
$p_{man.}, kg \cdot k/sm^2$	2	3	4	5	6

Sinov savollari

1. Suyuqlikning muvozanat tenglamasi (Eyler tenglamasi)ni tushuntiring.
2. Gidrostatikaning differensial shaklidagi asosiy tenglamasini yozing.
3. Ekvipotensial yoki bir xil (teng) bosimli sirtlar nima?
4. Paskal qonunini tushuntiring.
5. Bosimning gidrostatik taqsimoti va ortiqcha bosim nima?
6. Qanday manometrlarni bilasiz? Vakuum bosim nima?
7. Geometrik, pyezometrik va gidrostatik napor nima?
8. Arximed qonunini va Arximed kuchini tushuntiring.
9. Qanday bosim o'lchagich asboblarni bilasiz?
10. Gidrostatikaning asosiy qonunlarini ayting va izohlang.

2.5. Suyuqlikning tekis sirtga bosim kuchi

Suyuqlikning gorizontaal sirtga bosim kuchi gidrostatik bosimning shu sirt yuzasi ω ga ko'paytmasiga teng:

$$P_{to'la} = (p_0 + \gamma h)\omega, \quad (2.24)$$

bu yerda $P_{to'la}$ [N] – tashqi bosim hisobga olingandagi bosim kuchi, nyutonlarda o'lchanadi; h [m] – shu gorizontaal tekislikning cho'kish chuqurligi.

Ushbu (2.24) formuladagi tashqi bosim atmosfera bosimiga teng, ya'ni $p_0 = p_{at}$ bo'lsa, manometrik bosim kuchi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$P = \gamma h \omega. \quad (2.25)$$

Suyuqlikning tekis devorga bosim kuchi va shu bosim markazini analitik va grafik usullar bilan gidrostatik bosim epyurasi yordamida hisoblash mumkin. Suyuqlik bosimi epyurasining grafik ifodasi haqida yuqorida tushuncha bergan edik.

Analitik usul. Talabanning analitik usulni mustaqil o'zlashtirishiga ko'maklashish maqsadida ushbu masalani yechishning quyidagi uch xil yondashuvini qaraylik.

1-hol. Suyuqlikning vertikal tekis sirtga bosim kuchi. Normalining yo'nalishi ixtiyoriy aniqlangan $ABCD$ tekis sirtga ta'sir etayotgan (unga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini o'zgarmas deb) to'la bosim kuchi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$P_{to'la} = p_0 \omega + \gamma h_{o.m.} \omega, \quad (2.26)$$

bu yerda ω [m²] – $ABCD$ tekis sirtning ho'llanish yuzasi; γ [N/m²] – suyuqlikning solishtirma og'irligi; $h_{o.m.}$ [m] – ho'llangan yuza og'irlik markazining cho'kish chuqurligi.

Ushbu (2.26) formulada $p_0 = p_{at}$ bo'lganda manometrik bosim kuchi quyidagi formuladan topiladi:

$$P_{to'la} = \gamma h_{o.m.} \omega. \quad (2.27)$$

AC o'qqa nisbatan simmetrik, $ABCD$ tekis sirt uchun manometrik bosimning teng ta'sir etuvchisi qo'yilgan nuqta (bosim markazi) quyidagi formulalardan topiladi (2.41, a-rasm):

$$l_{\partial} = J/(\omega l_{o.m.}); \quad (2.28)$$

$$l_{\partial} = l_{o.m.} + J_0/(\omega l_{o.m.}), \quad (2.29)$$

bu yerda l_{∂} [m] – erkin sirtidan bosim markazigacha bo'lgan masofa (qiya devor bo'ylab hisoblaganda); $l_{o.m.}$ [m] – erkin sirtidan ho'llangan yuzaning og'irlik markazigacha bo'lgan masofa (qiya devor bo'ylab hisoblaganda); J – suyuqlik kesimi chizig'iga nisbatan ho'llangan yuzaning inertsiya momenti; J_0 – suyuqlik kesimi chizig'iga parallel bo'lgan ho'llanish yuza-sining O og'irlik markazi orqali o'tuvchi o'qqa nisbatan inertsiya momenti

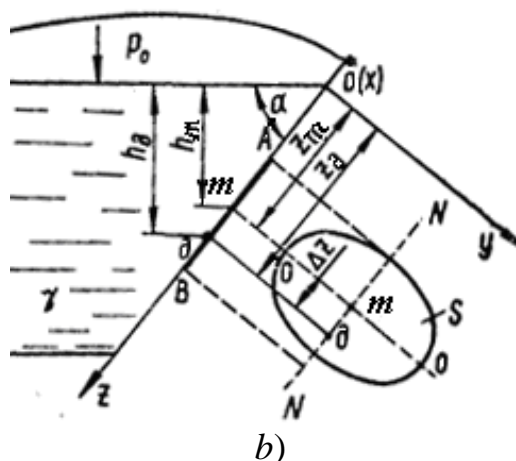
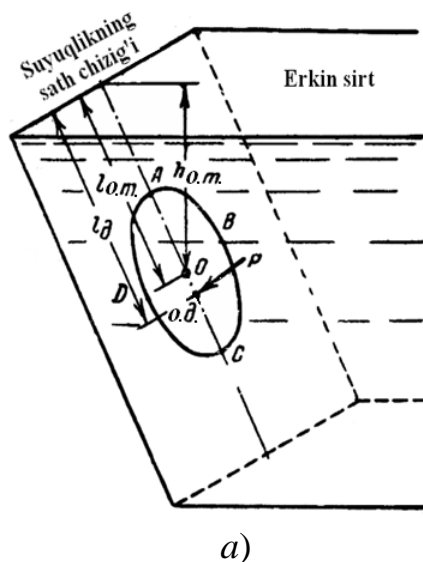
Bosim markazi AC simmetriya o'qida joylashgan. (2.29) formulagan ko'rinadiki, doimo $o.\partial.$ – bosim markazi $o.m.$ – og'irlik markazidan $J_0/(\omega l_{o.m.})$ miqdorga pastda joylashgan bo'ladi.

2-hol. Suyuqlikning gorizontaal tekislikka nisbatan α burchak ostida joylashgan qiya tekis sirtga bosim kuchi. Suyuqlikning ixtiyoriy shakldagi AB tekis yuzaga ta'sir etayotgan (unga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini o'zgarmas deb) to'la bosim kuchi quyidagi formuladan aniqlanadi (2.41, b-rasm):

$$P_{\text{to'la}} = (p_0 + \gamma \cdot h_m) \cdot S = p_m \cdot S,$$

bu yerda p_0 – rezervuardagi suyuqlikning erkin sirtiga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim; γ – suyuqlikning solishtirma og'irligi; S – shaklning yuzasi; h_m – shaklning ho'llanish sirti og'irlik markazining cho'kish chuqurligi; p_m – shaklning og'irlik markazidagi gidrostatik bosim.

Shunday qilib, suyuqlikning tekis yuzaga ta'sir etayotgan to'la bosim kuchi shu shakl yuzasining shakl og'irlik markazidagi gidrostatik bosimga ko'paytmasiga teng.



2.41-rasm. Suyuqlikning bosim kuchi a) vertikal va b) qiya tekis sirtga ta'sir etganda bosim markazini aniqlash sxemasi.

Yuqoridagi ifodani $P_{\text{to'la}} = P_0 + P$ kabi yozish mumkin, bu yerda $P_0 = p_0 \cdot S$ – idishdagi suyuqlik erkin sirtiga qo'yilgan bosimni yuzaga keltiruvchi sirt bosim kuchi (bu kuchning qo'yilish nuqtasi shaklning m – og'irlik markazi bilan mos tushadi); $P = \gamma \cdot h_m \cdot S$ – ortiqcha bosimning kuchi bo'lib, u suyuqlikning shu shaklga ko'rsatayotgan bevosita bosimini ifodalab, asosi shaklning kesim yuzasi S ga, balandligi esa shakl og'irlik markazining suyuqlikdagi cho'kish chuqurligi $h_m = z_m \cdot \sin \alpha$ (bunda z_m – qaralayotgan S yuza og'irlik markazining qiya devor bo'ylab kordinatasi) ga teng bo'lgan suyuqlik ustuni og'irligi bilan aniqlanadi. P ni hisoblash ifodasidan ortiqcha bosim aniqlanadi va bu holda, agar rezervuar ochiq bo'lsa, sirt bosimi atmosfera bosimiga teng bo'ladi.

P kuchning qiya devor bo'ylab qo'yilish nuqtasining (2.41,b-rasmda ∂ nuqta) z_∂ koordinatasi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$z_\partial = z_m + J_m / (S \cdot z_m),$$

bu yerda z_∂ – suyuqlikning erkin sirtidan (ox o'qidan) boshlab hisoblaganda qaralayotgan shakl tekisligiga qo'yilgan ortiqcha bosim niqtasi-ning qiya devor bo'ylab kordinatasi; J_m – shakl yuzasining shu shakl tekis-ligida yotuvchi va uning og'irlik markazidan o'tuvchi gorizonttal $o-o$ o'qqa nisbatan inertsia momenti (markaziy inertsia momenti deb ham ataladi).

Shunday qilib, ortiqcha bosim kuchining qo'yilish ∂ – nuqtasi shaklning ho'llanish tekishligi m – og'irlik markazidan $\Delta z = J_m / (S \cdot z_m)$ miqdorga pastda (devor bo'ylab hisoblaganda) joylashgan ekan.

Mashinasozlikda yoki temir yo'l texnikasida, masalan, har xil gidrostatik mashina va qurilmalar porshenlari devoriga suyuqlik bosim kuchi ta'sirida, P_0 ning

qiymati P dan bir necha marotaba katta bo'lgan hollar uchraydi, bunday holda, ortiqcha bosimning qo'yilish nuqtasi shaklning og'irlik markazi bilan deyarli mos tushadi, ya'ni $\Delta z = 0$.

Agar idish yopiq va undagi suyuqlik sirtiga ta'sir etayotgan bosim p_0 bo'lsa, u holda suyuqlikning tekis yuzaga bosim kuchini aniqlash formulasida ushbu $h_{\text{hisob}} = h_m + p_0/\gamma$ hisob naporini kiritish mumkin. Aslida h_m – shakl ho'llanish sirti og'irlik markazining cho'kish chuqurligi, ammo u suyuqlik sirtida mavjud p_0 bosim hisobiga paydo bo'lgan yangi sathdan boshlab o'lchanadi.

3-hol. Suyuqlikning gorizontol tekislikka nisbatan α burchak ostida joylashgan tekis to'g'ri to'rtburchakli suv tutgich darvozaga bosim kuchi. Tekis to'g'ri to'rtburchakli suv tutgich darvozaning eni b (m), u gorizontol tekislikka nisbatan α burchak ostida joylashgan bo'lib, h (m) chuqurlikdagi suvni tutib turadi (2.42-rasm). Shu darvozaga suvning bosim kuchi P ni va bu bosim kuchining markazi y_D ni aniqlang, suv gidrostatik bosimi p ning epyurasini chizing. Gorizontol tekislikka α burchak ostida joylashgan tekis devorga qo'yilgan gidrostatik bosim kuchi va bosim kuchining qo'yilish nuqtasi (bosim markazi)ni aniqlash uchun quyidagicha belgilashlar kiritamiz va qurilma sxemasini yasaymiz (2.42-rasm): P - bosim kuchi; P_0 – tashqi bosim kuchi; $A(a,d)$ nuqta – qiya tekis devorning ostki nuqtasi; $B(b,c)$ nuqta - qiya tekis devorning ustki nuqtasi (koordinata boshi); D nuqta - bosim markazi; C nuqta - og'irlik markazi; a, b, c, d – 1-1 kesim chetki nuqtalari; y - qiya tekis devorning uzunligi; y_C – og'irlik markazi koordinatasi; y_D – bosim markazi koordinatasi; h – suyuqlik qatlami chuqurligi; h_D - bosim markazining chuqurligi; h_C – og'irlik markazining chuqurligi.

Quyidagi parametrlar beriladi:

- suyuqlikning solishtirma og'irligi γ (N/m^3) yoki zichligi ρ (kg/m^3), bunda $g \approx 10 m/s^2$;
- suyuqlik qatlamining chuqurligi h (m);
- qiya tekis devorning eni b (m);
- qiya tekis devorning og'ish burchagi α (gradus yoki radian o'lchovida);
- suyuqlik sathiga qo'yilgan tashqi bosim kuchi P_0 (N).

Qolgan parametrlar quyidagicha aniqlanadi:

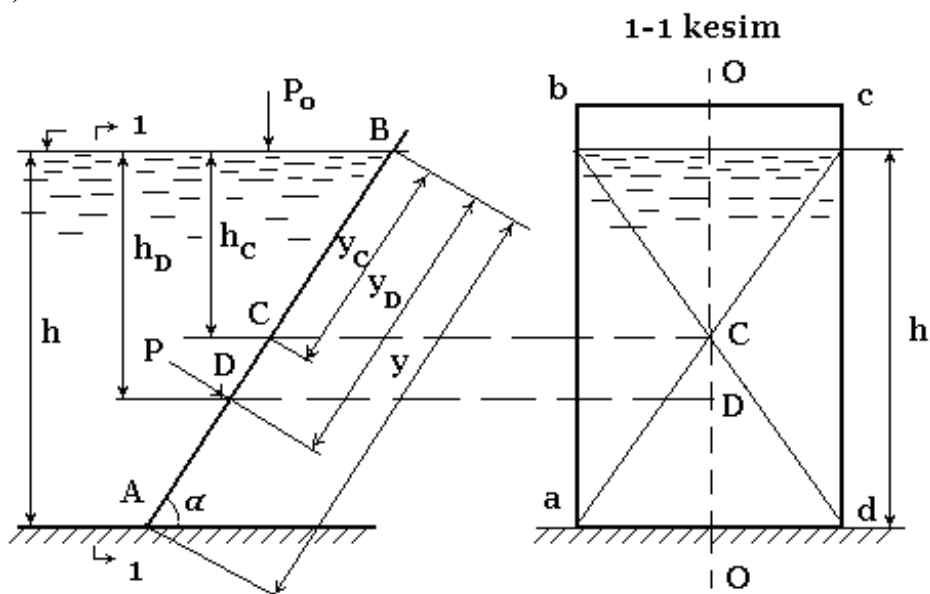
- qiya tekis devorning uzunligi (m): $y = h / \sin \alpha$;
- qiya tekis maydon og'irlik markazining chuqurligi (m): $h_C = h/2$;
- qiya tekis devorning maydoni (yuzasi, m^2): $\omega = b \cdot y$;
- qiya tekis devorning og'irlik markazi koordinatasi (m): $y_C = h_C / \sin \alpha$;
- qiya tekis ω maydonning qiya tekislikka perpendikulyar o'tkazilgan Ox o'qqa nisbatan statik momenti (m^3): $S_x = \omega \cdot y_C$;
- qiya tekis ω maydonning Ox o'qiga parallel va C nuqta orqali o'tkazilgan o'qqa nisbatan inertsia momenti (m^4): $J_C = \omega \cdot y^2 / 12$;
- og'irlik markazi bilan bosim kuchi markazi orasidagi masofa (ekssentrisitet, m): $e = J_C / S_x$;
- qiya tekis devorga ta'sir etayotgan bosim markazining koordinatasi (bosim markazi har doim maydonning og'irlik markazidan pastda joylashgan

bo‘ladi; xususan, agar suyuqlikning bosimi ta’sir etayotgan maydon gorizontal joylasgan bo‘lsa, faqat shu holda, bosim markazi maydonning og‘irlik markazi bilan bir nuqtada joylashadi, m), boshqacha aytganda, teng ta’sir etuvchi bosim kuchining Ox o‘qqa nisbatan yelkasi (ordinatasi): $y_D = y_C + e$ yoki $y_D = 2y/3$;

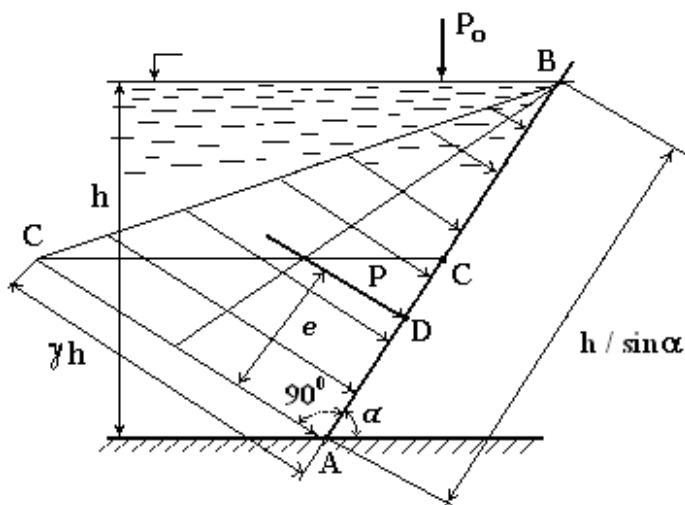
- qiya tekis devorga ta’sir etayotgan gidrostatik bosim kuchi (yoki uning teng ta’sir etuvchisi, N):

$$P = \gamma \cdot y_C \cdot \omega \cdot \sin \alpha = \gamma \cdot h_C \cdot \omega = \rho \cdot g \cdot h_C \cdot \omega;$$

- qiya tekis devorga suyuqlikning gidrostatik bosimi: $p = P / \omega$;
- idish tubidagi A nuqtaga qo‘yilgan mutloq bosim kuchi $P_m = P_0 + P$;
- qiya tekis devorga suyuqlikning gidrostatik bosimi epyurasi chiziladi (2.43-rasm).



2.42-rasm. Qiya tekis devorga ta’sir etayotgan suyuqlikning bosim kuchini aniqlash sxemasi.



2.43-rasm. Qiya tekis devorga suyuqlikning gidrostatik bosimi epyurasi sxemasi (e – bosim kuchi yelkasi).

Izoh. Agar tekis devor gorizontaal tekislikka nisbatan biror α burchak ostida joylashgan bo'lsa, u holda y_D ning qiymatini $\sin\alpha$ ga bo'lish kerak.

Xususiy hollar. Chuqurligi h ga teng suyuqlini vertikal holatda tutib turuvchi har xil shaklli suv tutgich darvozalarning (yoki u suv sathidan H chuqurlikka ko'milgan) y_C – og'irlik markazi, shu og'irlik markazi orqali o'tuvchi o'qqa nisbatan J_C – inertsia momenti, y_D – bosim markazining koordinatasi (og'irlik markazidan pastroqda yotadi) va P – suyuqlikning tekis yuzaga ta'sir etuvchi bosim kuchi (2.42-rasm):

- asosi b va balandili h ga teng bo'lgan to'g'ri to'rtburchak:

$$y_C = h/2; J_C = bh^3/12; y_D = 2h/3; P = \rho gbh^2/2;$$

- tomonlari h ga eng bo'lgan kvadrat:

$$y_C = h/2; J_C = h^4/12; y_D = 2h/3; P = \rho gh^3/2;$$

- diametri h ga teng bo'lgan doira:

$$y_C = h/2; J_C = \pi h^4/64; y_D = 5h/8; P = \rho g \pi h^3/8;$$

- diametri h ga teng yarim doira:

$$y_C = h/4,71; J_C = h^4/145,4;$$

- yuqori asosi b va balandligi h ga teng bo'lgan teng yonli uchburchak:

$$y_C = h/3; J_C = bh^3/36; y_D = h/2; P = \rho gbh^2/6;$$

- pastki asosi b , balandligi h bo'lgan teng yonli uchburchak:

$$y_C = 2h/3; J_C = bh^3/36; y_D = 3h/4; P = \rho gbh^3/3;$$

- h diagonali bo'yicha vertikal joylashgan b tomonli trapetsiya:

$$y_C = h/2; J_C = b^4/12; y_D = 7h/2; P = \rho ghb^2/2;$$

- yuqori asosi a , pastki asosi b ($a > b$) va balandligi h ga teng bo'lgan teng yonli trapetsiya:

$$y_C = (h/3) \cdot ((a+2b)/(a+b)); y_D = (h/2) \cdot ((a+3b)/(a+2b));$$

$$J_C = (h^3/36) \cdot ((a^2+4ab+b^2)/(a+b)); P = \rho g(h^2/6)(a+2b);$$

- asosi b , balandili h ga teng bo'lgan to'g'ri to'rtburchak suv sathidan H chuqurlikka ko'milgan:

$$y_C = H+h/2; J_C = bh^3/12; y_D = H+h \cdot (3H+2h)/(2H+h)/3; P = \rho gbh(H+h/2);$$

- pastki asosi b va balandligi h ga teng bo'lgan teng yonli uchburchak suv sathidan H chuqurlikka ko'milgan:

$$y_C = H+2h/3; J_C = bh^3/36; y_D = H+(h/2) \cdot (4H+3h)/(3H+2h); P = \rho gbh(H+2h/3);$$

- yuqori asosi b va balandligi h ga teng bo'lgan teng yonli uchburchak suv sathidan H chuqurlikka ko'milgan:

$$y_C = H+h/3; J_C = bh^3/36; y_D = H+(h/2) \cdot (2H+h)/(3H+h); P = \rho gbh(H+h/3);$$

- suv tutgich darvoza h diametrli doira shaklida bo'lib, u suv sathidan H chuqurlikda suyuqlikka ko'milgan:

$$y_C = H+h/2; y_D = H+h/2+0,125 \cdot h^2/(H+h/2).$$

Grafo-analitik usul. Suyuqlikning tekis devorga bosim kuchi P ni aniqlash uchun gidrostatik bosimning epyurasini qurishimiz lozim. U holda bosim kuchi S – yuzaning b – devor kengligiga ko'paytmasiga teng: $P = Sb$. Bu formula, h – chuqurlik o'zgarganda devorning kengligi o'zgarmas ($b = \text{const}$) bo'lsagina o'rinli.

Tekis devorga ta'sir etuvchi P bosim kuchini aniqlash uchun gidrostatik bosim epyurasini quramiz. U holda bosim kuchi S yuzaning devor kengligi b ga ko'paytmasiga teng, yani $P=S \cdot b$. Bu tenglik faqatgina h chuqurlik o'zgarganda devorning kengligi b ($b=\text{const}$) o'zgarmagandagina o'rinli.

Agar $P=S \cdot b$ tenglikda S o'rniga: manometrik bosim epyurasi yuzasini qo'ysak, u holda P manometrik bosim kuchini; agar to'la gidrostatik bosim epyurasi yuzasini qo'ysak, u holda $P_{\text{to'la}}$ kuchni hosil qilamiz.

Bosim markazini aniqlash uchun epyuraning og'irlik markazini topib, hosil bo'lgan markazdan qaralayotgan sirtga perpendikulyar to'g'ri chiziqni u bilan kesishquncha davom ettirish va shu nuqtadan erkin sirtgacha bo'lgan masofani o'lchash lozim. Bu masofa bosim markazigacha bo'lgan masofani beradi.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Har birining kengligi b , m bolgan tekis devorlarga ta'sir etayotgan gidrostatik bosimning yig'indi kuchini aniqlang.

1. Masalani grafik usulda yeching: kuchlarning miqdorini va u qo'yilgan nuqtani (bosim markazini) aniqlang.

2. Masalani analitik usulda yeching: kuchlarning miqdorini aniqlang.

3. Har ikkala usul yordamida aniqlangan kuchlarning qiymatlari natijalarini taqqoslang.

Tekis devorga ta'sir qilayotgan gidrostatik bosim kuchini grafik va analitik usullar yordamida aniqlang va olingan natijalarni taqqoslang. Devorning sxemasi 2.44-rasmda va unga oid ma'lumotlar quyida berilgan: $p_0 = 1,5 \cdot 10^5$ Pa; $\rho = 1000$ kg/m³; $MN = 5$ m; $l = 3$ m; $b = 2$ m; $\alpha = 150^\circ$.

Yechish. Masalani avvalo grafik usul yordamida yechaylik. Bosim tenglamasidan foydalanib, har bir devor uchun bosim epyuralarini quramiz (2.45, a-rasm):

- sokin suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasida $p = p_0 + \rho gh$.
- MN devor uchun:
 $p_M = p_0$, chunki $h = 0$;
 $p_M = 1,5 \cdot 10^5$ Pa;
- $p_N = p_0 + \rho gh = p_0 + \rho g MN \sin 30^\circ = 1,5 \cdot 10^5 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot 0,5 = 1000 (1,5 + 23,5) = 26000$ Pa.

Ana shu topilgan miqdorlar asosida MN ga perpendikulyar yo'nalgan bosim epyuralarini quramiz. MP devorga ta'sir etuvchi kuch $MN \cdot n \cdot m \times b$ trapetsiyaning yuzasi kabi aniqlanadi:

$$p_{MN} = 0,5 \cdot (p_M + p_x) \cdot MN \cdot b = 0,5 \cdot (1,5 + 24,5) \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 2 = 130000 \text{ N} = 130 \text{ kN}.$$

Endi p_{MN} ni analitik usul bilan aniqlaylik:

$$p_{MN} = p_{C_1} \cdot S_{MN \cdot NN},$$

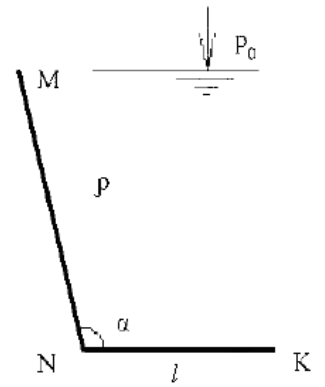
bu yerda p_{C_1} - og'irlik markazidagi bosim; $S_{MN \cdot NN}$ - devorning yuzasi.

$$p_{C_1} = p_0 + \rho g \frac{h}{2} = p_0 + \rho g \frac{MN}{2} \cdot \sin 30^\circ = 1,5 \cdot 10^3 + 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{5}{2} \cdot 0,5 = 13,75 \cdot 10^3 \text{ Pa};$$

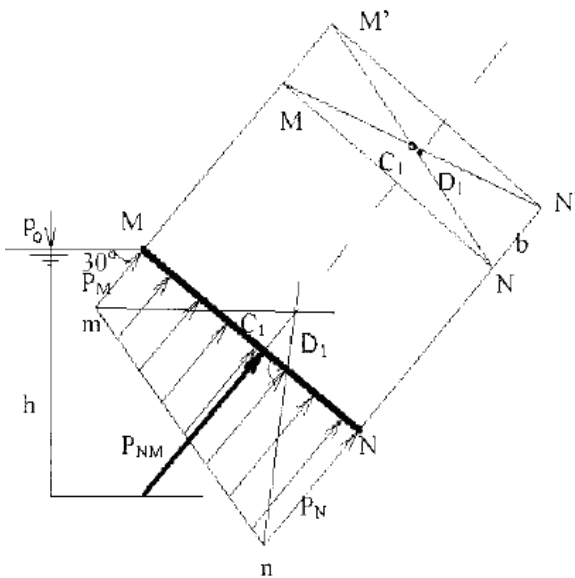
$$S_{MN \cdot NN} = MN \cdot b = 5 \cdot 2 = 10; \quad p_{MN} = 13,75 \cdot 10^3 \cdot 10 = 137,5 \text{ kN}.$$

Natijalarni taqqoslasak, farq 6% ekanligini ko'ramiz.

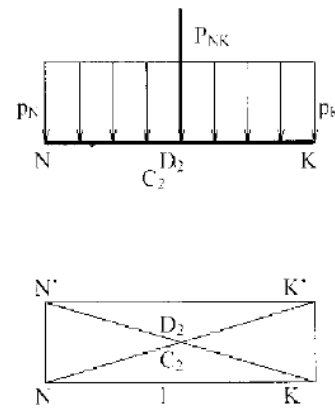
Endi NK devorni qaraylik (2.45,b-rasm): $p_N = p_K = 26000 \text{ Pa}.$



2.44-rasm. Devorning sxemasi



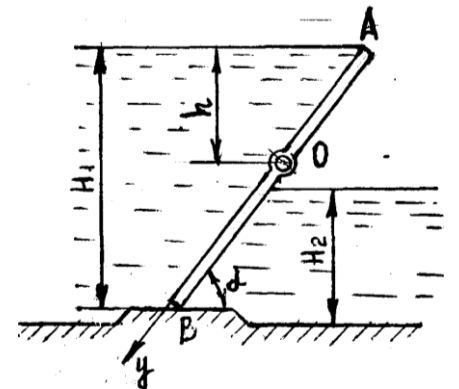
a)



b)

2.45-rasm. Bosim epyurasi.

2-masala. Eni V ga teng bo'lgan to'g'on (rasm 2.46), o'zidan oldinda H_1 va o'zidan keyin H_2 balandlikda suv hosil bo'lgan taqdirda avtomatik ravishda yopilishi kerak. To'g'onning gorizontga og'ish burchagi α . To'g'onning aylanish o'qi O qanday h chuqurlikda joylashishi kerakligi topilsin. O'qlardagi ishqalanish va to'g'onning massasi hisobga olinmasin. Masalani yechishda quyidagi jadval qiymatlari olinsin.



2.46-rasm.

№	H_1, m	H_2, m	V, m	$\alpha, grad$
1	4,2	1,9	2,5	40°
2	4,6	2,0	2,6	45°
3	4,8	2,2	2,7	50°
4	5,0	2,3	2,8	55°
5	4,3	2,1	3,0	60°
6	4,5	2,0	3,2	65°
7	4,7	1,9	3,4	70°
8	4,9	1,8	3,6	75°
9	4,0	1,7	3,8	80°
10	4,4	1,6	4,0	85°

Yechish. Masalaning yechilishi quyidagi ikkita tenglamaga asoslanadi:

$$P = \rho g h_s \omega ; \quad y_D = y_c + \frac{J_c}{\omega y_c},$$

bunda h_c – mos sirt og‘irlik markazining chuqurligi; ω – sirtning yuzi; y_c – qaralayotgan yuza og‘irlik markazining koordinatasi; J_c – og‘irlik markazidan o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inersiya momenti.

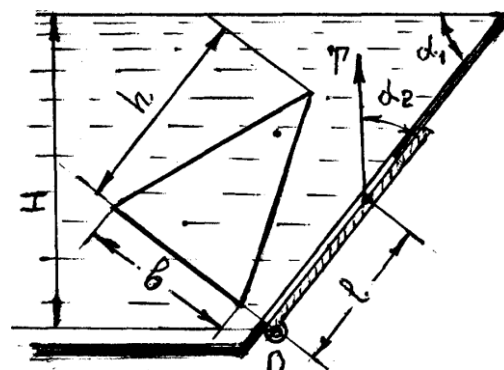
Birinchi tenglikdan gidrostatik bosim kuchi aniqlanadi, ikkinchisi orqali esa bu kuchning qo‘yilish nuqtasi (bosim markazi) aniqlanadi. To‘g‘ri to‘rtburchak uchun:

$J_c = \frac{1}{12} BH^3$, bunda B va H – suv tomonidan ta’sir qilayotgan gidrostatik bosim qo‘yilgan yuzaning o‘lchamlari.

Qopqoqning burilish markazining holati O nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasidan foydalanib topiladi. Kuchlarning O nuqtaga nisbatan yelkalari eng sodda geometrik mulohazalardan topiladi.

3-masala. Gorizontga α_1 burchakka og‘gan tekislikdagi uchburchak shaklidagi tirqishining chiziqli o‘lchamlari b va h bo‘lgan qopqoq bilan yopiladi (2.47-rasm).

Qopqoqning aylanish o‘qi H chuqur-likda joylashgan. Qopqoqni aylanish o‘qidan l masofada qopqoq tekisligiga α burchak ostida qo‘yilgan qanday miqdordagi T kuch vositasida yopiq holda ushlab turish mumkinligi aniqlansin. Qopqoq massasi e’tiborga olinmasin. Masalani yechishda quyidagi jadvaldagi qiymatlar olinsin. 2.47-rasm.



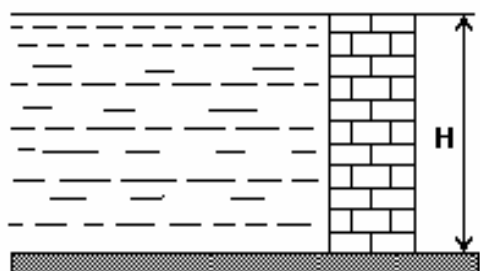
№	$\alpha_1, grad$	b, m	h, m	l, m	H, m	$\alpha_2, grad$
1	60°	2,5	1,6	1,5	3,2	60°
2	55°	2,6	1,7	1,6	3,4	65°
3	50°	2,8	1,8	1,7	3,6	70°
4	45°	3,0	1,9	1,8	3,8	75°

5	40°	3,2	2,0	1,9	4,0	80°
6	65°	3,4	2,2	2,0	4,2	60°
7	70°	3,5	2,4	2,2	4,6	65°
8	75°	3,6	2,6	2,3	4,8	70°
9	85°	2,7	2,8	2,4	3,5	75°
10	30°	2,9	3,0	2,5	3,9	80°

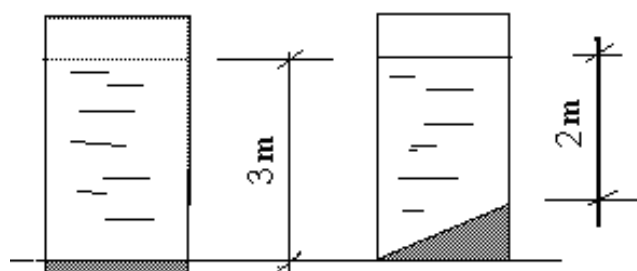
Yechish. Bu masalaning yechilishi oldingi masalanikidek. Faqatgina bu yerda uchburchakning og'irlik markazi uning b tomoniga tushirilgan balandligining $1/3$ qismida yotishini va uchburchakning og'irlik markaziga nisbatan inersiya momenti quyidagi formula yordamida hisoblanishini e'tiborga olish kerak: $J_C = bh^3/36$. Trosning izlanayotgan taranglik kuchi O nuqtaga nisbatan mometnlar tenglamasidan topiladi.

Topshiriqlar

1. Kengligi 200 m to'g'ri to'rtburchakli tayanch devor balandligi 10 m suv naporini ushlab turibdi. To'la bosim kuchini va devorni ag'daruvchi momentni aniqlang (2.48-rasm).
2. 2.49-rasmda tasvirlanga idishlarning osti uchun gidrostatik bosim epyuralarini chizing.



2.48-rasm.



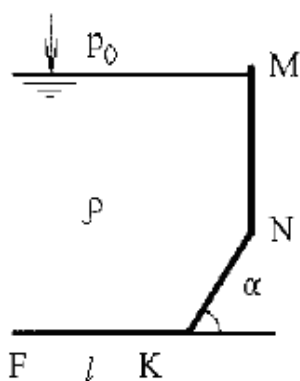
2.49-rasm.

3. Murakkab shaklga ega devorning sxemasi va unga oid ba'zi ma'lumotlar 2.50-rasmda tasvirlangan. Variantlarga oid ma'lumotlar mos ravishda 1-5 jadvallarda keltirilgan.

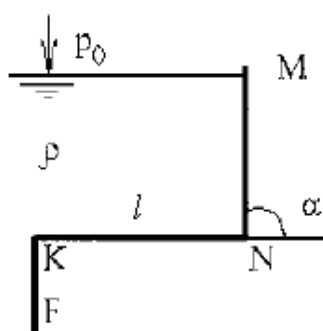
Bu sxemalarga mos ma'lumotlar jadvallari va variantlar nomeri (№) quyida keltirilgan.

1-jadval (1-sxema uchun)

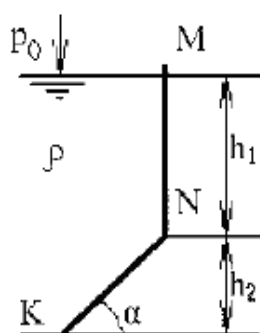
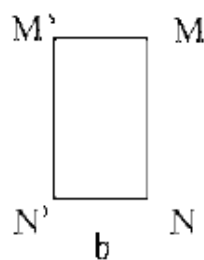
№	p_0, Pa	$\rho, \text{kg/m}^3$	MN, m	l, m	$\alpha, ^\circ$	NK, m
1.	$1,5 \cdot 10^5$	1000	4	2	30	3
2.	$0,8 \cdot 10^5$	800	2	3	45	2
3.	0	900	4	4	60	5
4.	$0,5 \cdot 10^5$	750	3	5	120	5
5.	$0,7 \cdot 10^5$	840	4	3	135	4
6.	0	960	5	4	150	7



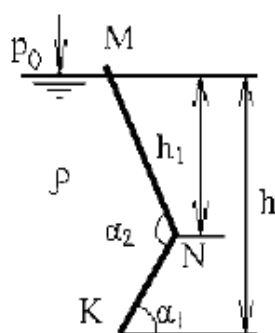
Sxema 1
b=2 m



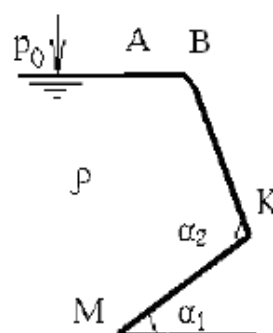
Sxema 2
b=3 m



Sxema 3
b=2 m



Sxema 4
b=4 m



Sxema 5
b=1 m

2.50-rasm. Devor sxemasining variantlari.

2-jadval (2-sxema uchun)

№	p_0, Pa	$\rho, \text{kg/m}^3$	MN, m	l, m	$\alpha, ^\circ$	KF, m
1.	0	800	2,5	2	150	3
2.	$0,7 \cdot 10^5$	900	3,2	3	30	4
3.	$0,4 \cdot 10^5$	1000	5,0	4	120	5
4.	0	850	4,0	3	60	2,5
5.	$1 \cdot 10^5$	950	3,0	2	135	3,6
6.	0	780	2,8	3,5	45	2,8

3-jadval (3-sxema uchun)

№	p_0, Pa	$\rho, \text{kg/m}^3$	h_1, m	h_2, m	$\alpha, ^\circ$
1.	0	900	3	5	30
2.	$0,4 \cdot 10^5$	800	4	4	45
3.	$0,6 \cdot 10^5$	750	5	3	60
4.	0	950	4	5	120
5.	$1 \cdot 10^5$	1000	3,8	4,2	135
6.	$1,2 \cdot 10^5$	1000	6	5	150

4-jadval (4-sxema uchun)

N _o	p_0, Pa	$\rho, \text{kg/m}^3$	h_1, m	h, m	$\alpha_1, ^\circ$	$\alpha_2, ^\circ$
1.	$0,3 \cdot 10^5$	950	3	6	45	90
2.	0	800	2	5	30	120
3.	$0,5 \cdot 10^5$	750	3,5	7	60	90
4.	0	1000	4	8	135	225
5.	$0,6 \cdot 10^5$	900	3,5	6,5	120	210
6.	$0,4 \cdot 10^5$	860	3	5,8	150	240

5-jadval (5-sxema uchun)

N _o	p_0, Pa	$\rho, \text{kg/m}^3$	BK, m	KM, m	l, m	$\alpha_1, ^\circ$	$\alpha_2, ^\circ$
1.	$0,5 \cdot 10^5$	780	4	3	2	90	120
2.	$0,7 \cdot 10^5$	840	5	4	3	30	90
3.	$1,4 \cdot 10^5$	900	4	6	4	45	135
4.	$0,35 \cdot 10^5$	800	3	5	1,5	90	210
5.	$1,2 \cdot 10^5$	750	6	3	3,2	60	90
6.	$0,6 \cdot 10^5$	982	3	2	2,3	60	120

Sinov savollari

1. Tekis devorga ta'sir etuvchi yig'indi gidrostatik bosim kuchi qanday aniqlanadi?
2. Bosim markazi deb nimaga aytiladi?
3. Bosim markazi qanday joylashgan?
4. Bosim markazi og'irlik markazi va devorning ho'llanish sirti markaziga nisbatan qanday joylashgan?
5. Bosim markazi joylashishi aniqlanadigan formulani keltiring, unga kirgan barcha parametrlarni izohlang.
6. Gorizont tekis devorga ta'sir etuvchi kuch qanday aniqlanadi?
7. Silindrik va sferik devorlarga ta'sir etuvchi kuch qanday aniqlanadi?

2.6. Suyuqlikda jismning suzish qonuni. Suyuqlikda suzayotgan jismning ustivorligi

Arximed qonuniga asoslanib, quyidagi muhim tushunchalarni qarab chiqaylik: jismning suzish sharti; jismning cho'kish chuqurligi va siqib siqargan suv hajmi; og'irlik markazi; suyuqlikda suzayotgan jismning muvozanat sharti; metomarkaz; suyuqlikda suzayotgan jismning muvozanat holati; mustahkam va nomustahkam muvozanat.

Suyuqlikka to'lasincha yoki qisman botirilgan jism suyuqlik tarafdan pastdan yuqoriga yo'nalgan va miqdori jismning V_{bot} – botirilgan qismi hajmining og'irligiga teng yig'indi bosim kuchi ta'sirida bo'ladi, bunda P_{itar} – siqib siqaruvchi bosim kuchi

$$P_{itar} = \rho_s g V_{bot}.$$

bu yerda ρ_s – suyuqlik zichligi.

Suyuqlik sirtida suzayotgan bir jinsli jism uchun ushbu

$$\frac{V_{bot}}{V} = \frac{\rho_j}{\rho_s},$$

munosabat o'rinli, bu yerda V – suzayotgan jism hajmi; ρ_j – jism zichligi.

Suzuvchi jism nazariyasining mavjud tushunchalari juda keng. Bu yerda shu nazariyaning faqatgina gidravlik ma'nosini qarash bilan cheklanamiz.

Muvozanat holatidan chiqarilgan suzuvchi jismning yana avvalgi muvozanat holatiga qaytishi *ustivorlik* deb ataladi. Jismning, faraz qilaylik, kemanding suyuqlikka botirilgan qismi hajmi og'irligi uning *suv sig'imi*, teng ta'sir etuvchi bosim qo'yilgan nuqta (ya'ni bosim markazi) *suv sig'imi markazi* deb ataladi. Kemanding normal holatida uning C – og'irlik markazi va d - suv sig'imi markazi kemanding simmetriya o'qi bo'lgan va *suzish o'qi* deb ataluvchi bitta $O'-O''$ vertikal to'g'ri chiziqda yotadi (2.51-rasm).

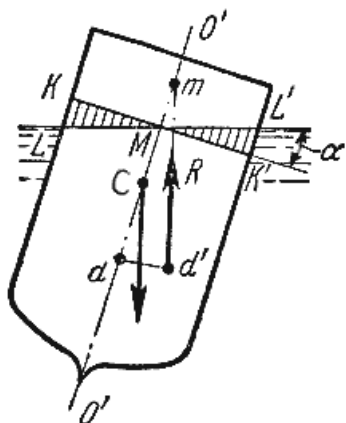
Faraz qilaylik, tashqi kuchlar ta'sirida kema biror α burchakka og'gan bo'lsin, kemanding KLM qismi suyuqlikdan chiqib turgan va $K'L'M$ qismi esa suyuqlikka botirilgan bo'lsin.

Bunday holda suv sig'imi markazining yangi d' holati yuzaga keladi. d' nuqtaga R ko'taruvchi kuchni qo'yamiz va uning ta'sir chizig'ini $O'-O''$ simmetriya o'qi bilan kesishguncha davom ettiramiz.

Hosil bo'lgan m nuqta *metamarkaz*, $mC = h$ kesma esa *metasentrik* (*metamarkaziy*) *balandlik* deb ataladi. Agar m nuqta C nuqtadan yuqorida yotgan bo'lsa, u holda h ni musbat, aksincha esa manfiy deb qabul qilaylik.

a) Jism (kema)ning *muvozanat shartlari*:

- 1) agar $h > 0$ bo'lsa, u holda kema dastlabki holatiga qaytadi;
- 2) agar $h = 0$ bo'lsa, u holda kema befarq muvozanatda;
- 3) agar $h < 0$ bo'lsa, u holda kema noustivor muvozanatda, yani kemanding ag'darilishi davom etadi.



2.51-rasm. Kemanding ko'ndalang kesimi va uning suzish sxemasi.

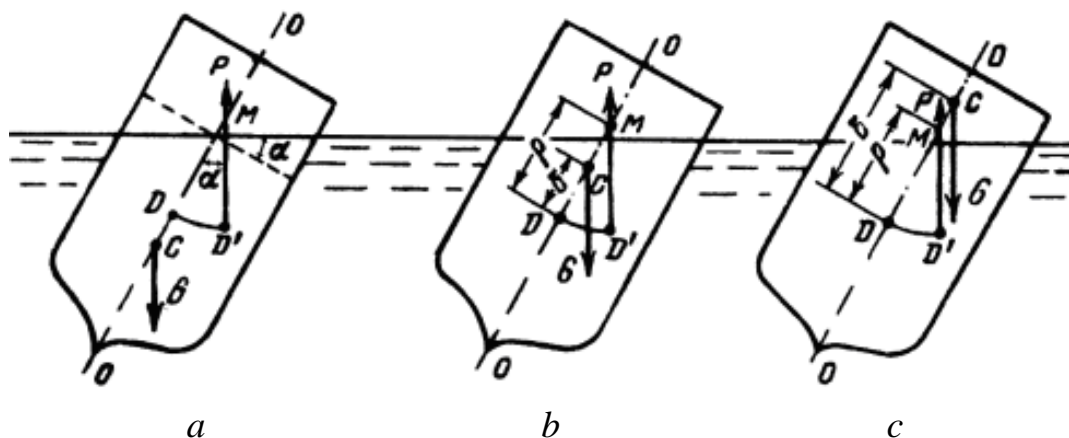
Natijada, og'irlik markazi qancha pastda joylashgan va metasentrik balandlik qancha katta bo'lsa, kemanding ustivorligi shuncha yuqori bo'ladi.

b) *Jismning suzish shartlarini* qaraylik.

Suyuqlikka to'lasincha yoki qisman botirilgan jismga ikkita kuch ta'sir etadi: og'irlik kuchi $G = \gamma_j \cdot V$; Arximed kuchi $P_{arx} = \gamma \cdot V$ (jismning suyuqlikka botirilgan qismi hajmicha suyuqlik og'irligi), u ba'zida suv sig'imi kuchi yoki ko'taruvchi kuch deb ham ataladi.

Bu ifodalarda γ_j va γ – jism va suyuqlikning mos solishtirma og'irliklari; V – suv sig'imi hajmi, yani jism siqib siqargan suyuqlik hajmi.

Og'irlik kuchi jismning og'irlik markazi c nuqtaga qo'yilgan. Arximed kuchi yuqoriga yo'nalgan va hajmiy suv sig'imi markazi d nuqtaga qo'yilgan (2.52-rasmga qarang). Suyuqlikka to'lasincha botirilgan bir jinsli jismda c va d nuqtalar mos keladi.



2.53-rasm. Kema ustivorligi va noustivorligining har xil holatlari:
a) shartli ustivor holat; b) ustivor holat; c) noustivor holat.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Dengizning 300 m chuqurligida hisoblangan ortiqcha bosim $p=3,1$ MPa. Dengiz suvining zichligini toping.

Yechish. Ortiqcha gidrostatik bosim $p = \rho gh$ ekanligidan, izlanayotgan zichlik quyidagicha topiladi:

$$\rho = p/(gh) = 3,1 \cdot 10^6 / (9,81 \cdot 300) = 1053 \text{ kg/m}^3.$$

2-masala. Diametrlari $D_1=0,10$ m va $D_2=0,15$ m bo'lgan ikkita tutash idishlar yuqoridan porshenlar bilan yopilgan. Birinchi idishning porshe-niga og'irligi $G_1 = 200$ N bo'lgan yuk, ikkinchisiga esa og'irligi $G_2 = 200$ N bo'lgan yuk osilgan. Porshenlarning balandliklari farqini aniqlang.

Yechish. Birinchi va ikkinchi porshenlar ostidagi bosimlarning qiymatini aniqlaymiz:

$$P_1 = \frac{4G_1}{\pi D_1^2} = \frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 0,10^2} = 25,48 \text{ kPa}; \quad P_2 = \frac{4G_2}{\pi D_2^2} = \frac{4 \cdot 300}{3,14 \cdot 0,15^2} = 16,99 \text{ kPa};$$

Bularga ko'ra $P_1 = P_2 + \rho gH$, bundan esa

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{(25,48 - 16,99) \cdot 10^3}{1000 \cdot 9,81} = 0,87 \text{ m}$$

3-masala. Kengligi $B = 5$ m va uzunligi $L = 20$ m, sof og'irligi $G = 250$ kN bo'lgan barja zichligi $\rho_{\text{qum}} = 2400 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan qumni tashishda $H=1,5$ m ga suvga botgan bo'lsa, shu barjada tashilayotgan qumning maksimal hajmi V_{qum} ni aniqlang.

Yechish. Arximed qonuniga ko'ra suvga maksimal botgan yukli barjaning og'irligi itarib chiqaruvchi kuchga teng, shunga ko'ra qumning og'irligi quyidagicha:

$$G_{\text{qum}} = \rho g H B L - G = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 5 \cdot 20 - 250000 = 1,22 \text{ MN}.$$

Bundan tashilayotgan qumning izlanayotgan maksimal hajmi quyidagiga teng:

$$V_{\text{qum}} = \frac{G_{\text{qum}}}{\rho_{\text{qum}} g} = \frac{1,22 \cdot 10^6}{2400 \cdot 9,81} = 51,9 \text{ m}^3.$$

Topshiriqlar

1. O'lchamlari $50 \times 50 \times 10$ sm bo'lgan muz parchasi temperaturasi 0°C suv bilan to'ldirilgan idishda suzib yuribdi. Muzning nisbiy og'irligi 0,9. Agar shu muz parchasi erib ketsa suv sathi o'zgaradimi? Nima uchunligini asoslang.
2. Diametri $D=20$ sm bo'lgan po'kak diametri $d=4$ sm li qopqoqqa uzunligi $h=74$ sm li tortqich orqali ulangan bo'lib, u $H \geq 80$ sm qalinlikdagi benzin qatlami ustida suzmoqda. Po'kakning og'irligi qanday bo'lganda qopqoq o'z-o'zidan ochiladi? Qopqoq va tortqichning og'irligini 1,7 deb, benzinning nisbiy solishtirma og'irligini 0,75 deb qabul qiling.
3. O'lchamlar 18×9 m bo'lgan to'g'ri to'rtburchakli barja qum bilan yuklangan bo'lib, u dastlabki holatiga nisbatan 0,5 m ga suvga cho'kkan. Qumning nisbiy solishtirma og'irligini 2,0 ga teng deb, barjadagi qum hajmini aniqlang. Qum barja ustida tekis to'shalgan (devor qalinligini hisobga olmasdan) deb, shu qum qatlamining balandligini aniqlang.

Sinov savollari

1. Arximed qonunining mazmuni nimadan iborat?
2. Jismning cho'kish chuqurligi va uni siqib chiqargan suv hajmi haqida nimalarni bilasiz?
3. Suyuqlikda suzuvchi jismning muvozanat shartlari, chayqalmaslik sharti qanday? Metamarkaz nima?
4. Qanday hollarda bosim markazi bilan og'irlik markazi mos keladi?

*

2.7. Suyuqlikning nisbiy sokinligi

Yuqorida ta'kidlagan edikki, barcha nuqtalarida bosim bir xil bo'lgan sirt *sath sirti* yoki *teng bosimli sirt* deb ataladi. Agar suyuqlik (gaz) uni saqlab tutgan idishga nisbatan sokin holatda bo'lib, idish Yerga nisbatan sokin yoki o'zgarimas tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, bunday sokinlik *absolyut sokinlik* deb ataladi. Agar suyuqlik idishga nisbatan sokin, idish esa Yerga nisbatan tezlanish bilan harakatlanayotgan bo'lsa, bunday sokinlik *nisbiy sokinlik* deb ataladi. Boshqacha aytganda, notekis yoki to'g'ri chiziqli bo'lmagan harakatda suyuqlik zarrachalariga og'irlik kuchidan tashqari inertsiya kuchi ham ta'sir etadi. Agar ana shu harakatda inertsiya kuchlari vaqt bo'yicha o'zgarimas bo'lsa, u holda suyuqlik o'zining yangi muvozanat holatini egallaydi, ya'ni suyuqlikning bunday muvozanati *nisbiy sokinlik* deb ataladi. Boshqacha aytganda, suyuqlikning *nisbiy sokinligi* deb harakatlanayotgan suyuqlikning alohida zarrachalari bir-biri bilan aralashmaydigan holatiga aytiladi. Bunda suyuqlik xuddi qattiq jism kabi ko'chadi. Bunda holda harakatni *ko'chirma harakat* deb atash mumkin. Bunda holda suyuqlik hajmi shaklining o'zgarimasligi bilan xarakterlanadi. Ko'rinadiki, qaralayotgan suyuqlik massasi harakatlanayotgan, masalan, quvur bilan bog'langan koordinat sistemasiga nisbatan qo'zg'almas bo'ladi. Shunday qilib, nisbiy sokin suyuqlikka massaviy kuchlar (og'irlik kuchi va ko'chirma harakatning inertsiya kuchi), sirt kuchlaridan esa bosim kuchi (xususan, atmosfera bosimi) ta'sir etadi.

Nisbiy sokinlikning ikkita xususiy holi mavjud:

- to‘g‘ri chiziqli ko‘chirma harakatdagi sokinlik;
- vertikal o‘qqa nisbatan aylanma ko‘chirma harakatdagi sokinlik.

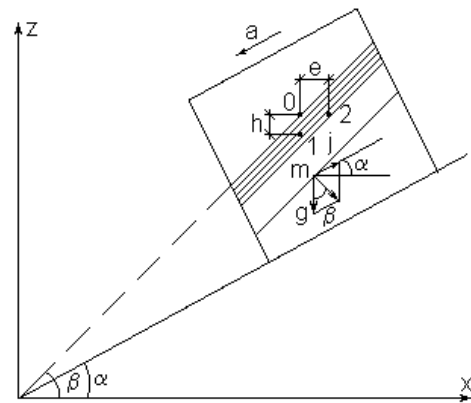
Qiya tekislikdagi tekis parallel harakatda nisbiy sokinlik. Bu holda suyuqlikka ta‘sir etuvchi kuchlar: bosim kuchi; og‘irlik kuchi; ko‘chirma harakatdagi inertsiya kuchi.

Erkin tushayotgan rezervuarning butun hajmi bo‘ylab bosim taqsimoti bir xil bo‘ladi va u atmosfera bosimiga teng.

Bu holni talabning o‘zi mustaqil to‘laroq o‘zlashtirishini taklif qilamiz.

Erkin tushayotgan rezervuarning butun hajmi bo‘ylab bosim taqsimoti bir xil bo‘ladi va u atmosfera bosimiga teng.

Suyuqlik rezervuarining gorizont tekislik bilan biror α burchak hosil qilgan qiya tekislik bo‘ylab o‘zgarmas a tezlanish bilan harakatini qaraylik (2.54-rasm). Harakatlanayotgan rezervuardagi suyuqlik bosim kuchi, og‘irlik kuchi va ko‘chirma harakatning inertsiya kuchi ostida turadi. Inertsiya kuchining tezlanishi $j=a$ rezervuar tezlanishi a ning yo‘nalishiga qarama-qarshi yo‘nalgan. Massaviy kuchlarning natijaviy vektori g – og‘irlik kuchi va j – inertsiya kuchlaridan tuzilgan parallelogramning diagonali bo‘yicha aniqlanadi.



2.54-rasm. Qiya tekislik bo‘ylab ilgarilanma harakat.

Bosimga teng bo‘lgan element sirti shu parallelogramning diagonaliga perpendikulyar va gorizont bilan β burchak tashkil etadi, uning tangensi esa

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{j \cdot \cos \alpha}{g - j \cdot \sin \alpha}.$$

Shunday qilib, teng bosimli sirt gorizont bilan β burchak tashkil etuvchi parallel tekisliklar oilasini tashkil etadi. Shuni e‘tiborga olish lozimki, agar rezervuar tekis harakat qilsa ($a=0$), u holda $h_1 = 0$ va natijada $\operatorname{tg}\beta = 0$ va $\beta = 0$. Bu holda teng bosimli sirt gorizont tekisliklar oilasini tashkil etadi.

Agar rezervuar og‘irlik kuchi hisobiga harakatlanayotgan (rezervuarining tekislikdagi ishqalanish kuchi nolga teng) bo‘lsa, u holda $j = g \cdot \sin \alpha$, $\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\alpha$, $\beta = \alpha$, teng bosimli sirt dumalashning parallel tekisliklariga parallel bo‘lgan tekisliklar oilasini tashkil etadi.

Vertikal $x = \text{const}$ tekislikda bosimning taqsimot qonunini topaylik. Koordinatalar sistemasi rezervuar bilan birgalikda harakatlanishini, $y = 0$, tanlangan tekislik uchun $dx = 0$ e‘tiborga olsak, gidrostatikaning differensial shakldagi asosiy tenglamasi ushbu $dp = \rho \cdot Z \cdot dz$ ko‘rinishni oladi. Bunday holda $Z = j \cdot \sin \alpha - g$, u holda

$$dp = \rho \cdot (j \cdot \sin \alpha - g) \cdot dz \quad \text{yoki} \quad \frac{dp}{\rho(g - j \cdot \sin \alpha)} + dz = 0.$$

Buni integrallasak, $\frac{p}{\rho(g - j \cdot \sin \alpha)} + z = \text{const}$.

z_0 va z_1 koordinatali ikkita nuqtalar uchun

$$\frac{p_0}{\rho(g - j \cdot \sin \alpha)} + z_0 = z_1 + \frac{p_1}{\rho(g - j \cdot \sin \alpha)} \quad \text{yoki} \quad p_1 = p_0 + \rho(g - j \cdot \sin \alpha)h.$$

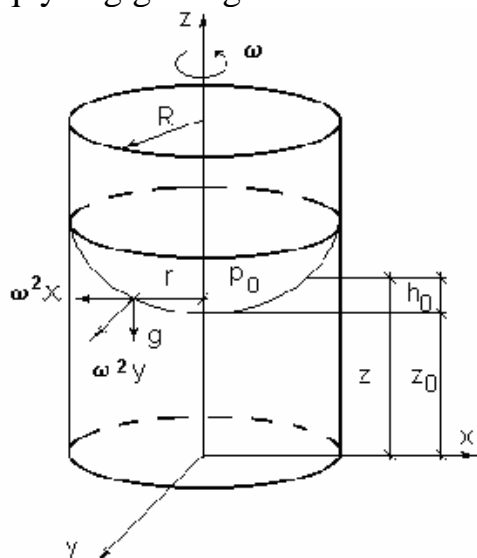
Xuddi shunday, gorizont tekislikda bosim taqsimotini aniqlaymiz: $W = 0,785 \cdot d^2 \cdot L$, agar $\alpha = 0$ bo'lsa, u holda $p_1 = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$; $p_2 = p_0 + \rho \cdot j \cdot e$.

Erkin sirtning gorizont bilan tashkil etgan burchagi $\text{tg} \beta = j/g$.

Rezervuar erkin tushayotganda hajm bo'ylab bosim bir xil:

$$a = g, \quad j = g \quad \text{va} \quad p_1 = p_2 = p_0,$$

Vertikal o'q atrofidagi aylanma harakatda nisbiy sokinlik. Bunday holda suyuqlikka ta'sir etuvchi kuchlar: bosim kuchi; og'irlik kuchi; aylanma ko'chirma harakatdagi inertsia kuchlari. Massaviy kuchlar tezlanishining komponentalari quyidagiga teng:



2.55-rasm. O'qqa nisbatan aylanma ko'chirma harakat sxemasi.

$$X = \omega^2 x; \quad Y = \omega^2 y; \quad Z = -g.$$

Bunga ko'ra gidrostatikaning differensial tenglamasi ushbu

$$\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz = 0.$$

holatga keladi, bu yerda $x^2 + y^2 = r^2$ ekanligini e'tiborga olgan holda bu teng-lamani integrallasak: $0.5 \omega^2 r^2 / g - z = C$.

Bu tenglama aylanma paraboloid tenglamasi bo'lib, uning bosimga teng sirti vertikal o'q bo'yicha siljirilgan aylanma paraboloidlar oilasini tashkil qiladi. Har bir paraboloid C o'zgarmasning biror qiymati bilan xarakterlanadi. Erkin sirtning parabo-loidi uchun $z=z_0$ va $x=y=0$ (2.55-rasm).

Demak $C=-z_0$. Bularga ko'ra erkin sirtning tenglamasi quyidagicha:

$$0.5 \omega^2 r^2 = g (z - z_0) = g h_0 \quad \text{yoki} \quad 0.5 v^2 / g = h_0.$$

Eylerning suyuqlik muvozanati differensial tenglamasida o'rniga qo'yishlarni bajarib, uni integrallasdan keyin suyuqlik hajmidagi bosim taqsimoti qonuniga kelimiz:

$$p = \rho g (0.5 \omega^2 r^2 / g - z) + C.$$

C integrallash o'zgarasini $z = z_0$ va $r = 0$ da $p = p_0$ ekanligidan topamiz: $C = p_0 + \rho g z_0$. Bunga ko'ra bosim:

$$p = p_0 + \rho g (z_0 - z + 0.5 \omega^2 r^2 / g).$$

Bitta vertikalda joylashgan suyuqlik zarrachasi uchun esa

$$p = p_0 + \rho g h,$$

bunda $h = z_0 - z + h_0$, ya'ni bosim taqsimotining oddiy gidrostatik qonu-niga kelimiz.

2.8. Harakatlanayotgan idishlardagi suyuqlik muvozanatining xususiy hollari

Ta'sir etayotgan massaviy kuchlarning xarakteridan bog'liq holda teng bosimli sirt (xuddi erkin sirt kabi) har xil shakllarni egallashi mumkin. Quyida harakatlanayotgan idishlarda suyuqlik muvozanatining xususiy hollarini qaraymiz:

1) Suyuqlikli sisternaning tezlanish bilan harakati. Goridontal yo'l bo'ylab o'zgarmas $\pm a$ tezlanish (plyus ishora sisternaning tezlanuvchanli-giga, minus ishora esa uning sekinlanuvchanligiga mos keladi) bilan harakatlanayotgan sisternadagi suyuqlikning sath sirtini aniqlaylik (2.56-rasm).

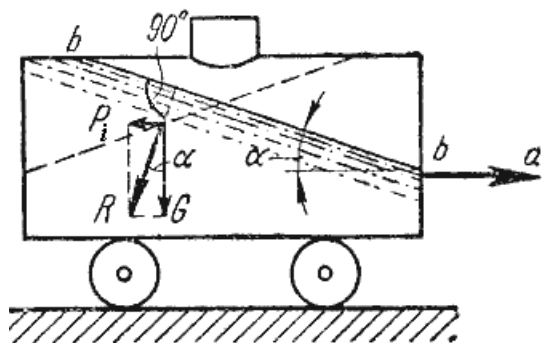
Bunday holda qiya tekislik teng bosimli sirt bo'lib, suyuqlikning m massali har bir zarrachasiga sirt kuchidan tashqari shu zarrachaning $G=mg$ – og'irligi va $P_i = ma$ – inertsia kuchi ham ta'sir etadi. Ularning teng ta'sir etuvchisi $R = \sqrt{(mg)^2 + (ma)^2}$ vertikalga nisbatan α burchak ostida yo'nalgan bo'lib (teng bosimli sirt (erkin sirt) ham gorizontga nisbatan shu burchakka og'adi), uning tangensi $\text{tg}\alpha = \pm a/g$.

Bu yerdan ko'rinadiki, α burchak faqat tezlanishdan bog'liq bo'l-ganligi uchun erkin sirtning holari sisternadagi suyuqlikning jinsidan bog'liq emas. Har qanday sath sirti gorizontga nisbatan α burchakka og'adi. Agar sisternaning harakati tekis sekinlanuvchan bo'lsa, u holda erkin sirt, 2.56-rasmda punktirli chiziq bilan ko'rsatilgandek, bosqa tarafga og'adi.

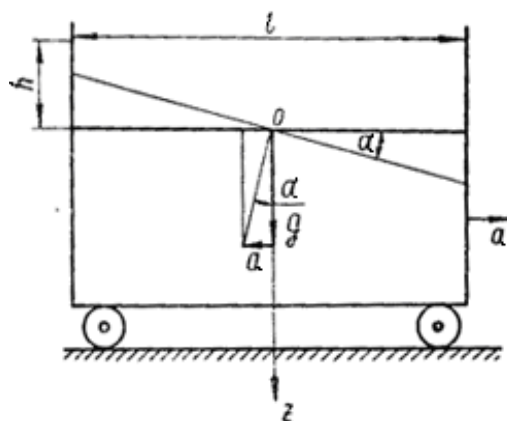
Agar yuqorida ta'kidlagandek harakatlanayotgan idish (sisterna) ochiq bo'lsa (2.57-rasm), u holda suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasidagi bosim

$$p = p_0 + \rho \cdot (g \cdot z \pm a \cdot x)$$

formuladan aniqlanadi.



2.56-rasm. Suyuqlikli sisternaning tezlanish bilan harakati sxemasi.



2.57-rasm. Suyuqlikli ochiq idish-ning tezlanish bilan harakati sxemasi.

Suyuqlikning erkin sirtida $p=p_0$ bo'lganligi uchun bu tenglama $g \cdot z = \pm a \cdot x$ yoki $z/x = \text{tg}\alpha = \pm a/g$ kabi yoziladi. Bu ifodalar suyuqlikning l uzunlikli ochiq idishdan to'kilmaydigan holda o'rinli bo'lib, a ning berilgan qiymatida bortning h balandligini yoki h ning berilgan qiymatida limitik a tezlanishni topish mumkin.

Agar idish tekis harakatlanayotgan ($a = 0$) bo'lsa, u holda tenglama $p = p_0 + \rho \cdot g \cdot z = p_0 \cdot \gamma$ ko'rinishda yoziladi, bu holda teng bosimli sirt gorizontol tekislikdan iborat.

Xulosa qilib aytganda, gorizontol yo'l bo'ylab biror a o'zgarmas tezlanish va ixtiyoriy u tezlik bilan harakatlanayotgan sisternadagi suyuqlikning harakati: *absolyut muvozanatda* (suyuqlik zarrachasiga ta'sir etayotgan barcha massaviy va sirt kuchlari yig'indisi nolga teng, ya'ni ular o'zaro muvozanatda) deyiladi, agar $a=0$ va $u=0$ (sistema tinch turibdi) yoki $a=0$ va $u=const$ (sistema tekis ilgarilanma harakatda) bo'lsa (suyuqlik sathi gorizontol holatda, ya'ni 2.56-rasmda $\alpha=0$); *nisbiy muvozanatda* (suyuqlik zarrachasiga ta'sir etayotgan barcha massaviy, sirt va inertsiya kuchlari yig'indisi nolga teng) deyiladi, agar $a>0$ va $u \neq const$ (sistema tezlanuvchan ilgarilanma harakatda; 2.56-rasmda suyuqlik sathi gorizontga nisbatan α burchak holatida tasvirlangan) yoki $a<0$ va $u \neq const$ (sistema sekin-lanuvchan ilgarilanma harakatda; 2.52-rasmda suyuqlik sathi gorizontga nisbatan α burchak holatida punktir chiziq bilan tasvirlangan) bo'lsa.

Izoh. Inertsiya kuchi massaviy kuchlar sinfiga kiradi. Inertsiya kuchining kuchlanish vektori: $\vec{F}_{iner} = -d\vec{u}/dt$.

2) Suyuqlikli idishning vertikal o'q atrofida aylanishi. Vertikal o'q atrofida o'zgarmas ω burchak tezlik bilan aylanayotgan ochiq silindrik idishda joylashgan suyuqlik nisbiy sokinligini aniqlaylik (2.58, a -rasm). Amaliyotda bunday masalalar, masalan, suyuqliklarni ajratuvchi separatorlar, sentrifuglarda uchraydi. Bu holda suyuqlikning nisbiy muvozanatida uning ixtiyoriy zarrachasiga ta'sir etuvchi kuchlar nafaqat sirt kuchlari, balki massaviy kuchlar hamdir: $G = mg$ – og'irlik kuchi va $P_i = m\omega^2 r$ – markazdan qochuvchi kuch, bu yerda r – zarrachadan aylanish o'qigacha bo'lgan masofa; ω - aylanayotgan idishning burchak tezligi.

Suyuqlikning sirti har bir nuqtasida ana shu kuchlar teng ta'sir etuvchisi R ga normal bo'lishi zarur. Shuning uchun suyuqlik sirti (teng bosimli sirt) aylanma paraboloid shaklida bo'ladi.

$$2.54,a\text{-rasmga ko'ra } \operatorname{tg}\alpha = \frac{P_i}{G} = \frac{m\omega^2 r}{mg}. \text{ Boshqa tarafdanda esa } \operatorname{tg}\alpha = \frac{dz}{dr}, \text{ bu}$$

yerda z – qaralayotgan nuqtaning koordinatasi. Shunday qilib, $\frac{\omega^2 r}{g} = \frac{dz}{dr}$, bu yerda

$$\text{esa } dz = \frac{\omega^2}{g} r dr \text{ yoki uni integrallasak, } z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} + C. \text{ } AOB \text{ egri chiziqning aylanish}$$

o'qi bilan kesishish nuqtasida $r = 0, z = h = C$, shuning uchun $z = h + \frac{\omega^2 r^2}{2g}$, ya'ni AOB egri chiziq parabola, suyuqlikning erkin sirti esa paraboloid. Boshqa sath sirtlari ham xuddi shu shaklga ega.

Aylanayotgan suyuqlikning bosimi o'zgarishi qonunini radius va balandlikning funksiyasi sifatida aniqlash uchun suyuqlikdan r radiusli va z balandlikli, dS gorizontol elementar yuzachali vertikal silindrik hajmni ajratamiz va uning vertikal holatdagi muvozanat shartini yozamiz:

$$pdS - \gamma \left(h - z + \frac{\omega^2 r^2}{2g} \right) dS - p_0 \left(\frac{dS}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha = 0,$$

bu yerda $h - z + \frac{\omega^2 r^2}{2g}$ - silindrning balandligi.

Soddalashtirishlardan keyin quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$p = p_0 + \gamma \left(h - z + \frac{\omega^2 r^2}{2g} \right).$$

Bu tenglik bosimning r radiusga proporsional o‘shishini va z balandlikka proporsional kamayishini bildiradi.

2.58,b-rasmga ko‘ra esa suyuqlik chuqurligi bo‘ylab bosimning taqsimlanishi

$$p = p_0 + \gamma \cdot ((\omega^2 \cdot r^2)/(2 \cdot g) - z)$$

ifodadan topiladi. Suyuqlik erkin sirtining ixtiyoriy nuqtasi uchun $p = p_0$ bo‘lganda bu tenglama quyidagicha yoziladi:

$$z = (\omega^2 \cdot r^2)/(2 \cdot g) = u^2/(2 \cdot g),$$

bu yerda $u = \omega \cdot r$ – aylanish tezligi; r – nuqtaning aylanish radiusi.

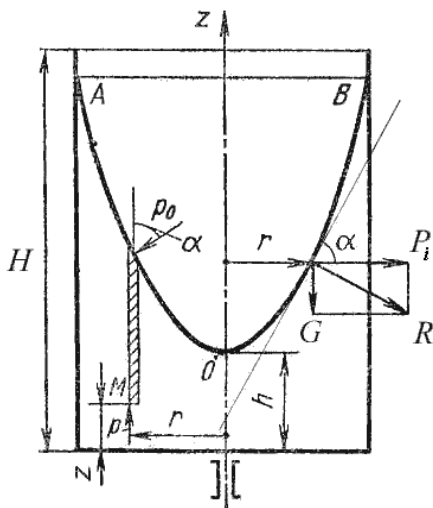
Aylanma paraboloidning balandligi $h = \omega^2 \cdot r_0^2/(2 \cdot g)$, bu yerda r_0 – silindrik idishning radiusi.

Suyuqlikning idish tubiga bosim kuchi

$$P = \gamma \cdot \pi \cdot r_0^2 \cdot h_0 = \gamma \cdot \pi \cdot r_0^2 \cdot (h_1 + h/2),$$

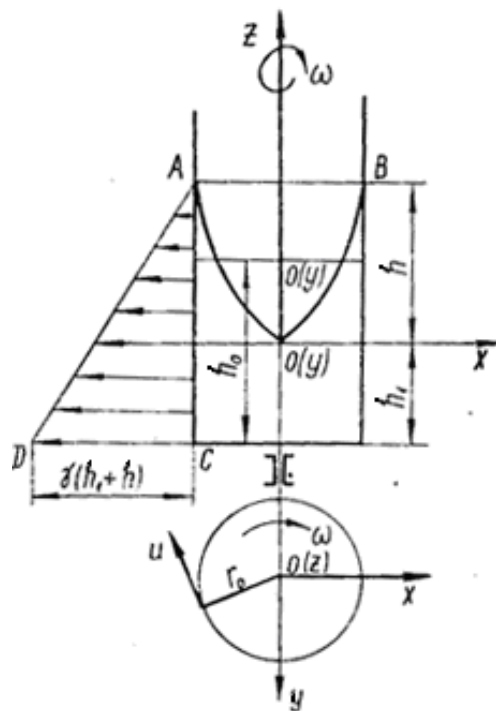
bu yerda h_0 – suyuqlikning idish aylanishidan oldingi chuqurligi.

Idishning yon devoriga beriladigan bosim chiziqli qonuniyat bilan o‘zgaradi. Bosim epyurasi ACD – to‘g‘ri burchakli uchburchak shaklida bo‘lib, uning balandligi $h_1 + h$, asosi esa $\gamma \cdot (h_1 + h)$.



a)

2.58-rasm. Suyuqlikli idish-ning vertikal o‘q atrofida aylanishi.



b)

3) Suyuqlikli idishning gorizontal o'q atrofida aylanishi. Gorizontal o'q atrofida o'zgarmas ω burchak tezlik bilan aylanayotgan ochiq silindrik idishda joylasgan suyuqlik nisbiy sokinligini aniqlaylik (2.59,a-rasm). Bu holda suyuqlikka ta'sir etuvchi massavi kuchlar: og'irlik kuchi va markazdan qochuvchi kuch.

Teng bosimli sirt gorizontal va Oy o'qqa nisbatan eksentrisiteti $e = g/\omega^2$ miqdorga siljigan silindrning yon sirtiga konsentrik joylashadi.

Idish aylanishlari soni katta bo'lganda og'irlik kuchining ta'siri markazdan qochuvchi kuch ta'siriga nisbatan sezilarsiz bo'lib qoladi, natijada e eksentrisitetning miqdorini e'tiborga olmaslik mumkin. U holda teng bosimli sirt o'qi idish o'qi bilan mos keluvchi konsentrik silindrlardan iborat bo'ladi (2.59,b-rasm).

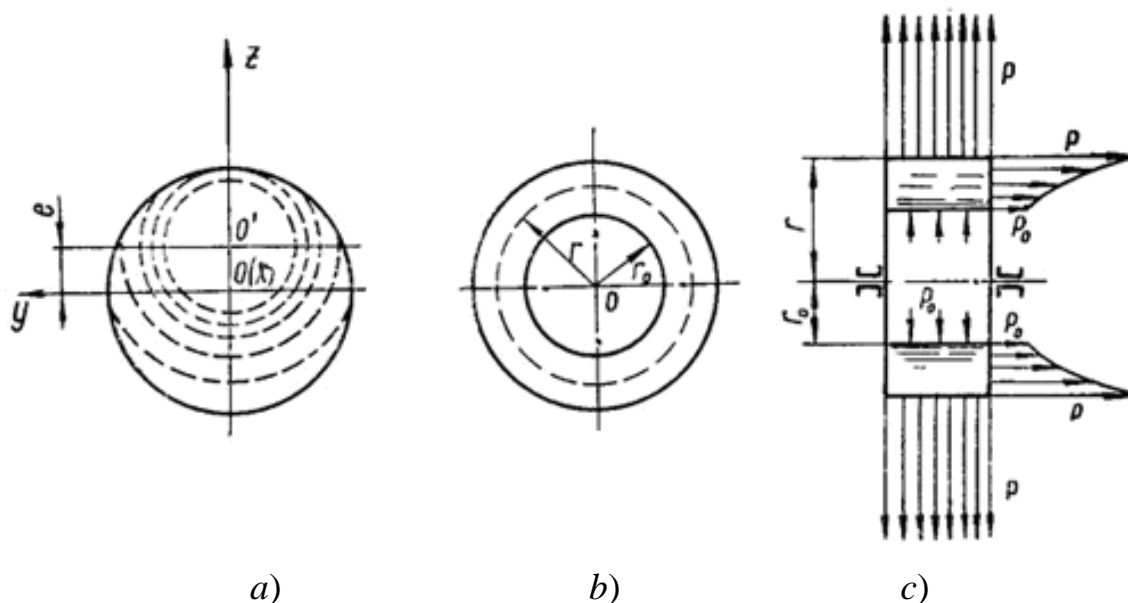
Suyuqlikning chuqurligi bo'ylab bosimning taqsimoti quyidagi ifodadan topiladi:

$$p = p_0 + \gamma \cdot \omega^2 \cdot (r^2 - r_0^2)/(2 \cdot g),$$

bu yerda p va p_0 – radiuslari r va r_0 bo'lgan silindrik sirtlar nuqtalaridagi mos bosimlar.

Bu tenglama faqat r radiusli idish suyuqlik bilan qisman to'ldirilgandagina o'rinli. Bu holda suyuqlikning erkin sirti r_0 radiusli silindrik sirtidan iborat va uning barcha nuqtalaridagi bosim p_0 bo'ladi.

Oxirgi tenglamadan ko'rinadiki, radius bo'ylab bosimning taqsimoti parabolik shaklda ekan. Bosim epyurasi 2.59,c-rasmda tasvirlangan. Bunday taqribiy yechimlarni idish aylanish o'qining ixtiyoriy joylashuvida topish mumkin, ammo idishning aylanishlari soni katta bo'lishi shart.

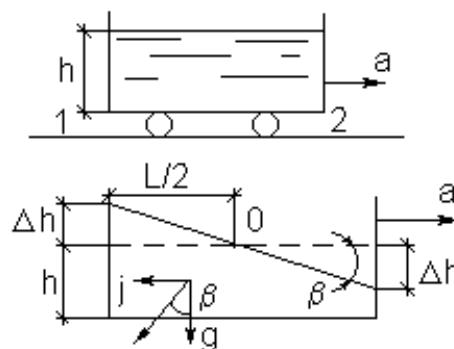


2.59-rasm. Suyuqlikli idishning gorizontal o'q atrofida aylanishi.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Asosi $L \times B$ to'g'ri to'rbur-chak shaklidagi idish h balandlikkacha suv bilan to'ldirilgan va u gorizontaal sirt bo'ylab a tezlanish bilan harakatlanmoqda (2.60-rasm). Idish 1-orqa va 2-oldingi devorlarining ostki nuqtalaida suvning idish tubiga ortiqcha bosimini aniqlang.

Yechish. Idishning a tezlanish bilan gorizontaal harakatida suyuqlikning erkin sirti gorizontga nisbatan β burchak ostida qiyalashadi. Agar $a = j$ bolsa, u holda $\text{tg}\beta =$



2.60-rasm. Gorizontaal sirt bo'ylab a tezlanish bilan harakatlanayotgan suyuqlikli idish sxemasi.

$-a/g$. Suyuqlikning hajmi o'zgarmaganligi uchun erkin sirt idish uzunligining o'rtasida joylashgan O o'q atrofida aylanadi, erkin sirtning devor chegaralarida ko'ta

ko'tarilishi va pasayishi bir xil bo'lib, u Δh ga teng: $\Delta h = L; \text{tg}\beta = \frac{L}{2} \cdot \frac{a}{g}$.

1-nuqtadagi ortiqcha bosim quyidagicha topiladi:

$$p_1 = \rho \cdot g \cdot (h - \Delta h) = \rho \cdot g \cdot \left(h - \frac{L}{2} \cdot \frac{a}{g} \right).$$

2-nuqtadagi ortiqcha bosim quyidagicha topiladi:

$$p_2 = \rho \cdot g \cdot (h + \Delta h) = \rho \cdot g \cdot \left(h + \frac{L}{2} \cdot \frac{a}{g} \right).$$

2-masala. R_1 radiusli silindrik idish ρ zichlikli suyuqlik bilan o'qdan R_2 masofada idish qopqog'iga o'rnatilgan ochiq kichik diametrli naychalining a sathigacha to'ldirilgan va markaziy vertikal o'qqa nisbatan tekis aylanma harakatga keltirilgan (2.61-rasm). Qopqoq ostidagi ortiqcha bosim nolga teng bo'ladigan holat uchun idish aylanishining burchak tezligini aniqlang.

Yechish. Suyuqlik aylanma harakati uchun uning hajmidagi bosim taqsimoti qonuni tenglamasini qo'llab va $p_0 = p_{atm}$ ekanligini hisobga olib suyuqlikdagi ortiqcha bosim taqsimoti qonunini topamiz:

$$p_v = \rho \omega^2 r^2 / 2 - \rho g (z - z_0).$$

$r = R_2$ va $z = a$ da $p_v = 0$ chegaraviy shartdan z_0 ni topamiz:

$$\rho \omega^2 R_2^2 / 2 - \rho g (a - z_0) = 0,$$

bundan esa $z_0 = a - \omega^2 R_2^2 / (2g)$.

Bu ifodani yuqoridagi ifodaga qo'yib, quyidagi bosim taqsimoti qonuniga ega bo'lamiz:

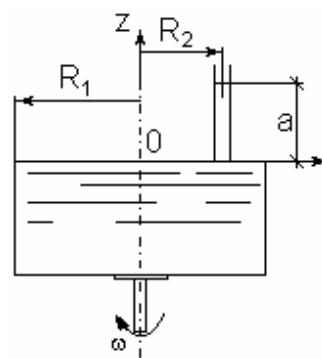
$$p_v = \rho \omega^2 (r^2 - R_2^2) / 2 + \rho g (a - z),$$

qopqoq sirtidagi $z = 0$ nuqta uchun esa:

$$p_v = \rho \omega^2 (r^2 - R_2^2) / 2 + \rho g a.$$

$p_0 = p_{atm}$ da $p_v = 0$ shartdan aylanishning burchak tezligini aniqlaymiz: $-\rho \omega^2 R_2^2 / 2 + \rho g a = 0$,

bu yerdan esa $\omega = \sqrt{2ga} / R_2$.



2.61-rasm.

3-masala. Agar suyuqlik solingan idish Oz o'q atrofida ω burchak tezlik bilan aylanayotgan bo'lsa, sath sirti shaklini aniqlang (2.58-rasm).

Yechish. Masala Oz o'qiga nisbatan simmetrik, shuning uchun zOx tekislik bo'yicha kesimni qarash yetarli.

Simmetriya o'qidan ma'lum uzoqlikdagi $M=M(x,z)$ nuqtaga ikkita tashqi hajmiy kuchlar ta'sir qiladi: og'irlik kuchi va tezlanishi $j = u^2/x$ ga teng markazdan qochma kuch, bunda u – aylanish o'qidan x masofadagi M zarrachaning aylanma tezligi. Ammo $u = \omega x$ ekanligidan $j = \omega^2 x$. Sirt sathi tenglamasi (2.8) dan foydalanamiz, bunda $X = j = \omega^2 x$; $Y = 0$; $Z = -g$. Bularni o'rniga qo'ysak, $\omega^2 x dx - g dz = 0$. Buni integrallasak,

$$z = 0,5 \omega^2 x^2 / g + C.$$

Bu kvadratik parabolaning tenglamasi. Shuning uchun bu misolda sath sirti paraboloid shaklida bo'ladi. Biror aniq sath sirtini aniqlash uchun C o'zgarmasni aniqlash lozim bo'ladi. $A(0;h)$ nuqta uchun $C = z - 0,5 \omega^2 x^2 / g = h$.

Shunday qilib, erkin sirt uchun $z = 0,5 \omega^2 x^2 / g + C = h + 0,5 \omega^2 x^2 / g$.

Ammo $u = \omega x$ ekanligidan $z = h + 0,5 u^2 / g$. Ushbu $0,5 u^2 / g$ miqdor chiziqli o'lchamga ega va u aylanma tezlikning *tezlik nabori* deb ataladi.

Mustaqil ish topshiriqlari

1. Diametri $D=4$ sm va balandligi $H=10$ sm bo'lgan silindrik idish yarmigacha suv bilan to'ldirilgan. Bu idishdan suvni to'kib yubormasdan uni geometrik vertikal o'qi atrofida aylantirishlar soni chegarasini aniqlang.
2. Suyuqlik bilan to'ldirilgan idish $\omega = 11 \text{ c}^{-1}$ tezlik bilan aylanganda suyuqlikning idish devoridagi eng yuqori va eng quyi sathlari farqi $0,5$ m dan oshmasligi uchun idishning diametrini qanday tanlash kerak? Idishning yon sirtida joylashgan suyuqlik zarrachasining chiziqli tezligini aniqlang.
3. Suyuqlik bilan to'ldirilgan idish $\omega = 8,1 \text{ c}^{-1}$ tezlik bilan aylanmoqda. Agar idishning diametri $d=0,6$ m, aylanayotgan suyuqlikning eng quyi sathi $0,6$ m chuqurlikda bo'lsa, teng bosimi $P'=P_{at}=98100 \text{ Pa}$; $P'=100062 \text{ Pa}$; $P'=103986 \text{ Pa}$ bo'lgan sirtlarni chizing.

Sinov savollari

1. Absolyut sokinlik deb nimaga aytiladi ?
2. Nisbiy sokinlik deb nimaga aytiladi ?
3. Nisbiy sokinlikning xususiy hollarini ayting.
4. Nisbiy sokinlikda qanday kuchlar ta'siri bo'ladi ?
5. Erkin tushayotgan rezervuarga qanday kuchlar ta'sir qiladi ?
6. Qiya tekislikdagi tekis parallel harakatda nisbiy sokinlikni qanday tushunasiz ?
7. Vertikal va gorizontal o'qlar atrofidagi aylanma harakatda nisbiy sokinlikni qanday tushunasiz ?

3-BOB. SUYUQLIK VA GAZ KINEMATIKASI

Suyuqliklar kinematikasi – bu suyuqlik va gazlar mexanikasining eng muhim bo‘limlaridan biri hisoblanadi. Kinematika suyuqlik harakatini, uni keltirib chiqaradigan sabablarsiz, o‘rganadi. N.E.Jukovskiy kinematikani «harakat geometriyasi» deb atagan. Suyuqlikning harakatini ifodalovchi uning oqimidagi har bir zarrachasining (moddiy kontinium kichik bo‘lagining) parametrlarini (bosim, zichlik, temperatura va boshqa) aniqlash bilan bog‘liq bo‘lgan suyuqlik va gazlar mexanikasi masalasini yechishni tezliklar maydonini topishga, ya’ni kinematik masalani yechishga olib kelish mumkin. Topilgan yoki berilgan tezliklar tagsimotiga ko‘ra oqimning qolgan barcha parametrlarini keltirib chiqarish mumkin. Shunday qilib, suyuqlik va gazlar kinematikasida suyuqlik va gaz zarrachalarining fazoda vaqtdan bog‘liq holda joylashishi o‘rganiladi.

Suyuqliklar kinematikasini o‘rganish asosida oqim kinematik parametrlari o‘zgarishlarining uzluksizligi haqidagi gipoteza yotadi.

Barcha tushunchalarni ikki usul bilan tushuntirish mumkin. Birin-chisiga ko‘ra har bir alohida suyuqlik zarrachasining harakati o‘rganiladi. Buni ajratib olish uchun boshlang‘ich vaqt momenti t_0 da uning x_0 , y_0 va z_0 koordinatalari qayd etiladi. Harakat aniqlangan deyiladi, agar har bir vaqt momentida har bir zarrachaning vaqt bo‘yicha yo‘lini ifodalovchi tenglama, ya’ni suyuqlik zarrachalari traektoriyalarining parametrik tenglamasi ma’lum bo‘lsa. Bu usul Lagranj tomonidan tavsiya etilgan. Ikkinchi usul, ya’ni Eyler usuliga ko‘ra (x, y, z) fazoning fiksirlangan nuqtasida tezlik va boshqa parametrlarning vaqtga bog‘liq holda o‘zgarishi o‘rganiladi. Quyida asosan Eyler usuli qo‘llanilgan.

Suyuqliklar kinematikasini o‘rganishda suyuqlik zarrachalarining oqim chiziqlari dastasi tenglamasini va traektoriyasini, tarmoqlangan oqim nuqtalari holatini va hokazolarni aniqlay bilish zarur.

Quyidagi tushunchalar, kinematika masalalarining namunaviy yechimlari va mashqlar suyuq muhit harakatini tekshirishning asosiy usullarini o‘rganishga va suyuqliklar kinematikasining amaliy masalalarini yechishga yaqindan yordam beradi.

3.1. Suyuqlik zarrachasi harakatining tahlili

Suyuqlik zarrachasining tezligi va tezlanishi. Suyuqlik va gaz mexanikasining asosiy usuli Eyler usuli bo‘lib, bunda suyuqlik harakati vaqtning har bir momentida fazoda uning tezliklari maydonini har bir nuqtasi uchun

$$\vec{u} = f(\vec{r}, t)$$

kabi berish yo‘li bilan yoki uning to‘g‘ri burchakli Dekart koordinatalari sistemasi o‘qlaridagi proeksiyalarini

$$u_x = f_1(x, y, z, t), u_y = f_2(x, y, z, t), u_z = f_3(x, y, z, t) \quad (3.1)$$

kabi ifodalab aniqlanadi, bunda $\vec{u} = u_x \vec{i} + u_y \vec{j} + u_z \vec{k}$ - suyuqlikning fiksirlangan zarrachasi $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ radius vektori bilan aniqlanuvchi fazo nuqtasining t vaqt momentidagi tezligi; x, y, z, t - Eyler o‘zgaruv-chilari. Eyler o‘zgaruvchilari

sifatida Dekart koordinatalari o'rnida silindrik, sferik va boshqa koordinatalardan ham foydalanish mumkin.

Suyuqlik zarrachasi tezlik va tezlanishining biror koordinata o'qidagi, masalan, Ox o'qidagi mos u_x va a_x proyeksiyasini topish uchun uning x, y, z koordinatalar funksiyasi, va o'z navbatida, umumiy holda t vaqtga ham bog'liq bo'lishini hisobga olishimiz zarur.

Zarrachalar \vec{u} - tezlik vektori va \vec{a} - tezlanish vektorining koordinat o'qlaridagi proeksiyalari quyidagilarga teng:

$$u_x = \frac{dx}{dt}, u_y = \frac{dy}{dt}, u_z = \frac{dz}{dt},$$

$$a_x = \frac{du_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}, a_y = \frac{du_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}, a_z = \frac{du_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}. \quad (3.2)$$

Radius-vektorga nisbatan esa

$$\vec{u} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}.$$

Suyuqlik zarrachasining harakati ma'lum bo'ladi, agar quyidagi sistema ma'lum bo'lsa:

$$x = \varphi_1(a, b, c, t), \quad y = \varphi_2(a, b, c, t), \quad z = \varphi_3(a, b, c, t), \quad (3.1')$$

bunda a, b, c - suyuqlik ixtiyoriy zarrachasining $t = t_0$ vaqt momentidagi koordinatalari va ular zarrachalarni belgilash uchun xizmat qiladi. Bu tenglamalardan t vaqtni yo'qotib zarrachaning *traektoriyasi tenglamasini* hosil qilamiz. Bunda a, b, c va t miqdorlar *Lagranj o'zgaruvchilari* deyiladi. Lagranj usuliga ko'ra suyuqlik yakka zarrachasining traektoriyasi bo'ylab harakati tekshiriladi. Ma'lumki, zarrachalar cheksiz ko'p, bunday holda traektoriyani berish uchun faqat traektoriyasi qarashli bo'lgan zarrachani tekshirish lozim. Buning uchun esa zarrachaning xarakteristikasi sifatida a, b, c koordinatalar $t = t_0$ vaqt momentida tanlab olinadi. Shunday qilib, suyuqlik zarrachasining x, y, z koordinatalari a, b, c miqdorlar va t vaqtda bog'liq bo'ladi.

Berilgan funksiyalar uchun zarrachalar \vec{u} tezlik vektori va \vec{a} tezlanish vektorining koordinat o'qlaridagi proeksiyalari fiksirlangan a, b, c miqdorlarda quyidagilarga teng:

$$u_x = \frac{\partial x}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_1}{\partial t}, \quad u_y = \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial t}, \quad u_z = \frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_3}{\partial t},$$

$$a_x = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2}, \quad a_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2}, \quad a_z = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial t^2}. \quad (3.2')$$

Radius-vektorga nisbatan esa

$$\vec{u} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial t}, \quad \vec{a} = \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2}.$$

Harakatning har ikkala koordinat usullari uchun to'la tezlik, to'la tezlanish va yo'naltiruvchi kosinuslar mos ravishda quyidagicha hisoblanadi:

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}, \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2},$$

$$\cos \alpha = \frac{u_x}{u}, \quad \cos \beta = \frac{u_y}{u}, \quad \cos \gamma = \frac{u_z}{u}.$$

x, y, z koordinatalardan va t vaqtdan bog'liq funksiya uchun zarracha traektoriyasi bo'ylab vaqt bo'yicha differensiallash operatorini (hosilani)

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_x \frac{\partial}{\partial x} + u_y \frac{\partial}{\partial y} + u_z \frac{\partial}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \text{grad}). \quad (3.3)$$

kabi kiritamiz, bu yerda (\cdot) belgisi qavs ichidagi miqdorlarning skalyar ko'paytmasini anglatadi. Kiritilgan (3.3) operator to'la yoki individual (ba'zida substansional)

hosila deb ataladi. $\frac{dA(\vec{r}, t)}{dt}$ to'la hosila zarrachadagi A miqdorning vaqt bo'yicha

tezligidir. Shunga ko'ra, to'la yoki substansional hosila lokal ((3.3) operatorning o'ng tarafidagi birinchi qo'shiluvchi) va konvektiv (undagi ikkinchi qo'shiluvchi) hosilalar yig'indisiga teng ekan. Suyuqlik zarrachasi \vec{a} tezlanish vektorining to'g'ri burchakli dekart koordinatalari sistemasi o'qlaridagi (3.2) proeksiyalari yuqoridagi (3.3) formulaga ko'ra quyidagilarga teng:

$$a_x = \frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z},$$

$$a_y = \frac{du_y}{dt} = \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z},$$

$$a_z = \frac{du_z}{dt} = \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

yoki

$$a_x = \frac{\partial u_x}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \text{grad} u_x), \quad a_y = \frac{\partial u_y}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \text{grad} u_y),$$

$$a_z = \frac{\partial u_z}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \text{grad} u_z). \quad (3.4)$$

Bu ifodalardan ko'rinadiki, suyuqlik zarrachasining \vec{a} tezlanishi ikkita tezlanishlar yig'indisiga teng ekan:

$$\vec{a} = \vec{a}_{lok} + \vec{a}_{konv},$$

bu yerda

$$\vec{a}_{lok} = \frac{\partial u_x}{\partial t} \vec{i} + \frac{\partial u_y}{\partial t} \vec{j} + \frac{\partial u_z}{\partial t} \vec{k}$$

-tezliklar maydonining vaqt bo'yicha o'zgarishiga asoslangan lokal tezlanish. Lokal tezlanish jarayonning nostatsionarliligini anglatadi. Bundan kelib chiqadiki, agar harakat statsionar (barqaror) bo'lsa lokal tezlanish bo'lmaydi, ya'ni $\vec{a}_{lok} = 0$ yoki

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial u_y}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial u_z}{\partial t} = 0;$$

$$\vec{a}_{konv} = \left(u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) \vec{i} + \left(u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \vec{j} + \left(u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \vec{k}$$

- tezliklar maydonining bir jinlimasligiga asoslangan konvektiv tezlanish. Bu tezlanish tezliklar maydonining tekis emasligidan, ya'ni tezliklarning tekis taqsimlanmaganligidan kelib chiqadi.

Har ikkala usulda ham x, y, z koordinatalardan foydalaniladi. Ammo Lagranj usulida o'zgaruvchan koordinatalar suyuqlik zarrachalarining harakatini ifodalaydi, Eyler usulida esa bu koordinatalar fazoning fiksirlangan nuqtasidan berilgan vaqtda har xil zarrachalarning o'tishini aniqlaydi.

Langranj usuli bo'yicha suyuqlik harakati qonuniyatini bilgan holda Eyler usuli bo'yicha harakat qonuniyatiga o'tish mumkin. Buning uchun (3.1') tenglamalardan a, b, c Lagrang o'zgaruvchilari orqali x, y, z Eyler o'zgaruvchilari topiladi. Keyin esa (3.2') tenglamalarda Lagranj o'zgaruvchilarini almashtirib, Eyler o'zgaruvchilaridagi tezlik va tezlanish topiladi. Teskaridan o'tish uchun esa (3.1) oddiy differensial tenglamalar sistemasini x, y, z larga nisbatan yechish zarur. Bu sistemaning yechimi x, y, z lar t vaqt va C_1, C_2, C_3 integrallash o'zgarimlarining funksiyalari bo'ladi. Bu o'zgarimlar $t=t_0$ fiksirlangan vaqt momentida topiladi va natijada ular Lagranj o'zgaruvchilari bilan mos tushadi.

Amaliyotda harakat qonuni asosan Eyler o'zgaruvchilarida beriladi, chunki bunda suyuqlik va gaz mexanikasi masalalarining qo'yilishi, har xil nazariy va eksperimental tadqiqotlar natijalarini taqqoslash juda qulay. Lagranj usulini yakka moddiy zarrachalar harakatining fizik qonuniyatlarini ifodalashda qo'llash qulay.

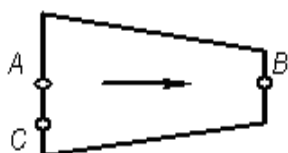
Suyuqlikning statsionar va nostatsionar harakati. Suyuqlikning harakati *statsionar (barqaror) harakat* deb ataladi, agar berilgan nuqtada vaqt o'tishi bilan oqimning asosiy parametrlari (tezlik, bosim, zichlik) o'zgarmasa, ya'ni

$$\vec{u} = f_u(x, y, z); \quad p = f_p(x, y, z); \quad \rho = f_\rho(x, y, z). \quad (3.5)$$

Agar bu shart bajarilmasa va nuqtadagi parametrlar vaqt o'tishi bilan o'zgarib borsa, bunday harakat *nostatsionar (nobarqaror) harakat* deb ataladi, ya'ni

$$\vec{u} = f_u(x, y, z, t); \quad p = f_p(x, y, z, t); \quad \rho = f_\rho(x, y, z, t). \quad (3.6)$$

Bu tuchunchalarda gap nuqtadagi parametrlar to'g'risida borayotganligiga e'tibor berish kerak. Buni tushuntirish uchun 3.1-rasmda tasvirlangan kanalni qaraylik. Hidromexanikada oqim harakati bo'ylab kesim yuzasi kamayib boradigan kanallar *konfuzorlar* deb ataladi.



Bunday kanal yo'li bo'ylab oqim oshib boradi va unda suyuqlik harakati statsionar bo'ladimi? - degan savol tug'iladi. Tabiiyki, bunday bo'lishi uchun A va B nuqtalardagi parametrlar vaqt otishi bilan o'zgarmasligi kerak. Harakat ko'rinishining ta'rifi A, B va C nuqtalardagi parametrlarning bir xil bo'lishini talab

3.1-rasm. Konfuzordagi qilolmaydi. *Diffuzorlardagi* oqim harakati esa 3.1-oqimning sxematik rasmdagi sxemaga aksincha bo‘ladi. tasviri.

Oqim chiziqlari va traektoriya. *Oqim chizig‘i* deb kuzatilayotgan vaqt momentida ixtiyoriy nuqtasiga o‘tkazilgan urinmasining yo‘nalishi uning tezlik vektori yo‘nalishi bilan mos tushadigan egri chiziqqa aytiladi. Bunday geometrik shakl Eyler usuli bo‘yicha harakatni ifodalaydi. Oqim chizig‘i bu fazodagi chiziq (3.2-rasm). Bu bir vaqtda bir qancha A, B, C, \dots zarrachalar shu oqim chizig‘ida harakatlanib bormoqda degani, masalan, temir yo‘l relsi bo‘ylan harakatlanayotgan vagonlar kabi.

Bu shartni vektor shaklida $\vec{u} \times d\vec{S} = 0$ kabi yozish mumkin, ya’ni vektor ko‘paytma nolga teng bo‘lishi lozim. Buni determinant shaklida quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ u_x & u_y & u_z \\ dx & dy & dz \end{vmatrix} = 0 . \quad (3.7)$$

Bu determinantni ochib chiqib, oqim chizig‘ining ushbu

$$\frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y} = \frac{dz}{u_z} \quad (3.8)$$

differensial tenglamasiga ega bo‘lamiz. Bu yerdan

$$\frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y} = \frac{dz}{u_z} = ds ,$$

bunda s - yordamchi o‘zgaruvchi, yoki

$$\frac{dx}{ds} = u_x , \quad \frac{dy}{ds} = u_y , \quad \frac{dz}{ds} = u_z$$

tenglamalar sistemasini yechib, oqim chizig‘ini topamiz. (x_0, y_0, z_0) nuqtadan o‘tuvchi oqim chizig‘ini topish uchun Koshi masalasini oxirgi tenglamalar sistemasi bilan ushbu

$$x|_{s=s_0} = x_0 , \quad y|_{s=s_0} = y_0 , \quad z|_{s=s_0} = z_0$$

boshlang‘ich shartlarda yechish zarur bo‘ladi.

Oqim chizig‘i ba’zi xossalarga ega. Kuzatilayotgan vaqt momentida fazoning bitta nuqtasidan faqat bitta oqim chizig‘i o‘tishi mumkin, yani oqim chiziqlar o‘zaro kesishmaydi, aks holda bitta nuqta har xil tezliklarga ega bo‘lgan bo‘lar edi. Ammo shunday maxsus nuqtalar mavjudki, ularda bu qoida buzilishi mumkin, yani bunday nuqtalarda tezlik nolga teng yoki u cheksiz.

Fazodagi harakatlanayotgan zarrachaning vaqt davomida qoldirgan izi *trayektoriya* deb tushuniladi (3.3-rasm). Bunday geometrik shakl Lagranj usuli bo‘yicha harakatni ifodalaydi. Masalan, doskaga bo‘r bilan chizilgan chiziq bo‘r bo‘lagi harakatining trayektoriyasi, havoda tutuni bilan iz qoldirib harakatlanayotgan samolyot izi bu samolyotning harakat trayektoriyasi va hokazo.

Trayektoriyaning Eyler o‘zgaruvchilaridagi differensial tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y} = \frac{dz}{u_z} = dt. \quad (3.9)$$

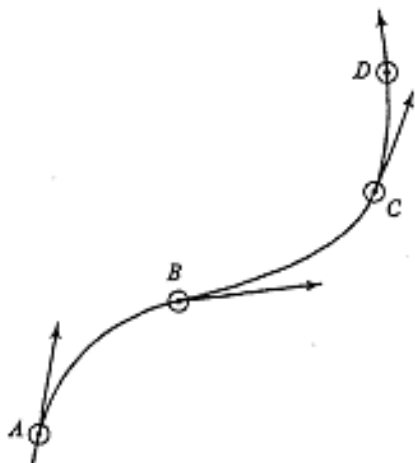
Bu yerdan ushbu

$$\frac{dx}{dt} = u_x, \quad \frac{dy}{dt} = u_y, \quad \frac{dz}{dt} = u_z$$

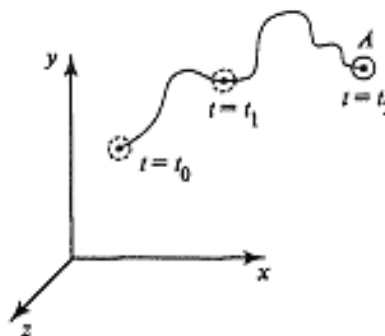
tenglamalar sistemasini yechib, trayektoriya tenglamasini topamiz. Suyuqlik zarrachasining trayektoriyasini topish uchun esa $t = t_0$ da Koshi masalasini oxirgi tenglamalar sistemasi bilan ushbu

$$x|_{t=t_0} = x_0, \quad y|_{t=t_0} = y_0, \quad z|_{t=t_0} = z_0$$

boshlang‘ich shartlarda yechish zarur bo‘ladi.



3.2-rasm. Berilgan vaqt momentida Eyler usuli bo‘yicha oqim chizig‘i.



3.3-rasm. Suyuqlik zarrachasining Lagranj usuli bo‘yicha trayektoriyasi.

Oqim chizigi trayektoriyadan qanday farq qiladi? Trayektoriya - bu bitta zarrachaning har xil vaqt momentlaridagi holatlari to‘plami, oqim chizig‘i esa - bu bitta vaqt momentida har xil zarrachalar joylashgan chiziq. Yana boshqacha aytganda, Lagrang bo‘yicha t vaqt - bu fazodan ajratib olingan bitta zarrachaning harakatini kuzatish vaqti, Eyler bo‘yicha esa t vaqt - bu fazoning doimo har xil zarrachalar o‘tib turgan bitta nuqtasini kuzatish vaqti.

(3.8) va (3.9) tenglamalarni taggoslaganda, umumiy holda, ya’ni nostatsionar harakatda oqim chizig‘i va trayektoriya mos tushmaydi. Suyuqlikning statsionar harakatida esa oqim chiziqlari vaqt bo‘yicha o‘zgarmas bo‘lib, suyuqlik zarrachasining traektoriyasi bilan ustma-ust tushadi.

Suyuqlikning harakati potensial yoki *uyurmasiz* deyiladi, agar vaqtning har bir momentida suyuqlikning to‘la hajmida $\text{rot } \vec{u} = 0$ tenglik bajarilsa. Suyuqlikning statsionar harakatida $\text{rot } \vec{u} = 0$ tenglik uning oqim chiziqlari bo‘ylab o‘rinli bo‘ladi. Shunday qilib, agar oqim chiziqlarining biror nuqtasida uyurma sodir bo‘lmasa, u holda bu uyurma butun shu chiziq bo‘ylab sodir bo‘lmaydi. Agar suyuqlikning harakati nostatsionar bo‘lsa, u holda bu natija shunday farq bilan o‘z kuchida

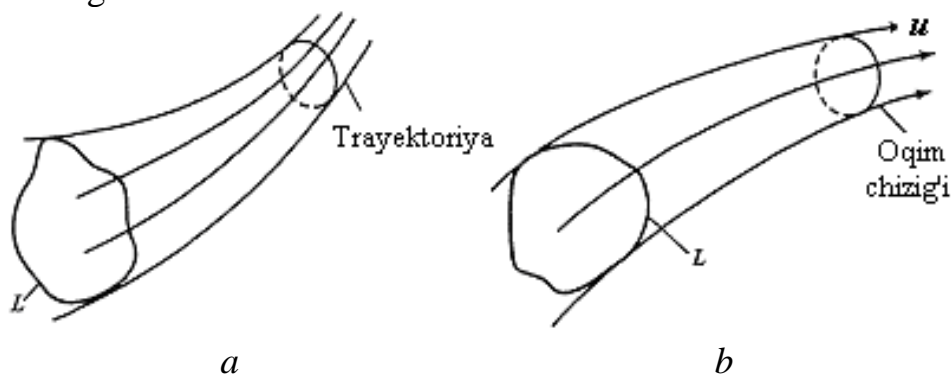
qoladiki, bunda oqim chiziqlari haqida emas, balki vaqt o'tishi bilan suyuqlikning zarrachasi orqali aniqlangan traektoriya haqida gapirish lozim bo'ladi. Shuni eslatamizki, nostatsionar harakatda bu traektoriyalar, umuman olganda, oqim chiziqlari bilan mos tushmaydi.

Agar harakatlanayotgan suyuqlikda tezliklar taqsimoti faqat ikkita, masalan, x va y koordinatalarga bog'liq va barcha nuqtalarda tezlik Oxy tekislikka parallel bo'lsa, u holda bunday oqim *ikki o'lchovli* yoki *tekis oqim* deyiladi. Ikki o'lchovli oqimda suyuqlikning statsionar harakati uchun oqim chiziqlari uchbu

$$\frac{dx}{u_x(x, y, t)} = \frac{dy}{u_y(x, y, t)} = dt \quad \text{yoki} \quad u_y dx - u_x dy = 0 \quad (3.10)$$

differensial tenglamadan topiladi. Bu tenglama *tekis holatdagi oqim chiziqlari tenglamasi* deb atalib, u har bir nuqtada oqim chizig'iga o'tkazilgan urinma yo'nalishidagi tezlik yo'nalishi bilan mos tushishini bildiradi.

Tizillab oqish (struy). **Oqim naychasi (oqim sirti).** Harakatlanayotgan suyuqlikda cheksiz kichik yopiq L konturni belgilaymiz va uning barcha nuqtalari orqali *a*) trayektoriya chiziqlarini o'tkazamiz; hosil qilingan sirt bilan chegaralangan fazo orqali oqish *tizillab oqish (struya)* deb, undan o'tayotgan oqim bo'lagi esa *tizillab oqayotgan suyuqlik* deb ataladi va bu tushunchadan Lagranj usulida foydalaniladi (3.4,*a*-rasm); *b*) oqim chiziqlari o'tkazamiz; hosil qilingan sirt bilan chegaralangan suyuqlik oqimi bo'lagi *oqim naychasi (trubkasi)* yoki *oqim sirti* deb, uning ichidan oqayotgan suyuqlik bo'lagi *sharracha* deb ataladi va bu tushunchadan Eyler usulida foydalaniladi (3.4,*b*-rasm). Tanlangan kontur suyuqlik harakati sodir bo'layotgan fazoda belgilandi, demakki, harakatdagi suyuqlikning qaysidir bir qismi shu oqim sirtining ichidan o'tadi.



3.4-rasm. Tizillab oqish (struya) (*a*) va oqim naychasi (*b*): L – yopiq kontur; chiziqlar – trayektoriyalar (*a*) va oqim chiziqlari (*b*).

Suyuqlikning statsionar harakatida oqim naychasi vaqt bo'yicha o'zgarmaydi va suyuqlik zarrachalari shunday harakat qiladiki, ularning har biri biror belgilangan sharracha ichida qoladi. Boshqacha aytganda, statsionar oqimda tizillab oqish va oqim naychasi ustma-ust tushadi.

Agar oqim chiziqlari yetarlicha kichik tanlansa, u holda oqim naychasining ixtiyoriy ko'ndalang kesimida tezlikni bir jinsli deb hisoblash mumkin. Bunday holda, oqim naychasi bo'ylab $\rho Su = const$ tenglik o'rinli bo'lishini massaning saqlanish qonuni talab qiladi.

Ammo tahlil uchun massaning saqlanish qonunini umumiyroq ifodalovchi tenglama – uzviylik differensial tenglamasi talab qilinadi.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Biror oqimning harakat tenglamalari sistemasi quyidagicha berilgan bo'lsin:

$$x=a+Ut; \quad y=b; \quad z=c.$$

Harakatning xarakterini va uning barcha kinematik parametrlarini aniqlang.

Yechish: Sistema berilishiga ko'ra ixtiyoriy zarrachaning y va z koordinatalari t vaqtga bog'liq emas, shuning uchun berilgan harakat Ox o'qiga parallel. Boshqacha aytganda ixtiyoriy zarrachaning trayektoriyasi Ox o'qiga parallel to'g'ri chiziqdan iborat.

Harakat Lagranj o'zgaruvchilarida berilgan. Tezlik vektorining proeksiyalarini topaylik:

$$u_x = \frac{\partial f_1}{\partial t} = U; \quad u_y = \frac{\partial f_2}{\partial t} = 0; \quad u_z = \frac{\partial f_3}{\partial t} = 0.$$

To'la tezlik: $u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2} = U.$

Harakatning yo'nalishi yo'naltiruvchi kosinuslar bilan aniqlanadi:

$$\cos \alpha = \frac{U}{U} = 1; \quad \cos \beta = \frac{0}{U} = 0; \quad \cos \gamma = \frac{0}{U} = 0.$$

Bu yerdan $\alpha = 0^0; \quad \beta = 90^0, \quad \gamma = 90^0$. Demak, harakat Ox o'qiga parallel ekan.

Tezlanishning tashkil etuvchilarini topaylik:

$$a_x = \frac{\partial^2 f_1}{\partial t^2} = 0; \quad a_y = \frac{\partial^2 f_2}{\partial t^2} = 0; \quad a_z = \frac{\partial^2 f_3}{\partial t^2} = 0.$$

Shunday qilib, harakat tekis ekan.

Bu masala juda ham sodda bo'lib, uning berilishidanoq yuqoridagi xulosalarni chiqarish mumkin edi. Bu yerda masalani yechishning ketma-ketligini ko'rsatish maqsadidagina hisoblashlar keltirildi.

2-masala. Suyuqlikning harakati tezliklari proeksiyalari bilan Eyler o'zgaruvchilarida quyidagicha berilgan:

$$u_x = mx + nt, \quad u_y = -ky + lt, \quad u_z = 0,$$

bunda m, n, k, l - o'zgarmas miqdorlar. Eyler o'zgaruvchilaridan Lagranj o'zgaruvchilariga o'ting va bu yangi o'zgaruvchilarda traektoriya tenglamasini toping.

Yechish: Masalaning shartiga ko'ra ushbu

$$\frac{dx}{dt} = u_x = mx + nt, \tag{1}$$

$$\frac{dy}{dt} = u_y = -ky + lt \tag{2}$$

differential tenglamalarni integrallaymiz.

(1) ni integrallashda

$$x = u(t)v(t) \quad (3)$$

deb belgilash qabul qilamiz. U holda

$$\frac{dx}{dt} = v \frac{du}{dt} + u \frac{dv}{dt}. \quad (4)$$

(4) ni (1) ga qo'yib quyidagini topamiz:

$$v \left(\frac{du}{dt} - mu \right) + u \frac{dv}{dt} - nt = 0. \quad (5)$$

$u(t)$ va $v(t)$ funksiyalardan birini ixtiyoriy tanlash mumkinligidan foydalanib, $u(t)$ funksiyani shunday tanlaymizki,

$$\frac{du}{dt} - mu = 0 \quad (6)$$

bo'lsin. Bunga mos ravishda

$$u \frac{dv}{dt} - nt = 0. \quad (7)$$

(6) tenglamaning yechimi quyidagicha:

$$u = C_1 e^{mt}. \quad (8)$$

(8) ni (7) ga qo'yib, ushbu

$$\frac{dv}{dt} = \frac{n}{C_1} e^{-mt} t \quad (9)$$

tenglamani hosil qilamiz. Buni integrallab esa quyidagi yechimga kelamiz:

$$v = -\frac{n}{C_1 m^2} (mt + 1) e^{-mt} + C_2. \quad (10)$$

(8) va (10) ni (3) ga qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$x = C_3 e^{mt} - \frac{nt}{m} - \frac{n}{m^2}. \quad (11)$$

Xuddi shunday, (2) ni integrallab, quyidagi yechimni topamiz :

$$y = C_4 e^{-kt} + \frac{lt}{k} - \frac{l}{k^2}. \quad (12)$$

C_3 , C_4 - o'zgarmaslarni $t = 0$ deb faraz qilib, boshlangich shartlardan topamiz, ya'ni

$$C_3 = x + \frac{n}{m^2}; \quad C_4 = y + \frac{l}{k^2}. \quad (13)$$

Lagranj usuliga ko'ra traektoriyasi bo'ylab harakati o'rganilayotgan suyuqlik zarrachasining koordinatalari $t=0$ da ma'lum bo'lishi kerak. Bu koordinatalarni

$x = -\frac{n}{m^2}$; $y = -\frac{l}{k^2}$ deb tanlaylik. U holda (13) asosida $C_3 = 0$, $C_4 = 0$ ekanligidan,

izlanayotgan traektoriya uchun quyidagi parametrik tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$x = -\frac{n}{m}t - \frac{n}{m^2}; \quad y = \frac{l}{k}t - \frac{l}{k^2}.$$

Bulardan t vaqtini chiqarib tashlasak, quyidagi to'g'ri chiziqni ifodalovchi traektoriya tenglamasiga kelamiz :

$$y + \frac{lm}{kn}x = -\frac{l}{k}\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{k}\right).$$

3-masala. Tezliklari proeksiyalari quyidagicha berilgan suyuqlikning harakati uchun uning oqim chiziqlari va traektoriyasi tenglamasini toping :

$$u_x = -ay, \quad u_y = ax, \quad u_z = 0,$$

bunda a – biror o'zgarmas miqdor.

Yechish: Ixtiyoriy nuqtasiga o'tkazilgan urinma tezlik vektori yo'nalishi bilan mos tushuvchi egri chiziqning t vaqt momentidagi oqim chiziqlarini topamiz. Ma'lumki, (3.8) – oqim chiziqlarining differensial tenglamalari; fazoda suyuqlik zarrachasining ko'chish egri chizig'i uning traektoriyasi deb ataladi. Bu traektoriyaga o'tkazilgan urinma tezlik vektori bilan mos tushadi. Ammo oqim chizig'idan farqli, traektoriyani fiksirlangan vaqt momentida qurish mumkin. Traektoriya tushunchasi biror vaqt oralig'ida sodir bo'lib, bunda suyuqlik zarrachasi aniq bir yo'lni bosib o'tadi. Bundan kelib chiqadiki, oqim chizig'i ham, traektoriya ham suyuqlikning o'sha bitta zarrachasi harakati izidan iborat va u statsionar oqim bilan mos tushadi.

Tekshirilayotgan harakat tekis (yassi), chunki $u_z = 0$ va statsionar, chunki tezlikning tashkil etuvchilari (u_x va u_y) vaqtga bog'liq emas. Tekis harakatda oqim chizig'ining (3.8) differensial tenglamasi, u_x va u_y larning mos qiymatlari unga qo'yilganda, quyidagicha yoziladi:

$$xdx + ydy = 0.$$

Buni integrallab ushbu

$$x^2 + y^2 = C$$

oqim chizig'i tenglamasiga kelamiz. Bu tenglama bilan ifodalanuvchi egri chiziqlar markazi koordinata boshida bo'lgan konsentrik aylanalar oilasidan iborat. Qaralayotgan oqim statsionar bo'lganligi uchun traektoriyalar oqim chiziqlari bilan ustma-ust tushadi.

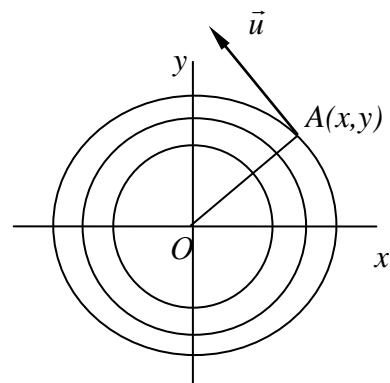
Suyuqlik harakatining yo'nalishini aniqlash uchun tezlik vektori va koordinat o'qlari orasidagi burchaklar kosinuslarini topish zarur bo'ladi :

$$\cos(\vec{u}, x) = \frac{u_x}{u} = -\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}};$$

$$\cos(\vec{u}, y) = \frac{u_y}{u} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

Ma'lumki, musbat qiymatli nuqta uchun

$$\cos(\vec{u}, x) < 0; \quad \cos(\vec{u}, y) > 0$$



3.5-rasm. Suyuqlikning statsionar oqimi uchun oqim chiziqlari.

bo'lsa, u holda tezlik Ox o'q bilan $\frac{\pi}{2}$ dan katta burchak hosil qiladi, demak, harakat soat miliga qarshi yo'nalgan bo'ladi (3.5-rasm).

4-masala. Tezliklari proektsiyalari quyidagicha berilgan suyuqlikning harakati uchun uning oqim chiziqlari va traektoriyasi tenglamasini toping :

$$u_x = x + t, \quad u_y = -y + t, \quad u_z = 0.$$

Yechish: Berilgan harakat qonuniyatiga ko'ra bu suyuqlikning harakati tekis va nostatsionar, chunki tezlikning tashkil etuvchilari (u_x va u_y) ham koordinatadan, ham vaqtga bog'liq. Shuning uchun bu holda traektoriyalar va oqim chiziqlari mos tushmaydi.

Oqim chiziqlarining differensial tenglamasi quyidagiga teng:

$$\frac{dx}{x+t} = \frac{dy}{-y+t}.$$

Bu tenglamani integrallab va bunda t vaqt fiksirlangan ekanligidan

$$(x+t)(y-t) = C,$$

ya'ni oqim chiziqlari har bir vaqt momentida giperbolalar oilasidan iborat.

3.6-rasmda $t=0$ vaqt momentida $A(-1,-1)$ nuqtadan o'tuvchi oqim chizig'i tasvirlangan. Bunga mos keluvchi giperbola tenglamasi quyidagicha: $xy=1$.

Traektoriyani topish uchun quyidagi tenglamani integrallash lozim :

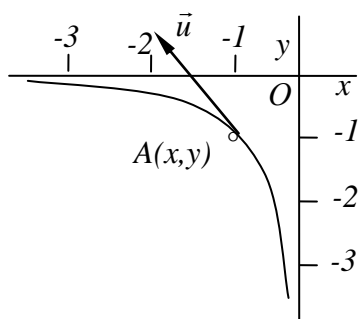
$$\frac{dx}{dt} = x + t; \quad \frac{dy}{dt} = -y + t.$$

Bu tenglamalarni 1-masaladagi kabi integrallash natijasida quyidagi mos yechimlarga kelimiz:

$$x = C_1 e^t - t - 1; \quad y = C_2 e^{-t} + t - 1.$$

Bunda $t=0$ vaqt momentida $A(-1;-1)$ nuqta-dagi suyuqlik zarrachasining chizadigan traekto-riyani topish uchun C_1 va C_2 o'zgarmlarining qiymatlarini topamiz. $t=0$ da yechimga $x=-1$, $y=-1$ ni qo'yib, ulardan t ni yo'qotsak quyidagi traektoriya tenglamasini hosil qilamiz :

$$x+y = -2.$$



3.6 rasm. $t=0$ vaqt momentidagi oqim chizig'i.

Buni $xy=1$ bilan taqqoslasak, nostatsionar harakat uchun oqim chiziqlari va traektoriyalar mos tushmasligini aniqlaymiz.

5-masala. Tezliklari proektsiyalari quyidagicha berilgan suyuqlikning harakati uchun uning oqim chiziqlari va traektoriyasi tenglamasini toping:

$$u_x = \frac{ax}{R^3}, \quad u_y = \frac{ay}{R^3}, \quad u_z = \frac{az}{R^3},$$

bunda a – biror o'zgarmlar miqdori; $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

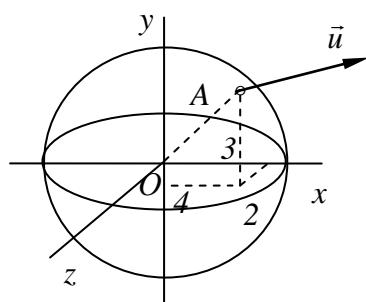
Yechish: Tekshirilayotgan oqish fazoviy va statsionar, chunki parametrlar t vaqtga bog'liq emas. Shuning uchun traektoriyalar va oqim chiziqlari mos tushadi. Oqim chiziqlarining (3.8) differensial tenglamasi quyidagicha:

$$\frac{dx}{x} = \frac{dy}{y} = \frac{dz}{z}.$$

Buni integrallasak,

$$x = Cy, \quad x = C_1z, \quad y = C_2z.$$

Bu tenglamalar sistemasi fazoda koordinatalar boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqlar oilasini beradi. C, C_1, C_2 o'zgarmaslarning qiymatlari oqim chiziqlari (traektoriyalar) o'tuvchi nuqtalar koordinatalaridan topiladi.



3.7-rasm. Fazoviy manba sxemasi.

$A(4; 3; 2)$ nuqta orqali o'tuvchi oqim chizig'ini qaraylik (3.7-rasm). Bu shartlarga ko'ra $C = 4/3; C_1 = 2; C_2 = 3/2$. Bu oqim chizig'ining tenglamasini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$3x - 4y = 0; \quad x - 2z = 0.$$

Oqim chiziqlari koordinatalar boshidan chiquvchi nurlar orqali ifodalanuvchi suyuqlik oqimi ($a > 0$) *manba* deb ataladi.

Oqim chiziqlari koordinata boshiga keluvchi nurlar orqali ifodalanuvchi suyuqlik oqimi ($a < 0$) *manfiy manba* deb ataladi.

Topshiriqlar

1. Quyida berilgan harakat qonuniga ko'ra uning xarakteri va kinematik parametrlarini Eyler va Lagranj o'zgaruvchilarida hisoblang:

- | | |
|--|--|
| 1) $x = at - b, y = c - td, z = e;$ | 4) $x = at - b, y = c - td, z = a - ct;$ |
| 2) $x = -a, y = bt - c, z = d;$ | 5) $x = t - 1, y = t + 1, z = t,$ |
| 3) $x = -at + b, y = c + td, z = -et;$ | |

bunda a, b, c, d, e - biror o'zgarmas miqdorlar.

2. Tezliklari proeksiyalari quyidagicha berilgan suyuqlikning harakati uchun uning oqim chiziqlari va traektoriyasi tenglamasini toping:

- | | |
|---|---|
| 1) $u_x = ax, u_y = ay, u_z = 0;$ | 4) $u_x = y + t, u_y = x + t, u_z = 0;$ |
| 2) $u_x = x + 4y, u_y = 4x + y, u_z = 0;$ | 5) $u_x = x + t, u_y = y + t, u_z = z + t,$ |
| 3) $u_x = ax, u_y = ay, u_z = az;$ | |

bunda a - biror o'zgarmas miqdor.

Sinov savollari

1. Kinematika bo'limi nimani o'rganadi?
2. Harakatni ifodalashning Eyler va Lagranj usullarini tushuntiring.
3. Tezlik va tezlanishning Eyler va Lagranj usullaridagi ifodalarini tushuntiring.
4. Substansional hosila nima?
5. Lokal va konvektiv tezlanish deganda nimani tushunasiz?

6. Suyuqlikning statsionar va nostatsionar harakatini tushuntiring.
7. Konfuzor va diffuzordagi oqimlarni tushuntiring.
8. Oqim chiziqlari, trayektoriya va oqim naychasi nima?
9. Trayektoriya va oqim chizig'i tenglamalarini tushuntiring.
10. Ikki o'lovli oqimni qanday tushunasiz?

3.2. Suyuqlik zarrachasining deformatsiyalanishi

Suyuqlik zarrachasi harakatining turlari. Gelmgoltsning birinchi teoremasi. Suyuqlik zarrachasining harakati qattiq jism harakatiga nisbatan ancha murakkab bo'lib, mexanika kursidan ma'lumki, u ilgarilanma va aylanma bo'lishi mumkin. Suyuqlik va uning zarrachalarining alohida xususiyati - ularning hajmini saqlagan holda, o'z shaklini o'zgartirib, osongina deformatsiyalanuvchanligida. Shuning uchun suyuqlik zarrachasi bir vaqtda ilgarilanma va aylanma harakatdan tashqari deformatsion harakatga ham ega bo'lishi mumkin. Demakki, tezlik ham mos ravishda ilgarilanma ($\vec{u}_{ilg.}$), aylanma ($\vec{u}_{ayl.}$) va sof deformatsion ($\vec{u}_{def.}$) harakatdagi tezliklar yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$\vec{u} = \vec{u}_{ilg.} + \vec{u}_{ayl.} + \vec{u}_{def.},$$

bunda $\vec{u}_{ilg.} = \vec{u}(\vec{r}_0) = \vec{u}_0(x, y, z)$ - qutb tezligi; $\vec{u}_{ayl.} = \vec{\omega} \times \vec{\rho}$ - «qattiqlashgan» suyuqlik zarrachasining $\vec{\omega}$ - burchak tezlik bilan aylanma harakatidagi tezligi; $\vec{u}_{def.} = grad F$ - sof deformatsion tezlik; \vec{r}_0 - qutb nuqtasining radius-vektori; $\vec{\rho}$ - zarrachaning aylanish o'qiga nisbatan radius-vektori; F - deformatsiyalar tezliklari tenzori elementlariga nisbatan kvadratik funksiya.

Bu holat *Gelmgoltsning birinchi teoremasi* ma'nosini tashkil qiladi. Quyida ana shu teoremani tushuntiramiz va asoslaymiz.

To'g'ri burchakli parallelepiped shaklidagi suyuqlik zarrachasini qaraylik (3.6-rasm). Uning qirralari uzunliklari mos ravishda dx , dy , dz bo'lsinlar. Bunday suyuqlik zarrachasining deformatsiyasi *chiziqli* (qirra cho'ziladi yoki qisqaradi) hamda *burchak* (qirralar siljiydi) *deformatsiyalari* bo'lishi mumkin.

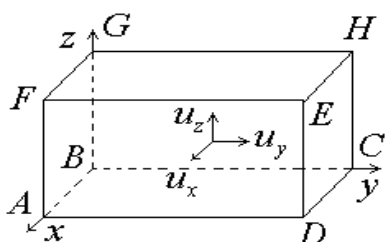
Bu hollarning har birini alohida qarash maqsadga muvofiq. Avvalo burchak deformatsiyalarni qarab chiqaylik.

Burchak deformatsiyalar (siljish deformatsiyalari). 3.8-rasmdan ko'rinadiki, burchak deformatsiyasi o'zaro perpendikulyar qirralar tezliklarining o'zaro farqidan kelib chiqadi. Buni yanada soddaroq holda tushunish uchun 3.9-rasmda tasvirlangan bitta qirra misolida ko'raylik.

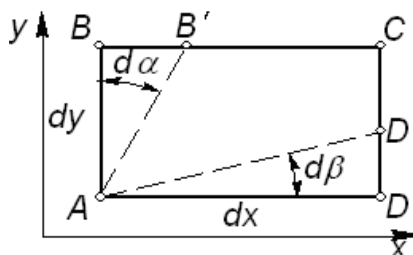
Faraz qilaylik, A nuqtadagi tezlik komponentalari u_x , u_y , u_z larga teng bo'lsin. Harakatni statsionar deb hisoblab B nuqtadagi tezlikni topamiz va o'z navbatida, t vaqt bo'yicha barcha hosilalar nolga tengligini ta'kidlaymiz. Fazoning bir nuqtasidan ikkinchi bir nuqtasiga o'tishda tezlik komponentalarining orttirmasini $u+du$ kabi ifodalash mumkin. Xususan, u_x proeksiya uchun

$$du_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} dx + \frac{\partial u_x}{\partial y} dy + \frac{\partial u_x}{\partial z} dz$$

ekanligidan $u_x + du_x$ deb yozamiz. Xuddi shunday boshqa proeksiyalarni ham yozish mumkin.



3.8-rasm. Eyer bo'yicha differensial kuzatuv hajmi.



3.9-rasm. Suyuqlik zarrachasi yoqining burchak deformatsiyasi.

A nuqtadan B nuqtaga o'tishdagi u_x orttirmani qaraylik. Bu holda $dx=dz=0$, ya'ni

$$u_{x(B)} = u_{x(A)} + du_x = u_{x(A)} + \frac{\partial u_x}{\partial y} dy.$$

Faraz qilaylik, A va B nuqtalardagi tezliklar farqi hisobiga dt vaqt ichida bu qirra AB' holatni egallasin.

Xuddi shunday A va D nuqtalar uchun u_y tezlikka nisbatan fiksirlasak, quyidagiga ega bo'lamiz:

A nuqtada: u_y (shartga ko'ra).

$$D \text{ nuqtada: } u_{y(D)} = u_{y(A)} + \frac{\partial u_y}{\partial x} dx.$$

Bu tezliklar farqi hisobiga D nuqta D' holatni egallaydi. Shunday qilib,

$$u_{x(B)} - u_{x(A)} = \frac{\partial u_x}{\partial y} dy, \quad u_{y(D)} - u_{y(A)} = \frac{\partial u_y}{\partial x} dx.$$

Faraz qilaylik, B nuqtaning dt vaqt birligi ichida B' holatga o'tishi siljish miqdorini bersin va uni quyidagicha topish mumkin:

$$BB' = \frac{\partial u_x}{\partial y} dy dt$$

Burchak deformatsiya $d\alpha$ burchak tangensi bilan xarakterlanadi. Bunda $AB=dy$ deb olsak,

$$\text{tg}(d\alpha) = \frac{BB'}{AB} = \frac{\partial u_x}{\partial y} dt \approx d\alpha.$$

$d\alpha$ burchakning kichik ekanligidan $\text{tg}(d\alpha) \approx d\alpha$ deb hisoblash mumkin. Xuddi shunday,

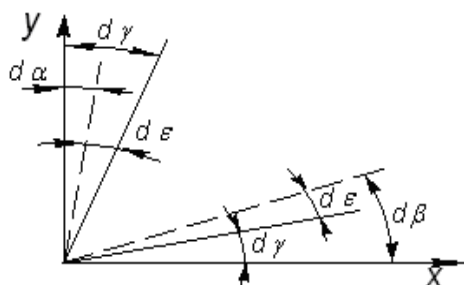
$$\text{tg}(d\beta) = \frac{DD'}{AD} = \frac{\partial u_y}{\partial x} dt \approx d\beta.$$

Dastlabki A nuqtaning to'la siljishi quyidagi yig'indi bilan ifodalanadi:

$$d\alpha + d\beta = \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) dt. \quad (3.11)$$

Bu yerda eng muhim bo'lgan bir holatga e'tibor bermoq lozim: girraning qaralayotgan ko'chishi nafaqat deformatsiya natijasida, balki zarrachaning aylanishi natijasida ham paydo bo'ladi. Haqiqatan ham, agar qirra aylanmasdan deformatsiyalanganda edi, har ikkala qirra bir biriga qarab bir xil burchakka burilgan bo'lar edi. Aksincha, agar faqat aylanish sodir bo'lganda edi, u holda qirra aylanish yo'nalishida bir hil burchakka burilgan bo'lar edi. Natijada elementning umumiy holdagi harakatini deformatsion va aylanma harakatlar yig'indisi deb qarash mumkin. Bulardan esa $d\alpha$ va $d\beta$ aniqlanadi.

Aylanish soat strelkasiga qarama-qarshi sodir bo'lmoqda deb, A to'g'ri burchakning deformatsiyasini qaraylik. Sof deformatsion harakatni $d\gamma$ burchak bilan, sof aylanma harakatni esa $d\varepsilon$ burchak bilan xarakterlaylik.



3.10-rasm. Suyuqlik zarrachasi qirrasining aylanma harakatidagi buralishi.

3.8-rasmdan kelib chiqadiki,

$$d\alpha = d\gamma - d\varepsilon, \quad d\beta = d\gamma + d\varepsilon$$

yoki ularning yigindisidan

$$d\alpha + d\beta = 2d\gamma,$$

bu yerdan esa

$$d\gamma = \frac{1}{2}(d\alpha + d\beta). \quad (3.12)$$

Xuddi shunday ayirmadan

$$d\varepsilon = \frac{1}{2}(d\beta - d\alpha). \quad (3.13)$$

Shunday qilib, deformatsiya burchaklar yig'indisining yarmi bilan, aylanish esa ular ayirmasining yarmi bilan ifodalanadi. (3.11) ni e'tiborga olsak, u holda

$$d\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) dt. \quad (3.14)$$

Oz o'q atrofida paydo bo'ladigan sof deformatsion burchak tezlik:

$$\gamma_z = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right). \quad (3.15)$$

Xuddi shunday, Oy va Ox o'qlar uchun:

$$\gamma_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right); \quad (3.16)$$

$$\gamma_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right). \quad (3.17)$$

Ushbu $\frac{d\varepsilon}{dt} = \omega$ ifoda suyuqlik zarrachasining aylanma burchak tezligidir.

Burchak tezligining proeksiyalari esa quyidagilar:

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right); \quad (3.18)$$

$$\omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right); \quad (3.19)$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right). \quad (3.20)$$

Olingan (3.18) - (3.20) munosabatlar suyuqliklar mexanikasida juda muhim ahamiyatga ega. Ular suyuqlik zarrachalarining burchak va ilgari lanma tezliklari orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. Ishoralar bu yerda shartli ravishda qabul qilingan. Suyuqliklar mexanikasida soat strelkasiga qarama-qashi harakat musbat, soat strelkasi bo'yicha harakat esa manfiy deb qabul qilingan.

Burchak tezlik vektorining biror o'qqa nisbatan proeksiyasini shu o'qqa nisbatan suyuqlik zarrachasining aylanish burchak tezligi deb qarash mumkin.

Burchak tezlikning vektor shakli quyidagicha yoziladi:

$$\vec{\omega} = \omega_x \vec{e}_x + \omega_y \vec{e}_y + \omega_z \vec{e}_z. \quad (3.21)$$

Bunda ω_x , ω_y va ω_z larni (3.18)-(3.20) dagi mos ifodalari bilan almashtirsak,

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \vec{e}_x + \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \vec{e}_y + \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \vec{e}_z \right] \quad (3.22)$$

Kvadrat qavs ichidagi ifodani rotor formulasi bilan taqqoslasak, quyidagini yozamiz:

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \text{rot } \vec{u} \quad (3.23)$$

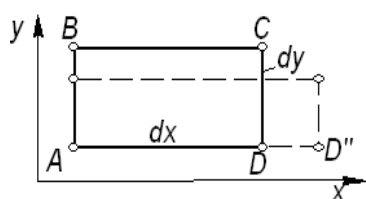
yoki

$$\vec{\Omega} = \text{rot } \vec{u} = 2\vec{\omega}, \quad (3.24)$$

bunda $\vec{\Omega}$ - *uyurma tezligi vektori* deb ataladi. Suyuqlik uchun tezlik uyurmasi vektorining proeksiyalari ikkilangan burchak tezliklar bo'lib, qattiqlashgan suyuqlik zarrachasining mos koordinat o'qlariga parallel o'qlar atrofida aylanishini bildiradi.

(3.24) formula vektor maydoni uyurmasi (rotori)ning gidromexanik ma'nosini beradi. Agar \vec{u} oniy tezliklar maydonini ifodalasa, u holda $\text{rot } \vec{u}$ shu maydondagi suyuqlik zarrachalarining ikkilangan burchak tezliklarini ifodalaydi.

Chiziqli deformatsiyalar. 3.11-rasmdan ko'rinib turibdiki, zarracha-ning chiziqli deformatsiyalari qirra yo'nalishi bilan mos tezliklar farqi natijasidan kelib chiqadi. Avvalgidek, A nuqtada tezlik komponentalari u_x , u_y , u_z bo'lsin.



Ox o'q bo'ylab:

A nuqtada: $u_{x(A)}$;

3.11-rasm. Suyuqlik zarrachasi yoqining chiziqli deformatsiyalanishi.

$$D \text{ nuqtada: } u_{x(D)} = u_{x(A)} + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx ;$$

$$AD \text{ qirraning cho'zilishidagi tezliklar farqi: } \frac{\partial u_x}{\partial x} dx ;$$

dt vaqt ichida DD'' qirraning cho'zilishi:

$$DD'' = \frac{\partial u_x}{\partial x} dx dt . \quad (3.25)$$

Nisbiy cho'zilish:

$$\frac{DD''}{AD} = \frac{\partial u_x}{\partial x} dt = d\varepsilon_x . \quad (3.26)$$

Nisbiy cho'zilish tezligi:

$$\frac{d\varepsilon_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} = \dot{\varepsilon}_x . \quad (3.27)$$

Xuddi shunday, boshqa o'qlar uchun:

$$\dot{\varepsilon}_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} ; \quad \dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial u_z}{\partial z} .$$

Agar bu jarayon barcha o'qlar bo'ylab bir vaqtda sodir bo'lsa, u holda bu suyuqlik zarrachasining hajmiy kengayishiga yoki hajmiy siqilishiga olib keladi.

Hajmiy deformatsiya cho'zilish yoki siqilish hisobiga parallelepiped dastlabki hajmi $dV = dx dy dz$ ning $\delta V = \delta V_x + \delta V_y + \delta V_z$ miqdorga o'zgarishiga olib keladi.

Bunda $\delta V_x = DD'' dy dz$ va (3.25) ni hisobga olsak, $\delta V_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} dV dt$.

$$\text{Xuddi shunday, } \delta V_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} dV dt, \quad \delta V_z = \frac{\partial u_z}{\partial z} dV dt .$$

$$\text{Sunday qilib, } \delta V = \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) dV dt .$$

Nisbiy hajmiy deformatsiya tezligi deb hajm o'zgarishining dastlabki hajm va deformatsiya tezligiga nisbatini olamiz:

$$\frac{\delta V}{dV dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = \varepsilon_V = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \text{div } \vec{u} .$$

Agar $\text{div } \vec{u} = 0$ bo'lsa, u holda $\delta V = 0$, ya'ni suyuqlik zarrachasining deformatsiyasi uning hajmi o'zgarmasdan sodir bo'ladi. Divergensiya nolga tengligining gidromexanik ma'nosi ham shundan iborat edi. Bu holda suyuqlik siqilmaydigan suyuqlik bo'ladi.

Suyuqlik zarrachasining yuqorida olingan ilgarilanma va aylanma tezliklari orasidagi bog'lanish munosabatlarini ma'lum bir qiziqish uyg'otuvchi boshqa bir yo'l bilan ham olish mumkin edi. Bitta savolga javobni har xil yo'llar bilan chiqarish

tushunchalarni boyitishga imkon beradi. Shuning uchun bu usulni ham qarab chiqamiz.

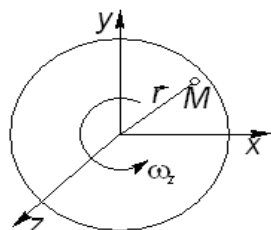
Faraz qilaylik, suyuqlik zarrachasi Oz o'q atrofida ω_z tezlik bilan aylanayotgan bo'lsin (3.12-rasm).

Bizga ma'lum bo'lgan rotor uchun ifodani koordinat o'qlariga nisbatan proeksiyalarda yozamiz:

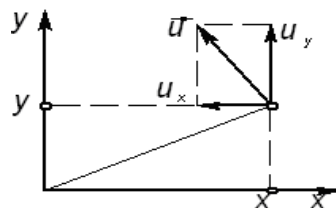
$$\text{rot}_x \vec{u} = \frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z}, \quad \text{rot}_y \vec{u} = \frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x}, \quad \text{rot}_z \vec{u} = \frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y}.$$

Suyuqlik zarrachasining biror M nuqtasini qaraylik (3.13-rasm). Bu zarrachaning chiziqli tezligi $\vec{u} = \vec{\omega}_z \times \vec{r}$ ga teng. Bu ifodani tezlikning koordinat o'qlaridagi proeksiyalari orqali yozamiz: $u_x = -\omega_z y$; $u_y = \omega_z x$; $u_z = 0$. Bu yerdan esa

$$\frac{\partial u_y}{\partial x} = \omega_z; \quad \frac{\partial u_x}{\partial y} = -\omega_z. \quad \text{Bularga ko'ra } \text{rot}_z \vec{u} = \frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} = 2\omega_z.$$



3.12-rasm. Aylanma tezlikning sxematik tasviri.



3.13-rasm. Suyuqlik nuqtasining tekislikdagi harakati tezligi sxemasi.

Xuddi shunday, boshqa ikkita komponentalar uchun $\text{rot}_x \vec{u} = 2\omega_x$; $\text{rot}_y \vec{u} = 2\omega_y$. Vektor shaklida yozsak, ushbu

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \text{rot } \vec{u}$$

formula (3.23) formula bilan to'la mos tushadi.

Agar harakatda $\text{rot } \vec{u} \neq 0$ bo'lsa, u holda bu uyurmali harakat, va aksincha $\text{rot } \vec{u} = 0$ bo'lganda esa u uyurmasiz yoki potensial harakat deb ataladi. Bundan kelib chiqadiki, agar harakat uyurmali bo'lsa, u holda suyuqlik zarrachasining aylanma harakati sodir bo'ladi.

Shunday qilib, deformatsion harakat uchta chiziqli deformatsiyalar tezliklari ($\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$) va uchta siljish deformatsiyalari ($\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$) orqali ifodalanadi. Ana shu oltita mos keluvchi oltita komponentalar orqali ifodalanuvchi $V_{i,j}^S$ - simmetrik tenzor *deformatsiyalar tezliklari tenzori* deb ataladi. $V_{i,j}$ tenzorni ikkita $V_{i,j}^S$ - simmetrik va $V_{i,j}^A$ - antisimmetrik tenzorlarga ajratish quyidagi fizik ma'noni beradi: bu bilan biz harakarni deformatsion harakat (aylanishsiz) va kvaziqattiq aylanishli (deformatsiyasiz) harakatlarga ajratgan bo'lamiz:

$$V_{ij}^s = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) & \frac{\partial u_y}{\partial y} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) & \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{pmatrix},$$

$$V_{ij}^A = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) & 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) & 0 \end{pmatrix}.$$

Gelmgoltsning birinchi teoremasi quyidagicha talqin qilinadi: suyuqlik elementar hajmining ixtiyoriy harakatini qaralayotgan vaqt momentida ikkita harakat: a) kvaziqattiq, yani tanlangan qutb bilan ilgarilanma va qutb atrovidagi aylanma harakatlardan tashkil topgan, va b) deformatsion harakatlar natijasining yig'indisi deb qarash mumkin.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala: Suyuqlikning oqimidagi tezliklar yassi maydoni $\vec{u} = (u_x, u_y) = (x-1, t+1)$ uchun quyidagilarni aniqlang: a) oqimning $t = 0$ vaqt momentida $A(1;1)$ nuqtadan o'tuvchi oqim chiziqlarini va traektoriyalarini hamda tezlanishlar maydonini toping; b) deformatsiyalar tezliklari tenzorini toping. c) tezliklar maydoni uyurmali mi?

Yechish: a) Berilganlarga ko'ra

$$u_x = \frac{dx}{dt} = x-1, \quad u_y = \frac{dy}{dt} = t+1$$

ekanligidan bu differensial tenglamalar sistemasining umumiy yechimi

$$x = C_1 e^t + 1, \quad y = \frac{t^2}{2} + t + C_2,$$

kabi, bu yerda C_1, C_2 - integrallash o'zgarmlari bo'lib, oqim chizig'ining $A(1,1)$ nuqtadan o'tish shartidan topiladi:

$$C_1 = 0, \quad C_2 = 1.$$

Shunga ko'ra izlanayotgan yechim

$$x = 1, \quad y = \frac{t^2}{2} + t + 1$$

ekanligi kelib chiqadi. Bu yechim suyuqlik zarrachalarining harakat trayektoriyasi tenglamalaridir.

Tekshirilayotgan oqim tekis va nostatsionar, chunki parametrlar t vaqtdan bog'liq. Shuning uchun traektoriyalar va oqim chiziqlari mos tushmaydi. Oqim chiziqlarining (3.8) differensial tenglamasi quyidagicha:

$$\frac{dx}{x-1} = \frac{dy}{t+1}.$$

Bu tenglamani integrallab va bunda t vaqt fiksirlangan ekanligidan

$$(1-x)(1+t) = C,$$

yani oqim chiziqlari har bir vaqt momentida giperbolalar oilasidan iborat.

$t=0$ vaqt momentida $A(1,1)$ nuqtadan o'tuvchi oqim chizig'i tenglamasi: $x=1$.

Muhitning tezlanishlar maydonini topish uchun ushbu

$$a_x = \frac{du_x}{dt} = \frac{d(x-1)}{dt} = \frac{dx}{dt} = u_x = x-1, \quad a_y = \frac{du_y}{dt} = \frac{d(t+1)}{dt} = 1$$

hisoblashlarni bajarib, tezlanish uchun ushbu $\vec{a} = (x-1, 1)$ natijaga kelimiz.

b) Deformatsiyalar tezliklari tenzorining komponentalarini hisoblash formulalari

$$\dot{\varepsilon}_x = \frac{\partial u_x}{\partial x}; \quad \dot{\varepsilon}_y = \frac{\partial u_y}{\partial y}; \quad \dot{\gamma}_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right)$$

kabi ekanligidan ushbu

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = 1; \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0; \quad \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) = 0$$

hisob natijalari topiladi. Shularga ko'ra deformatsiyalar tezliklari tenzorining quyidagicha ekanligi kelib chiqadi.

$$T_{\dot{\varepsilon}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

c) Harakatning uyurmali yoki potensial ekanligini bilishimiz uchun $\text{rot } \vec{u}$ ning qiymatini tekshiramiz. Harakat tekis bo'lganligi uchun $\omega_x = 0$ va $\omega_y = 0$ ekanligidan:

$$\text{rot } \vec{u} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \vec{k} = 0 - 0 = 0,$$

demak harakat potensial (uyurmasiz) ekan. Harakat potensial bo'lganligi uchun oqim chiziqlari harakat traektoriyasi bilan ustma-ust tushadi.

Topshiriqlar

Harakat tezlikning tashkil etuvchilari tenglamalari bilan quyidagicha berilgan:

$$1) \quad u_x = -4y, \quad u_y = -4x, \quad u_z = 0;$$

- 2) $u_x = x + y + t$, $u_y = x - y - t$, $u_z = 0$;
- 3) $u_x = -x$, $u_y = -y$, $u_z = x + y$;
- 4) $u_x = x - y + t$, $u_y = y - x + t$, $u_z = x + y + z + t$.
- 5) $u_x = x - 4y$, $u_y = -4x - y$, $u_z = 0$.

Tezlikning bu tashkil etuvchilari uchun deformatsiya tezliklari tenzorini tuzing. Tezlik vektorining rotorini, uning yoʻnalishini va burchak tezlik vektorini toping.

Sinov savollari

1. Suyuqlik zarrachasi harakati turlarini tushuntiring.
2. Burchak deformatsiya nima?
3. Chiziqli deformatsiyalarni tushuntiring.
4. Burchak tezlik vektorini tushuntiring.

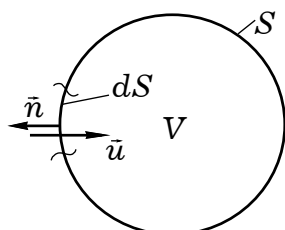
3.3. Uzviylik tenglamasi

Uzviylik tenglamasi tabiatning suyuq muhitga qoʻllaniladigan fundamental qonunlaridan birini - massaning saqlanish qonunini ifodalaydi.

Uzviylik tenglamasini chiqarishda, xuddi suyuqlik harakati dinamikasini ifodalovchi differensial tenglama kabi, har xil, qoʻzgʻalmas yoki suyuqlik bilan birgalikda harakat qiluvchi koordinatalar sistemalaridan foydalanish mumkin. Bu ikkala koordinat qoidalarini mos ravishda Eyler va Lagranj usullaridir. Tenglamani chiqarishda kichik (differensial) yoki makroskopik (integral) kuzatuv hajmini tanlash mumkin. Biz quyida Eyler va Lagranj differensial usullarini oʻquvchiga amaliyot mashqlarida mustaqil oʻrganish uchun havola qilgan holda *Eylerning integral usuli* bilan uzviylik tenglamasini chiqaramiz.

S sirt bilan chegaralangan V hajmni qaraylik (3.14-rasm). S sirtning dS elementini ajratamiz. Faraz qilaylik, \vec{n} - tashqi normalning birlik vektori, \vec{u} - tezlik vektori boʻlsin.

Ajratib olingan dS element orqali vaqt birligi ichida hajm ichiga $-\rho\vec{u} \cdot \vec{n}dS$ miqdordagi suyuqlik massasi oqib kiradi, bunda manfiy ishora \vec{n} va \vec{u} vektorlarning qarama-qarshi yoʻnalganligidan olingan. Butun yopiq sirt boʻylab hajmga kirib kelgan sekundlik massa miqdori quyidagiga



3.14-rasm. Suyuqlik zarrachasining sxematik tasviri.

teng: $-\iint_S \rho\vec{u} \cdot \vec{n}dS$. Boshqa tarafdin esa, hajmga oqib

kirgan suyuqlik uning massasini oʻzgartiradi. Bunda ajratib olingan hajm oʻzgarmas, u holda massaning oʻzgarishi faqatgina zichlikning oʻzgarishi hisobigagina sodir boʻladi. Massaning oʻzgarish tezligini quyidagicha ifodalaymiz:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho dV \quad \text{yoki} \quad V = \text{const} \quad \text{ekanligini e'tiborga olsak,}$$

$$\iiint_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV.$$

Ma'lumki, hajm ichidagi massaning o'zgarishi unga tashqaridan kirgan massaga teng bo'lishi kerak, ya'ni

$$\iiint_V \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \iint_S \rho \vec{u} \cdot \vec{n} dS.$$

Gauss-Ostrogradskiy almashtirishini qo'llab, sirt bo'yicha olingan integralni hajm bo'yicha olingan integralga almashtirsak, ushbu

$$\iiint_V \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \iiint_V \operatorname{div}(\rho \vec{u}) dV \quad \text{yoki} \quad \iiint_V \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{u}) \right] dV = 0$$

tenglikka ega bo'lamiz. Bu integralning nolga tengligi faqatgina ushbu

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad \text{yoki} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{u}) = 0 \quad (3.28)$$

tenglik bajarilgandagina o'rinli bo'ladi. Bu tenglama *uzviylik tenglamasi* deb ataladi. Bu tenglamani chiqarishda hech bir cheklanishlar olinmadi, shuning uchun u siqiluvchan va siqilmaydigan suyuqliklarning statsionar va nostatsionar harakati uchun o'rinli. (3.28) tenglama suyuqliklar mexanikasining fundamental tenglamalaridan biri hisoblanadi. Shunday qilib, massaning saqlanish qonuniga ko'ra biror V hajmdagi massaning o'zgarish tezligi shu V hajmni o'rab turuvchi S sirtini kesib o'tuvchi massa oqimiga teng bo'lishi kerak ekan.

Oxirgi tenglamada $\operatorname{div}(\rho \vec{u})$ ifodani ochib chiqsak, uzviylik tenglamasini quyidagicha ham yozish mumkin:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \operatorname{div} \vec{u} + \vec{u} \operatorname{grad} \rho = 0. \quad (3.29)$$

Suyuqlik oqimining tezliklari zichligi deb $\vec{j} = \rho \vec{u}$ vektorga aytiladi. Bu vektorning yo'nalishi suyuqlik harakatining yo'nalishi bilan mos tushadi, uning absolyit qiymati tezlik vektorika perpendikulyar joylashgan yuza birligi orqali vaqt birligida oqib o'tadigan suyuqlik miqdorini anglatadi.

Yuqoridagi (3.28) tenglamani Lagranj nuqtai nazaridan yozamiz. Bunda harakatdagi sistema bilan bog'langan koordinatalar sistemasida vaqt bo'yicha olingan hosila

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{u} \nabla$$

ekanligini e'tiborga olsak, uzviylik tenglamasi quyidagicha yoziladi :

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \operatorname{div} \vec{u} = 0 \quad \text{yoki} \quad \frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla \vec{u} = 0. \quad (3.30)$$

Uzviylik differensial tenglamasini chiqarishda alohida olingan suyuqlik zarrachalarining harakati qaraladi. Bunday tadqiqot usulini gidrodinamikaga Lagranj kiritgan. Birinchi bo'lib Eyler tomonidan kiritilgan boshqa tadqiqot usulida esa alohida zarrachalarning holati emas, balki fazodagi fiksirlangan nuqtada suyuqlik parametrlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi qaraladi. Eyler usuli ko'p hollarda Lagranj

usuliga ko‘ra qulayroq, ayniqsa gidrodinamika va gazlar dinamikasida undan ko‘proq foydalaniladi.

Ba’zi xususiy hollarni qaraylik:

- statsionar harakatda vaqt bo‘yicha barcha hosilalar nolga teng, bu shu tushunchaning ta’rifidan kelib chiqadi. Shunga ko‘ra

$$\operatorname{div}(\rho \vec{u}) = 0. \quad (3.31)$$

- agar harakat statsionar va suyuqlik siqilmaydigan, ya’ni $\rho = \text{const}$ bo‘lsa, u holda

$$\operatorname{div} \vec{u} = 0. \quad (3.32)$$

Yuqoridagi (3.32) tenglamani dekart koordinata o‘qlaridagi proeksiyalarda yozsak (divergensiya formulasiga qarang),

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0. \quad (3.33)$$

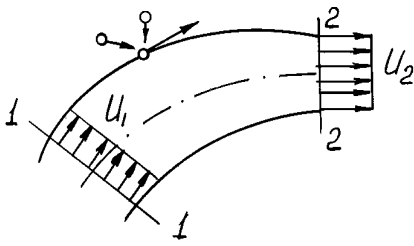
Bu munosabatning mexanik ma’nosini beraylik. Ushbu $\frac{\partial u_x}{\partial x}$, $\frac{\partial u_y}{\partial y}$, $\frac{\partial u_z}{\partial z}$ xususiy

hosilalar suyuqlik zarrachasining nisbiy cho‘zilish (siqilish) tezligini ifodalaydi. Agar bu jarayon barcha koordinat o‘qlari bo‘ylab bir vaqtda sodir bo‘lsa, u holda suyuqlik zarrachasining hajmiy kengayishi yoki siqilishiga olib keladi. Ma’lumki, agar suyuqlik zarrachasi x va y o‘qlar bo‘ylab cho‘zilsa, u holda u albatta z o‘qi bo‘ylab siqiladi. Boshqacha aytganda, (3.33) tenglamaga kirgan hosilalardan hech bo‘lmaganda bittasi manfiy bo‘lishi lozim, chunki boshqa holda bu munosabat nolga teng bo‘lmaydi.

Agar qaralayotgan maydonda $\operatorname{div} \vec{u} = 0$ bo‘lsa, u holda u *solenoidal maydon* deb ataladi.

Oqimning sharrachali modeli. Oqimning sharrachali modeli L.Eyler tomonidan kiritilgan. Bu modelning asosini sharracha (yoki elementar sharracha) haqidagi tushuncha tashkil qiladiki, bunda oqim naychasining ichidan oqayotgan suyuqlik tushuniladi. Avval ta’kidlagan edikki, oqim naychasining yon sirti chegarasi oqim chiziqlaridan iborat, ya’ni zarrachalar tezliklari vektori urinma bo‘lgan chiziqlar shu naychada yotadi, u holda hech bir zarracha tashqaridan sharracha ichiga shu sirt orqali kirmaydi va aksincha, hech biri tashqariga undan chiqmaydi. Haqiqatan ham, agar, masalan, tashqaridan sharracha ichiga kirmoqchi bo‘lgan zarrachalarning tezlik vektori uning chegarasiga qandaydir burchak ostida yo‘nalgan bo‘lishi kerak, chegaraning o‘zida, ya’ni oqim chizig‘ida u urinma yo‘nalishida bo‘lishi kerak (3.15-rasm).

Aytilganlardan shunday xulosa chiqadiki, sharracha o‘zini hech narsa o‘tkazmaydigan devorli naycha kabi tutadi.



3.15-rasm. Elementar sharrachadagi oqimning sxematik tasviri.

Ta'kidlaymizki, tezliklarning kesimda tekis taqsimlanganligi, ya'ni undagi zarrachalarning bir xil tezlik bilan harakatlanayotganligi boshqa kesimlarda ham xuddi shunday tezliklar ekanligini bildirmaydi, ya'ni $u_1 = u_2$ bo'lishi shart emas (3.15-rasm).

Chekli o'lchovli kanalning ko'ndalang kesimini to'ldiruvchi sharrachalar to'plami oqimni tashkil etadi. Misol uchun, qamishni sharracha desak, ularning bir bog'i oqim bo'ladi.

Sharracha uchun uzviylik tenglamasi. Sharrachaning birinchi xossasi shuni bildiradiki, yon sirti zarrachalarni o'zkazmaydi, bu o'z navbatida sekundlik massaning saqlanish qonunini ifodalaydi. Haqiqatan ham, agar 1-1 kesim orqali birlik vaqt ichida dm_1 massa kirgan bo'lsa, u holda shu vaqt birligi ichida 2-2 kesimdan dm_1 ga teng bo'lgan dm_2 massa chiqib ketadi (3.15-rasm). Vaqt birligi ichida sharracha ko'ndalang kesimidan oqib o'tayotgan suyuqlik massasi elementar massa sarfi deb ataladi va dQ_m kabi belgilanadi.

Osongina ishonch hosil qilish mumkinki, $dQ_m = \rho u dA$, bunda dA – sharracha ko'ndalang kesimi yuzasi. Haqiqatan ham, bu munosabatga kiruvchi barcha parametrlarni fizik miqdorlarning birliklari orqali ifodalaylik: $\frac{kg}{m^3} \frac{m}{s} m^2 \rightarrow \frac{kg}{s}$.

Yuqorida aytilganlardan kelib chiqadiki,

$$\rho_1 u_1 dA_1 = \rho_2 u_2 dA_2. \quad (3.34)$$

Bu tenglama *sharracha uchun uzviylik tenglamasi* deb ataladi. Agar suyuqlik siqilmaydigan bo'lsa, ya'ni $\rho = const$, u holda $\rho_1 = \rho_2$ va $u dA$ ko'paytma elementar hajmiy sarfni (dQ) ifodalaydi, ya'ni:

$$u_1 dA_1 = u_2 dA_2. \quad (3.35)$$

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Tekis (yassi) siqilmaydigan oqimda tezlikning tashkil etuvchilari $u_x = x - 4y$, $u_y = -y - 4x$ tenglamalar bilan berilgan. Tezlikning bu tashkil etuvchilari uzviylik tenglamasini qanoatlantiradimi?

Yechish: Masala shartiga ko‘ra siqilmaydigan suyuqlik uchun uzviylik tenglamasi $\operatorname{div} \vec{u} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0$ ko‘rinishda bo‘lganligi uchun berilgashlardan

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = 1 ; \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} = -1 \text{ ekanligini topamiz. Bulardan foydalanib } \operatorname{div} \vec{u} = 1 - 1 = 0$$

tenglikka ega bo‘lamiz. Demak, masala shartida berilgan yassi siqilmaydigan oqimdagi tezlik vektorining tashkil etuvchilari uzviylik tenglamasini qanoatlantiradi.

2-masala: Suyuqlikning oqimidagi tezliklar yassi maydoni $\vec{u} = (u_x, u_y) = (x-1, t+1)$ uchun uzviylik tenglamasini tekshiring.

Yechish: Deformatsiyalar tezliklari tenzorining komponentalarini hisoblash formulalari

$$\dot{\varepsilon}_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} ; \quad \dot{\varepsilon}_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} ; \quad \dot{\gamma}_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right)$$

ekanligidan

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = 1 ; \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0 ; \quad \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) = 0$$

kabi hisob natijalari topiladi.

Endi suyuqlikning siqiluvchanligini tekshirish uchun $\operatorname{div} \vec{u}$ ning qiymatini tekshiramiz:

$$\operatorname{div} \vec{u} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 1 - 0 = 1 \neq 0 ,$$

demak tekshirilayotgan muhit siqiluvchan ekan.

3-masala. Eylarning differensial usulidan foydalanib, Dekart koordinatalari sistemasida uzviylik tenglamasini chiqaring.

Yechish: To‘g‘ri burchakli koordinatalar sistemasida dastlabki shakli tomonlarining uzunliklari dx, dy, dz bo‘lgan to‘g‘ri burchakli parallelepiped shaklidagi suyuqlik zarrachasini qaraylik (3.8-rasm). Deformatsiyalanuvchi qattiq jismdan farqli, suyuqlik zarrachasi harakati davomida kuchli deformatsiyalanishi mumkin. Vaqt o‘tishi bilan bu zarra-chaning yoqlari qiyyshayishi (3.9-rasm) va cho‘zilishi (3.11-rasm) mumkin.

Avvalo, $ABCD$ yoqini qaraylik (3.8-rasm). Shu yoq orqali hajm elementi ichiga yo‘nalgan suyuqlik massasi sarfi shu yoq yuzasi $dx dy$ bilan zichlikning o‘rtacha qiymati va Oz o‘q bo‘ylab yo‘nalgan tezlik ko‘paytmasiga teng: $\rho u_z dx dy$. Massaning o‘rtacha oqishi shu yoqning markazidagi qiymat bo‘yicha hisoblanadi:

$$\rho u_z - \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} \frac{dz}{2} .$$

Shuning uchun $ABCD$ yoq orqali hajm elementi ichiga massaning kelish tezligi quyidagiga teng:

$$\left(\rho u_z - \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} \frac{dz}{2} \right) dx dy .$$

$EFGH$ yoq orqali massaning chiqish tezligi esa

$$\left(\rho u_z + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} \frac{dz}{2} \right) dx dy.$$

Xuddi shunday, $ABCD$ va $EFGH$ yoqlar orqali massaning kelishini hamda $CDEH$ va $CBGH$ yoqlar orqali massaning chiqishi uchun mos ifodalarni yozish mumkin.

Hajm elementi ichida massaning o'zgarish tezligi quyidagiga teng:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho dx dy dz) = \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz.$$

Massaning saqlanish qonunini qo'llab, ya'ni massalar kelish tezligining yig'indisidan massalar ketish tezligi yig'indisining ayirmasi massaning o'zgarish tezligiga teng:

$$\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} = - \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

yoki vektor shaklida yozsak,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{u}) = 0.$$

Bu tenglama *suyuqlik va gaz mexanikasining uzviylik tenglamasi* deyiladi.

4-masala. Lagranjning differensial usulidan foydalanib, Dekart koordinatalari sistemasida uzviylik tenglamasini chiqaring.

Yechish: Suyuqlik zarrachasi massasining o'zgarmaslik sharti quyidagicha yozilishi mumkin:

$$M = \rho V = const.$$

Bu yerda suyuqlik zichligi ρ deb zarracha ΔM massasining uning ΔV hajmiga limit nisbatini tushunamiz :

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V} = \frac{dM}{dV}.$$

Bu yerda ΔV hajmning nolga intilishi deganda uning biror ichki nuqtasigacha siqilib borishi tushuniladi.

$M = \rho V = const$ tenglamaning ikkala tarafini ham vaqt bo'yicha differensiallab va natijani M miqdorga bo'lib, ushbu

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = 0$$

tenglikni hosil qilamiz. Bu yerda

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = \text{div } \vec{u} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

miqdor suyuqlik zarrachasi hajmining nisbiy o'zgarish tezligi deyiladi. Shunga ko'ra quyidagi uzviylik tenglamasiga kelamiz:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \text{div } \vec{u} = 0$$

Suyuqlik zichligidan vaqt bo'yicha to'la differensial ifodasini xususiy hosilalar bilan almashtirib va $\text{div } \vec{u}$ ning ifodasidan foydalanib, ushbu

$$-\rho \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + u_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + u_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + u_z \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

tenglamani olamiz. Differensiallash qoidasidan foydalanib, bu siqiluvchan muhit uchun uzviylik tenglamasini quyidagicha yozamiz:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} = 0$$

yoki bu tenglamani vektor shaklida yozsak,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0.$$

Uzviylikning bunday tenglamasini chiqarishda suyuqlikning alohida zarrachasi harakati qaraldi. Suyuqlik va gaz mexanikasida bunday izlanish usulini Lagranj kiritgan.

5-masala. Eyler usulidan foydalanib, silindrik koordinatalari sistemasida uzviylik tenglamasini chiqaring.

Yechish: Koordinatalari r, θ, z bo'lgan ixtiyoriy A nuqta atrofida hajmi $rd\theta dr dz$ ga teng fiksirlangan cheksiz kichik hajm ajratib olamiz (3.16-rasm).

Massaning saqlanish qonuni-ga ko'ra biror vaqt oralig'ida shu hajmdan chiqayotgan suyuqlik miqdori bilan unga kirayotgan suyuqlik miqdori orasidagi farq ajratib olingan hajm ichidagi massaning o'zgarishiga teng.

Vaqt birligi ichida $ABCD$ yoq orqali elementar hajmga kirayotgan suyuqlik miqdori $\rho u_z rd\theta dr$ ga teng, qarama-qarshi

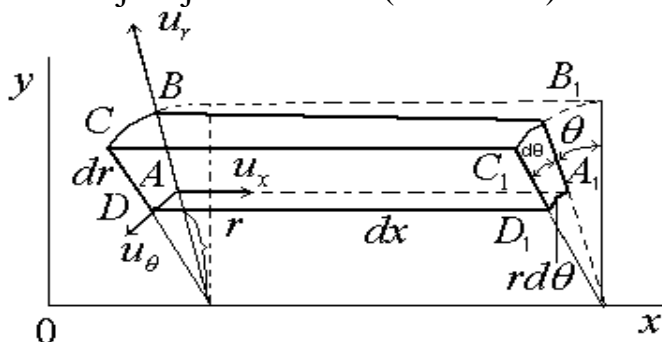
$A_1B_1C_1D_1$ yoq orqali chiqayotgan suyuqlik miqdori esa

$$\rho u_z r dr d\theta + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z r dr d\theta) dz = \left[\rho u_z r + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z r) dz \right] dr d\theta$$

ga teng. Bu miqdorlar orasidagi farq quyidagicha: $\frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z r) dz dr d\theta$.

AA_1D_1D va BB_1C_1C yoqlar orqali Or o'q yo'nalishida oqayotgan suyuqlik miqdori mos ravishda $\rho u_r rd\theta$ va $\left[\rho u_r r + \frac{\partial}{\partial r}(\rho u_r r) dr \right] dz d\theta$ ga teng, ular orasidagi

farq esa $\frac{\partial}{\partial r}(\rho u_r r) dr dz d\theta$.



3.16-rasm. Silindrik koordinatalar sistemasida uzviylik tenglamasini chiqarish uchun sxema.

Xuddi shunday, ABB_1A_1 va DCC_1D_1 yoqlar orqali oqayotgan suyuqlik miqdori mos ravishda $\rho u_\theta dzdr$ va $\left[\rho u_\theta + \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho u_\theta) d\theta \right] dzdr$ ga teng, ular orasidagi farq esa $\frac{\partial}{\partial \theta}(\rho u_\theta) d\theta dzdr$.

Olingan uchta ifodani yig'ib, ajratib olingan hajmdagi suyuqlik massasining o'zgarishi ifodasini hosil qilamiz:

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z r) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho u_r r) + \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho u_\theta) \right\} d\theta dr dz.$$

Ammo ajratilgan hajmdagi suyuqlikning vaqt birligi ichidagi massasi quyidagiga teng:

$$-\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right) r dz dr d\theta.$$

Oxirgi ikkita ifodalarni tenglashtirib, silindrik koordinatalari sistemasidagi uzviylik tenglamasini hosil qilamiz:

$$r \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z r) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho u_r r) + \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho u_\theta) = 0.$$

Xususan, qutb koordinatalari sistemasida uzviylik tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$r \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(\rho u_r r) + \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho u_\theta) = 0.$$

Topshiriqlar

1. Harakat quyidagicha tezlikning tashkil etuvchilari tenglamalari bilan berilgan:

- 1) $u_x = -4y$, $u_y = -4x$, $u_z = 0$;
- 2) $u_x = x + y + t$, $u_y = x - y - t$, $u_z = 0$;
- 3) $u_x = -x$, $u_y = -y$, $u_z = 0$;
- 4) $u_x = x - y + t$, $u_y = y - x + t$, $u_z = 0$.
- 5) $u_x = x - 4y$, $u_y = -4x - y$, $u_z = 0$.

Tezlikning bu tashkil etuvchilari uzviylik tenglamasini qanoatlantiradimi?

2. Eyler usulidan foydalanib, sferik koordinatalari sistemasida quyidagi uzviylik tenglamasini chiqaring:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r}(\rho u_r r^2) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho u_\theta \sin \theta) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \phi}(\rho u_\phi) = 0.$$

Sinov savollari

1. Uzviylik tenglamasi nima? Uzviylik tenglamasi uchun Eylerning va Lagranjning differensial ta'riflarini hamda Eylerning integral ta'rifini bering. Solenoidal maydon nima?

2. Tutash muhit chekli hajmining asosiy fizik-mexanik xarakteristikalarini tushuntiring. Oqimning sharrachali modeli nima?
3. Sharracha uchun uzviylik tenglamasini tushuntiring.

3.4. Suyuqlikning uyurmali harakati

Uyurmali harakat tabiatda ham har xil turdagi texnik qurilmalarda ham keng tarqalgan. Shuning uchun uning qonuniyatlarini o'rganish amaliy ahamiyatga ega. Suyuqlik zarrachasining aylanma harakati *tezlik uyurmasi* bilan xarakterlanadi:

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \text{rot } \vec{u}. \quad (3.36)$$

Bu shuni bildiradiki, fazoning har bir nuqtasida suyuqlik zarrachasining aylanishi shu vektor bilan ifodalanishi mumkin. Bu $\vec{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ vektorning moduli quyidagiga teng:

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2} \quad (3.37)$$

$\vec{\Omega} = \text{rot } \vec{u} = 2\vec{\omega}$ vektor o'zining berilish nuqtasida *suyuqlik oqimining uyurmali harakati* deyiladi. $\text{rot } \vec{u} \neq 0$ shartda harakat *uyurmali harakat* deb, $\text{rot } \vec{u} = 0$ shartda esa *harakat uyurmasiz* yoki *potensial harakat* deb ataladi.

Uyurmali harakat kinematikasi. Uyurmali harakat uchun kinematika tushunchalarini kinematikaning umumiy tushunchalaridan foydalanib chiqarish mumkin. Uyurmali harakat kinematikasining asosini tashkil qiluvchi uyurma chiziqlari tushunchasi xuddi oqim chiziqlari tushunchalari kabi kiritiladi.

Chiziq uyurma chizig'i deb ataladi, agar vaqtning har bir momentida tezlik uyurmasi vektorining yo'nalishi har bir nuqtaga o'tkazilgan urinma bilan mos tushsa (3.17-rasm).

Boshqacha aytganda, *uyurma chizig'i* – bu suyuqlik zarrachalarining aylanish oniy o'qi bo'lib, ayni paytda zarracha shu o'q ustida turgan bo'ladi. Uyurma chizig'ining differensial tenglamasi oqim chizig'ining differensial tenglamasi kabi yoziladi:

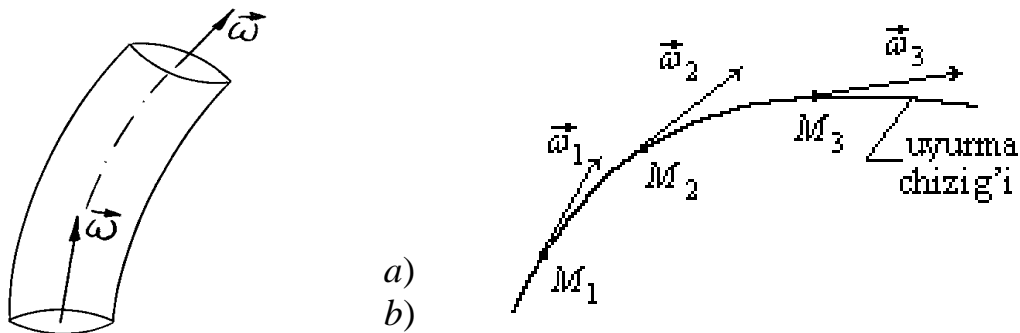
$$\frac{dx}{\omega_x} = \frac{dy}{\omega_y} = \frac{dz}{\omega_z}. \quad (3.38)$$

Bu tenglama $d\vec{r}$ - uyurma chizig'i elementi va $\vec{\Omega}$ vektorlarning kolleniarlik shartidan kelib chiqadi.

Uyurma sirti cheksiz kichik yopiq konturning barcha nuqtalari orqali o'tkazilgan uyurma chiziqlaridan tuzilgan.

Uyurma naychasi – bu yopiq kontur orqali o'tuvchi uyurma sirti bilan chegaralangan va suyuqlik bilan to'ldirilgan fazo bo'lagi.

Uyurma chizig'i va uyurma naychasi oqim chizig'i va oqim naychasiga (oqim sirtiga) o'xshash.



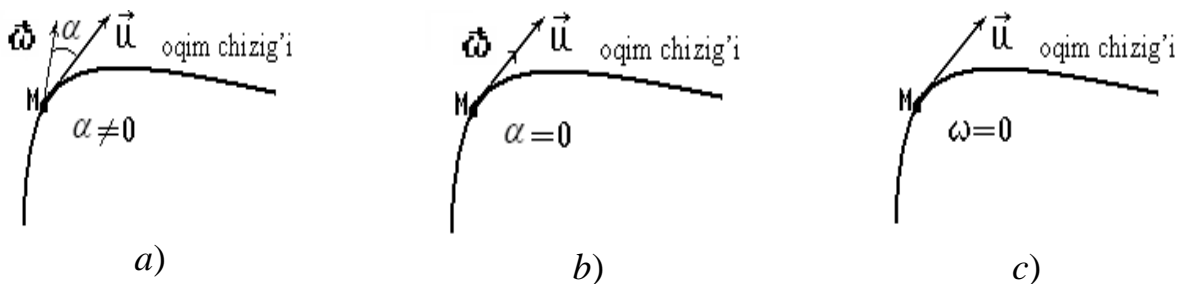
3.17-rasm. Uyurma naychasi (a) va uyurma chizig'i (b) ning sxematik tasviri.

Uyurma ipi – bu, xuddi sharracha kabi, kichik (yoki cheksiz kichik) konturli yurma naychasiga o‘ralgan suyuqlikdir. Agar uyurma naychasi chekli o‘lchamlarga ega bo‘lsa, u holda uni to‘ldirib turgan va aylanma harakatda bo‘lgan suyuqlik zarrachalari to‘plami *uyurma shnuri* deb ataladi. Uyurma shnuri haqidagi tushuncha elementar sharracha haqidagi tushunchaga mos keladi.

Shunday qilib, harakatning eng muhim ikki ko‘rinishi mavjud: *uyurmali harakat va potensial harakat*. Ularning har biri ham statsionar va ham nostatsionar bo‘lishlari mumkin.

Harakat uyurmali bo‘lishi uchun $\vec{\omega} \neq 0$, ya’ni uyurma vektorining hech bo‘lmaganda bitta komponentasi noldan farqli bo‘lishi kerak (3.18,a-rasm).

Vintli harakat deb $\vec{\omega}$ burchak tezlik vektorining \vec{u} ilgarilanma tezlik vektorini yo‘nalishi bilan mos tushgan holga aytiladi (3.18,b-rasm). $\omega = 0$, yani $\omega_x = \omega_y = \omega_z = 0$ bo‘lgan holda harakat *potensial harakat* deyiladi (3.18,c-rasm).



3.18-rasm. Harakat turlari uchun sxema: a) uyurmali harakatning umumiy holi; b) vintli harakat; c) potensial harakat.

Uyurma intensivligi (kuchlanishi). Gelmgoltsning ikkinchi teoremasi. Uyurma intensivligi tushunchasi yetarlicha abstrakt tushuncha va sof matematik tushunchalar bilan kiritiladi. Eslatib o‘tamizki, *vektor maydonning oqimi* deb quyidagi integralga aytiladi:

$$\iint_A \vec{u} \cdot \vec{n} dA \quad (3.39)$$

Ma’lumki, uyurma tezligi (rotori) vektor, u holda \vec{u} o‘rniga $\text{rot } \vec{u}$ ni qo‘yish mumkin, bu o‘z navbatida bizni uyurma intensivligi tushunchasiga olib keladi, ya’ni *uyurma intensivligi* – bu uyurma vektorlari oqimidir:

$$i = \iint_A \text{rot } \vec{u} \cdot \vec{n} dA. \quad (3.40)$$

Boshqacha yozuv shaklidan ham foydalanish mumkin:

$$\text{rot } \vec{u} \cdot \vec{n} = \text{rot}_n \vec{u},$$

bu yerda $\text{rot } \vec{u}$ skalyar miqdor bo'lib, $\text{rot } \vec{u}$ vektorining \vec{n} vektor yo'nalishiga proyeksiyalari yig'indisidan iborat. U holda

$$i = \iint_A \text{rot}_n \vec{u} dA. \quad (3.41)$$

Bu yerda $2\vec{\omega} = \text{rot } \vec{u}$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$i = 2 \iint_A \vec{\omega} \cdot \vec{n} dA = 2 \iint_A \omega_n dA. \quad (3.42)$$

Bunda Gauss-Ostrogradskiy formulasidan foydalanib, sirt integralidan hajm integraliga o'tsak,

$$i = 2 \iint_A \omega_n dA = 2 \iiint_V \text{div } \vec{\omega} dV = 2 \iiint_V \left(\frac{\partial \omega_x}{\partial x} + \frac{\partial \omega_y}{\partial y} + \frac{\partial \omega_z}{\partial z} \right) dV.$$

Uyurma vektorining komponentalarini ushbu

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right); \quad \omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right); \quad \omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right)$$

ifodalardan topish mumkinligini e'tiborga olib, oxirgi tenglikdagi integral ostidagi ifodani ochib chiqamiz:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial y \partial x} - \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z \partial y} - \frac{\partial^2 u_z}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial z} - \frac{\partial^2 u_x}{\partial y \partial z} \right) = 0.$$

Natijada quyidagiga kelamiz:

$$\iint_A \omega_n dA = 0. \quad (3.43)$$

Bu tenglik ixtiyoriy yopiq sirt uchun elementar yuza orqali o'tayotgan $\vec{\omega}$ vektor oqimlari (sarflar) yig'indisi nolga teng ekanligini bildiradi. Ta'kidlaymizki, bu tenglama tuzilishiga ko'ra uzviylik tenglamasini eslatadi.

Ushbu (3.43) tenglamaga uyurma shnurini qo'llaymiz (3.17-rasm).

Yon sirtida $\omega_n \equiv 0$ tenglik o'rinli, chunki $\vec{\omega}$ vektor sirtga o'tkazilgan urinma bo'ylab yo'nalgan. Shuning uchun quyidagilarni yozamiz:

$$-\iint_{A_1} \omega_{n1} dA_1 + \iint_{A_2} \omega_{n2} dA_2 = 0; \quad \iint_{A_1} \omega_{n1} dA_1 = \iint_{A_2} \omega_{n2} dA_2,$$

bu yerda A_1, A_2 - uyurma naychasi bo'lagi chetlarining kesimlari yuzasi; ω_{n1}, ω_{n2} - shu kesimlardagi mos uyurmalar miqdori.

Agar kesim doirasida $\omega_n = \text{const}$ deb faraz qilinsa, u holda

$$\omega_{n1} A_1 = \omega_{n2} A_2. \quad (3.44)$$

Uyurma kuchlanishi deb ushbu

$$j = \omega A$$

ko'paytmaga aytiladi, bunda ω - uyurma (vektor) kattaligi; A – uyurma naychasining ko'ndalang kesim yuzasi. Bu tushuncha

$$dQ = \vec{u}S$$

elementar sarf tushunchasi bilan yaqin, bunda sarf tenglamasi \vec{u} vektorning oqim naychasi ko'ndalang kesimi yuzasi S ga ko'paytmasi bilan ifodalangan.

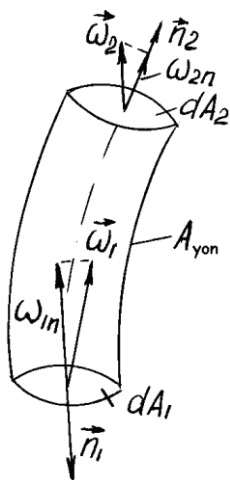
Umumiy holda

$$j = \omega A = \text{const}, \quad (3.45)$$

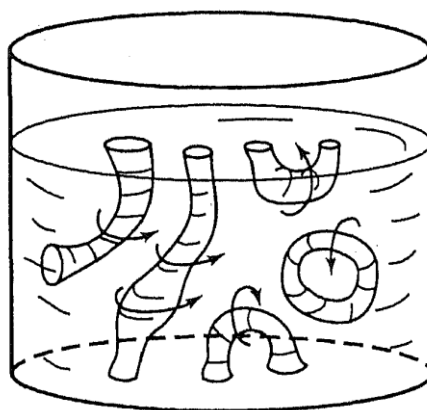
ya'ni bu o'ziga xos «uzviylik tenglamasi». Olingan natija *uyurma kuchlanishi haqidagi Gelmgolts ikkinchi teoremasi* (yoki *uyurma intensivligining o'zgarmasligi haqidagi teorema*) deb ataladi va u quyidagicha talqin qilinadi: uyurma shnurining intensivligi yoki uyurma kuchlanishi barcha uyurma naychalari bo'ylab o'zgarmas bo'lib qoladi. Yuqoridagi (3.45) ifodadan, G. Gelmgolts tomonidan 1855 yilda kiritilgan, boshqa bir muhim xulosa kelib chiqadi: ωA ko'paytma o'zgarmas bo'lib qolayotganligi uchun shnur kesimi yuzasining kamayishi suyuqlik zarrachasi aylanishi burchak tezligining oshishiga olib kelmog'i lozim. Aynan $A = 0$, $\omega = \infty$ bo'lishi umuman mumkin emas. Demak, uyurma suyuqlikdan qalinroq bo'lib paydo bo'lishi yoki tugashi mumkin emas (3.19-rasm).

Gelmgolts ikkinchi teoremasining natijasi: uyurma naychasi qattiq chegaraga yoki erkin sirtga borib taqaladi yoki uyurma halqasini tashkil qiladi (3.20-rasm).

Uyurma intensivligi tushunchasini kiritish, albatta, juda muhim ahamiyatga ega, ammo bu miqdorni to'g'ridan to'g'ri eksperimentlar yordamida aniqlash ma'lum bir qiyinchiliklarni tug'diradi. Bundan tash-qari, agar bu tushunchani chekli o'lchamli uyurmalariga tadbiiq qilsak, u holda xuddi o'rtacha tezlik kabi o'rtacha burchak tezlik tushunchasini ham kiritish lozim bo'ladi va bu sof matematik xarakterdagi qiyinchiliklarga olib keladi. Shuning uchun, amaliyotda undanda qulayroq bo'lgan boshqa bir usul qo'llaniladi. Bu tushuncha tezlik sirkulyatsiyasi deb ataladi.



3.19-rasm. Uyurma sirti va uyurma intensivligining o'zgarmasligi haqidagi teorema isboti uchun sxema.



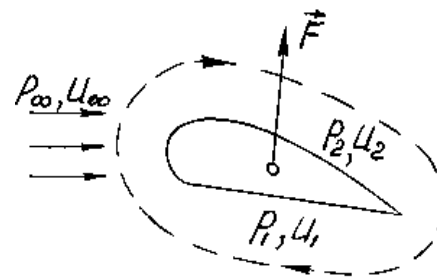
3.20-rasm. Suyuqlikda yurma naychalari sxemasi.

Tezlik sirkulyatsiyasi. Tezlik sirkulyatsiyasi tushunchasini sof matematik iboralarda emas, balki soddaroq va tushunarli fizik iboralar yordamida bayon qilish foydali. Gaz (havo) oqimida turgan qanot profilini qaraylik. Ma'lumki, bunday holda

qanotga uni ko‘taruvchi kuch ta’sir qiladi (3.21-rasm). Bu kuchning fizik jihatdan mavjudligini quyidagicha asoslash mumkin: profil ostidagi p_1 bosim eng katta, profil ustidagi p_2 bosim esa undan biror masofa uzoqlikdagi p_∞ bosimdan kichik bo‘ladi. Bu shuni tasdiqlaydiki, qanot profili ostida $u_1 < u_\infty$, uning ustida esa $u_2 > u_\infty$, bunda u_∞ - qo‘zgalmagan oqimdagi tezlik.

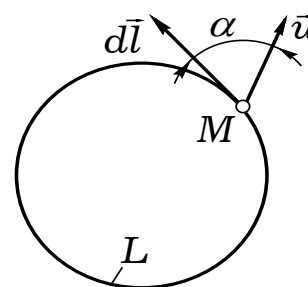
Endi u_1 va u_2 tezliklardan u_∞ ni ayirib tashlaylik, ya’ni $u_1 - u_\infty$ va $u_2 - u_\infty$. Bu amallar qo‘zg‘alish oqimi, ya’ni ichiga boshqa bir jinsli jism kiritilgan oqim harakati tushunchasiga olib keladi, yana boshqacha aytganda, bu ichiga qanot profili kiritilgan oqimning reaksiyasidir.

Endi qo‘zg‘alish oqimlari yo‘nalishini aniqlaylik. Profil ostida $u_1 < u_\infty$ va $u_2 > u_\infty$ tezlikka qarama-qarshi yo‘nalgan, profil ustida esa aksincha. Natijada, 3.21-rasmda tasvirlangandek, soat strelkasi yo‘nalishidagi sirkulyatsion oqim paydo bo‘ladi. Bu oqimni miqdor jihatidan ifodalaylik. Shu maqsadda yopiq kontur bo‘ylab tezlik sirkulyatsiyasi tushunchasi kiritiladi.



3.21-rasm. Gaz oqimidagi qanotli profil.

Biror yopiq L konturni qaraylik (3.22-rasm). Faraz qilaylik, uning ixtiyoriy M nuqtasida tezlik \vec{u} bo‘lsin. Ushbu $\vec{u} \cdot d\vec{l}$ skalyar ko‘paytmani tuzaylik, bunda $d\vec{l}$ - konturning aylanib o‘tish tomoniga o‘tkazilgan urinma bo‘yicha yo‘nalgan va yoyning yo‘naltirilgan vektor elementi bo‘lib, uning son qiymati konturning elementar bo‘lagi uzunligiga teng.



3.22-rasm. Yopiq kontur nuqtasining tezligi.

Yopiq L kontur bo‘ylab olingan ushbu

$$\Gamma = \oint_L \vec{u} \cdot d\vec{l} \quad (3.46)$$

egri chiziqli integral shu kontur bo‘ylab *tezlik sirkulyatsiyasi* deb ataladi.

Yuqoridagi (3.46) munosabatning tuzilishiga e’tibor beraylik. Bu ishning ifodasiga o‘xshash qilib tuzilgan, shuning uchun ba’zida sirkulyatsiya – bu tezlik vektori «ishi» deb ham ataladi. $\vec{u}(u_x, u_y, u_z)$ va $d\vec{l}(dx, dy, dz)$ larni e’tiborga olib, skalyar ko‘paytma qoidasidan foydalanib, quyidagiga ega bo‘lamiz:

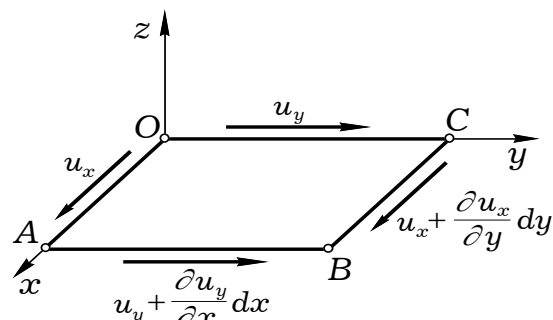
$$\Gamma = \oint_L (u_x dx + u_y dy + u_z dz). \quad (3.47)$$

Tekis oqim uchun:

$$\Gamma = \oint_L (u_x dx + u_y dy). \quad (3.48)$$

Bundan avvalgi mavzu oxirida sirkulyatsiya tushunchasi uyurma intensivligi tushunchasiga qaraganda qulayroq deb aytgan edik. Haqiqatan ham, (3.47) dan ko'rinadiki, sirkulyatsiyani topish uchun tezlik proeksiyasini topish yetarli. Ammo sirkulyatsiya va uyurma intensivligi o'rtasida bog'lanish ifodasi mavjudmi, degan savol tug'iladi. Bu savolga quyidagi Stoks teoremasi javob beradi.

Stoks teoremasi. Harakatlana-yotgan suyuqlikda uyurmali maydonni qaraylik va unda tomonlari dx va dy bo'lgan kichkina yopiq kontur ajrataylik (3.23-rasm). Faraz qilaylik, koordinata boshida tezliklar u_x va u_y bo'lsin. Bu kontur bo'ylab elementar sirkulyatsiya uchun ifodani, uni ikki o'lchovli oqimda deb, quyidagicha yozamiz:



3.23-rasm. Tekis yuzadagi elementar sirkulyatsiya uchun tezliklar maydonining sxematik tasviri.

$$d\Gamma = u_x dx + u_y dy.$$

$OABC$ konturni qaraylik. Agar OA yo'l bo'ylab tezlik u_x bo'lsa, u holda CB yo'l boylab uning orttirmasi $\frac{\partial u_x}{\partial y} dy$ ga teng bo'ladi. Xuddi shunday, AB yo'l bo'ylab u_y

tezlik orttirmasi $\frac{\partial u_y}{\partial x} dx$ ga teng. Bu tezlikning to'la differensial ifodasidan kelib chiqadi, masalan,

$$du = \frac{\partial u_x}{\partial x} dx + \frac{\partial u_x}{\partial y} dy.$$

Endi yuqoridagilardan foydalanib, $OABCO$ kontur bo'ylab elementar sirkulyatsiya ifodasini yozamiz:

$$d\Gamma = u_x dx + \left(u_y + \frac{\partial u_y}{\partial x} dx \right) dy - \left(u_x + \frac{\partial u_x}{\partial y} dy \right) dx - u_y dy.$$

Bunda qavslarni ochib, mos qisqartirishlarni bajarib, quyidagini olamiz:

$$d\Gamma = \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) dx dy = 2\omega_z dS,$$

bunda S – yopiq L kontur bilan o'ralgan sirt yuzasi.

Bundan kelib chiqadiki, cheksiz kichik yopiq kontur bo'ylab sirkulyatsiya shu konturdan oqib kirgan uyurma intensivligiga teng.

Bu xulosani ixtiyoriy chekli o'lchamli egri chiziq uchun umumlashtirish mumkin.

Shunday qilib,

$$\Gamma = 2 \iint_S \omega_n dS = i. \quad (3.49)$$

Bu *Stoks formulasi* bo'lib, ixtiyoriy kontur bo'ylab sirkulyatsiya shu konturga tortilgan sirt orqali hajm ichiga kirgan uyurmalar intensivligi (kuchlanishi) yug'indisiga teng.

Tomson teoremasi. Tezlik sirkulyatsiyasining saqlanish qonuni. Stoks teoremasi bo'yicha (3.49) ni (3.36) ga ko'ra quyidagicha yozamiz:

$$\Gamma = \iint_S \text{rot}_n \vec{u} dS, \quad (3.50)$$

Bunda $\text{rot}_n \vec{u} - \text{rot} \vec{u}$ ning berilgan S sirtning dS bo'lagiga o'tkazilgan \vec{n} tashqi normal yo'nalishidagi proeksiyasi. Agar suyuqlik harakati potensial bo'lsa, u holda L konturni tanlashga bog'liq bo'lmagan holda $\Gamma=0$ bo'ladi. Haqiqatan ham, biror vaqt momentida suyuqlikda o'tkazilgan yopiq konturni qaraylik. Vaqt o'tishi bilan bu yopiq kontur ichidan suyuqlik zarrachalari siljiydi, ular bilan esa butun kontur ham qo'zg'aladi. Bunda kontur bo'ylab tezlik sirkulyatsiyasida quyidagi hodisa sodir bo'ladi. Vaqt bo'yicha to'la hosilani

$$\frac{d}{dt} \oint_L \vec{u} \cdot d\vec{l}$$

kabi hisoblaylik, bunda vaqt bo'yicha to'la hosila siljiyotgan suyuqlik konturi bo'ylab sirkulyatsiyaning o'zgarishini ifodalaydi.

Tezlik sirkulyatsiyasining \vec{r} radius vektorga nisbatan ushbu

$$\oint_L \vec{u} \cdot d\vec{r}$$

ifodasida to'la differensialni bajarsak, tezlanish uchun Eyler tenglamasidagi ifodasidan foydalansak, keyin esa Stoks formulasini qo'lla-sak va $\text{rot}(\text{grad}\varphi)=0$ ekanligini e'tiborga olsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{d}{dt} \oint_L \vec{u} \cdot d\vec{l} = 0 \quad \text{yoki} \quad \oint_L \vec{u} \cdot d\vec{l} = \text{const}. \quad (3.51)$$

Shunday qilib, ideal suyuqlik holatida suyuqlikning yopiq konturi bo'ylab tezlik sirkulyatsiyasi vaqt bo'yicha o'zgarmas bo'lib qoladi. Bu tasdiq *Tomson teoremasi* yoki *tezlik sirkulyatsiyasining saqlanish qonuni* deyiladi. Bu qonun suyuqlik harakatining izentropikligi haqidagi faraz bilan bog'liq. Noizentropik harakat uchun bu qonun o'rinli emas. Bunda (3.51) ifoda uyurmalanishning harakatlanayotgan suyuqlik bilan birga siljishini bildiradi.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari:

1-masala. Oqimning koordinar o'qlaridagi tezlik proeksiyalari $u_x = axy$, $u_y = ayz$, $u_z = axz$ kabi berilganda quyidagilarni aniqlang: a) oqimdagi suyuqlik zarrachalarining $\vec{\omega}$ burchak tezligi tashkil etuvchilarini; b) $\vec{\omega}$ burchak tezlikni; c) $\vec{\Omega} = \text{rot} \vec{u}$ ni; d) $\vec{\Omega}$ vektorning yo'nalishini topish uchun \vec{u} tezlik vektori va $\vec{\omega}$ uyurma tezligi vektorlari tashkil etuvchilariga mos keluvchi og'ish burchaklari tangensini toping, bunda a – biror o'zgarmas son.

Yechish: a) Oqimdagi suyuqlik zarrachalarining burchak tezligi tashkil etuvchilari quyidagilar:

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) = -\frac{ay}{2}; \quad \omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) = -\frac{az}{2};$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) = -\frac{ax}{2}.$$

b) Demak burchak tezlik vektori quyidagiga teng ekan:

$$\vec{\omega} = -\frac{a}{2} (y\vec{i} + z\vec{j} + x\vec{k}).$$

c) Tezlik vektori rotori esa quyidagicha hisoblanadi:

$$\vec{\Omega} = \text{rot } \vec{u} = 2\vec{\omega} = -a(y\vec{i} + z\vec{j} + x\vec{k}).$$

d) $\vec{\omega}$ burchak tezlik vektori, \vec{u} tezlik vektori va $\vec{\Omega}$ tezlik rotori vektorlarining moduli mos ravishda quyidagilarga teng:

$$|\vec{\omega}| = \frac{a}{2} \sqrt{y^2 + z^2 + x^2}; \quad |\vec{u}| = a \sqrt{(xy)^2 + (yz)^2 + (xz)^2}; \quad |\vec{\Omega}| = 2|\vec{\omega}|.$$

$\vec{\Omega}$ vektorning yo'nalishini topish uchun \vec{u} tezlik vektori va $\vec{\omega}$ uyurma tezligi vektorlari tashkil etuvchilariga mos keluvchi og'ish burchaklari tangensini topamiz:

$$\frac{u_y}{u_x} = \frac{z}{x}; \quad \frac{u_y}{u_z} = \frac{y}{x}; \quad \frac{u_z}{u_x} = \frac{z}{y}; \quad \frac{\omega_y}{\omega_x} = \frac{z}{y}; \quad \frac{\omega_y}{\omega_z} = \frac{z}{x}; \quad \frac{\omega_z}{\omega_x} = \frac{x}{y}.$$

Bu yerdan ko'rinadiki, rotorning yo'nalishi tezlik vektorining yo'nalishi bilan mos tushmas ekan.

Topshiriqlar

Oqimning koordinata o'qlaridagi tezlik proeksiyalari:

- 1) $u_x = ax$, $u_y = ay$, $u_z = 0$; 2) $u_x = x + 4y$, $u_y = 4x + y$, $u_z = 0$;
- 3) $u_x = ax$, $u_y = ay$, $u_z = az$; 4) $u_x = y + t$, $u_y = x + t$, $u_z = 0$;
- 5) $u_x = x + t$, $u_y = y + t$, $u_z = z + t$,

bunda a – biror o'zgarmas miqdor, kabi berilganda quyidagilarni aniqlang: a) oqimdagi suyuqlik zarrachalarining $\vec{\omega}$ burchak tezligi tashkil etuvchilarini; b) $\vec{\omega}$ burchak tezlikni; c) tezlik vektori rotorini; d) $\vec{\Omega}$ vektorning yo'nalishini topish uchun \vec{u} tezlik vektori va $\vec{\omega}$ uyurma tezligi vektorlari tashkil etuvchilariga mos keluvchi og'ish burchaklari tangensini toping.

Sinov savollari

1. Uyurmali harakat, uyurma ipi va uyurma chizig'i nima?
2. Vektor maydon oqimi nima?
3. Uyurma intensivligi va uyurma naychasi nima?
4. Uyurmalar haqidagi Gelmgolts teoremasini ayting.
5. Tezlik sirkulyatsiyasini tushuntiring.
6. Stoks va Tomson teoremlarini ayting.

4-BOB. SUYUQLIKNING POTENSIAL HARAKATI

Suyuqlik oqimi uyurmali yoki uyurmasiz (potensial) bo'lishi mumkin. Uyurmasiz oqimni o'rganish masalasini qiymatlari har xil oqimlarning tezliklari maydonini aniqlashga imkon beradigan potensial funksiyani (yoki tezlik potensialini) topishga olib kelinishi mumkin. Uyurmali oqimning ba'zi bir hollarida uning kinematik xarakteristikalarini aniqlash masalasi oqim funksiyasi deb ataluvchi bitta funksiyani topishga olib kelinishi mumkin. Natijada tezliklar potensialini va oqim funksiyasini topish eng muhim masalaga aylanadi. Shuning uchun bir qator kinematika masalalari potensial funksiyani va oqim funksiyasini topishga, hamda bu funksiyalar ma'lum bo'lganda oqimning kinematik xarakterini qurishga va tezliklar maydonini topishga olib kelinadi.

Harakatning potentsiallik sharti - bu uyuqma tezligining nolga teng ekanligi ($\text{rot } \vec{u} = 0$) yuqorida qayd etildi. Mexanik nuqtai nazardan bunda suyuqlik zarrachasi aylanmasdan harakat qiladi. Quyida potensial harakat suyuqliklar mexanikasida muhim ahamiyatga ega ekanligi ko'rsatilgan.

Suyuqliklar kinematikasini o'rganish kompleks funksiyalar nazariyasi bilan ham chambarchas bog'langan. Bunda ba'zi analitik funksiyalarni tanlash bilan oqimning xarakterini ifodalash mumkin. Bunday funksiya potensial funksiya va oqim funksiyasini aniqlashga imkon beradi. Ba'zi bir masalalarni yechishda esa oqimning sodda yoki murakkabligiga qarab kompleks potensialni topish orqali oqimning kinematik sxemasi va tezliklar maydoni quriladi.

Quyida keltirilgan tushunchalar, masalalarning namunaviy yechimlari va mashqlar kinematika tushunchalarini yanada chuqurroq o'zlashtirishga imkon beradi.

4.1. Tezlik potentsiali va oqim funksiyasi

Tezlik potentsiali. Stoks teoremasining ma'nosi uyurma intensivligi va sirkulyatsiyaning son qiymatlari teng ekanligini tasdiqlaydi, ya'ni

$$i = \Gamma \quad \text{yoki} \quad i = \iint_A \text{rot } \vec{u} \cdot \vec{n} dA = \Gamma.$$

Boshqa tarafdin esa, potensial oqim uchun uning ta'rifiga ko'ra $\text{rot } \vec{u} = 0$, ya'ni potensial maydondagi yopiq kontur bo'ylab sirkulyatsiya nolga teng.

Burchak tezliklar proeksiyalarining ifodalarini yozamiz:

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right); \quad \omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right); \quad \omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right).$$

Yuqorida aytilganlarga ko'ra uyurmasiz (potensial) harakat uchun $\omega_x = \omega_y = \omega_z = 0$. Demak, bu holda

$$\frac{\partial u_z}{\partial y} = \frac{\partial u_y}{\partial z}; \quad \frac{\partial u_x}{\partial z} = \frac{\partial u_z}{\partial x}; \quad \frac{\partial u_y}{\partial x} = \frac{\partial u_x}{\partial y}. \quad (4.1)$$

Bu munosabatlar u_x , u_y va u_z tezlik komponentalarini hisoblashni juda soddalashtiradi.

Ushbu

$$u_x dx + u_y dy + u_z dz \quad (4.2)$$

ifodani qaraylik. Bu ifoda qattiq jismlar mexanikasidagi elementar ishning ifodasi kabi yozilgan. U qachon to'la differensialni ifodalaydi, degan savol tug'iladi. Eslatib o'tamizki, agar ishning ifodasi to'la differensial bo'lsa, u holda bu kuchlar *konservativ kuchlar* yoki *potensialga ega kuchlar* deb ataladi.

Agar (4.2) ifodada ayqash hosilalar o'zaro teng bo'lsa, u holda bu ifoda to'la differensialni ifodalashi Klero tomonidan ko'rsatilgan. (4.1) munosabatlar ana shu shartlarning bajarilishini ko'rsatadi, ya'ni (4.2) da olingan ayqash hosilalar (4.1) munosabatlarni beradi. Shunday qilib, (4.2) ifoda biror φ funksiyaning to'la differensialini beradi va

$$d\varphi = u_x dx + u_y dy + u_z dz. \quad (4.3)$$

Boshqa tarafdin esa, umumiy qoidaga ko'ra to'la differensialni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$d\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx + \frac{\partial \varphi}{\partial y} dy + \frac{\partial \varphi}{\partial z} dz. \quad (4.4)$$

(4.3) va (4.4) larni taqqoslasak,

$$u_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad u_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad u_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z}. \quad (4.5)$$

Gelmgolts ta'rifiga ko'ra φ funksiya *tezlik potentsiali* deb ataladi.

Zarrachalarining aylanishsiz sodir bo'ladigan suyuqlikning har qanday harakatiga o'zining tezlik potentsiali mos keladi. Teskari tasdiq ham to'g'ri: agar tezlik potentsiali mavjud bo'lsa, u holda suyuqlik harakati zarrachalarning aylanishsiz sodir bo'ladi.

(4.5) munosabatni boshqa yo'l bilan ham olish mumkin. Bitta savolga har xil uslubiyatda javob topish uni chuqurroq o'rganib chiqishga imkon beradi.

Bilamizki, potentsiallik sharti $\text{rot } \vec{u} = 0$ dan iborat. Boshqa tarafdin esa, ikkinchi tartibli operatsiyalar haqidagi mavzuga ko'ra, biror skalyar funksiya gradiyentidan olingan rotor operatsiyasi nolga teng, ya'ni

$$\text{rot}(\text{grad } \varphi) = 0.$$

Bu munosabatlarni taqqoslasak,

$$\vec{u} = \text{grad } \varphi. \quad (4.6)$$

Bu tenglik ko'rsatadiki, tezlik vektorini biror φ skalyar funksiya dan olingan gradiyent deb qarash mumkin. \vec{u} va $\text{grad } \varphi$ larning qiymatlarini yozaylik, ya'ni

$$\vec{u} = u_x \vec{e}_x + u_y \vec{e}_y + u_z \vec{e}_z; \quad \text{grad } \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{e}_z.$$

(4.6) ni hisobga olsak, yana (4.5) dagi ushbu

$$u_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad u_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad u_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

munosabatlarga kelamiz.

Tezlik potentsiali haqidagi tushunchalarni kiritishning maqsadi va zaruriyati haqidagi savolga javob berishga urinamiz. Buning uchun avvalo atrofida suyuqlik yoki gaz oqayotgan jismga ta'sir etayotgan kuchlarni aniqlash asosiy masalalardan biri ekanligini e'tiborga olmog'imiz zarur. Bunday masalalarni yechish bevosita tezliklar maydonini hisoblash, ya'ni har bir nuqtada u_x , u_y va u_z tezliklar proeksiyalarini aniqlash bilan bog'liq. (4.5) ifodadan kelib chiqadiki, agar tezlik potentsialining bitta qiymati aniq bo'lsa, u holda tezlik komponentalarining uchasini ham aniqlash mumkin bo'ladi. Shunday qilib, tezlik potentsiali tezliklar maydonini hisoblashni juda ham osonlashtiradi. Ammo, bir vaqtning o'zida oqishning tezligi potentsialini qanday topish mumkin, degan savol tug'iladi. Bu savolga javob topish uchun avvalo potentsialning bir qator xossalari bilan tanishib chiqish zarur.

Laplas tenglamasi. Skalyar funksiyaning gradiyentidan olingan divergensiya operatsiyasi Laplas operatorini beradi. Agar skalyar funksiya sifatida tezlik potentsialidan foydalansak, u holda ushbu

$$\operatorname{div}(\operatorname{grad} \varphi) = \nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}. \quad (4.7)$$

tenglikni yozamiz. Siqilmaydigan suyuqlik uchun $\operatorname{div} \vec{u} = 0$, bunda $\operatorname{grad} \varphi = \vec{u}$. Shunday qilib,

$$\operatorname{div}(\operatorname{grad} \varphi) = 0 \quad (4.8)$$

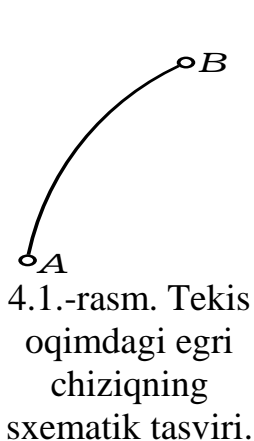
yoki

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0. \quad (4.9)$$

(4.8) yoki (4.9) ifoda *Laplas tenglamasi* deb ataladi. Demak, tezlik potentsialini topish uchun Laplas tenglamasini integrallash lozim ekan. Laplas tenglamasini qanoatlantiruvchi ixtiyoriy funksiya *garmonik funksiya* deb ataladi. Demak, tezlik potentsiali garmonik funksiya ekan. Har qanday differensial tenglama, xuddi shunday Laplas tenglamasi ham, cheksiz ko'p yechimlarga ega. Shuning uchun tezlik potentsialini bir qiymatli aniqlash uchun chegaraviy shartlarni berishimiz zarur. Masalan, jism atrofidagi oqish masalalari uchun chegaraviy shartlarni $u_n = 0$ va $u = u_\infty$ kabi berishimiz mumkin. Birinchi shart oqishning ajralmasligini (tezlikning normal komponentasi nolga tengligini), ikkinchisi esa jismdan uzoqlikda tezliklar taqsimoti ma'lum ekanligini bildiradi.

Har bir huqtasida $\varphi = \text{const}$ bo'lgan sirtlar (yoki ikki o'lchovli oqimlar uchun chiziqlar) *ekvipotensial sirtlar* (yoki *chiziqlar*) deb ataladi.

Potensial maydonda tezlik sirkulyatsiyasi. Tekis (ikki o'lchovli) oqimni qaraylik. Unda ixtiyoriy egri chiziqni ajratamiz (4.1-rasm) va bu egri chiziq bo'ylab sirkulyatsiya uchun ushbu



$$\Gamma = \int_A^B u_x dx + u_y dy = \int_A^B \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx + \frac{\partial \varphi}{\partial y} dy = \int_A^B d\varphi = \varphi_A - \varphi_B \quad (4.10)$$

ifodani yozamiz, ya'ni egri chiziq bo'ylab sirkulyatsiya uning shaklidan bog'liq emas va u faqatgina egri chiziqning chetki nuqtalaridagi potentsiallar farqi bilan aniqlanadi.

Agar egri chiziq yopiq bo'lsa, u holda ko'rinib turibdiki, $\varphi_B = \varphi_A$ va $\Gamma = 0$, ya'ni potentsial maydondagi yopiq kontur bo'ylab sirkulyatsiya nolga teng.

Tekis oqishda oqim funksiyasi. Ikki o'lchovli oqimlarga oid amaliy masalalarni yechishda oqim funksiyasi tushunchasi keng qo'llaniladi.

Ikki o'lchovli oqimni qaraylik va suyuqlikni siqilmaydi, deb faraz qilaylik.

Avval ko'rsatilgan ediki, oqim chizig'ining differensial tenglamasi quyidagicha:

$$\frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y} \quad \text{yoki} \quad u_x dy - u_y dx = 0. \quad (4.11)$$

Bu hol uchun uzviylik tenglamasini yozamiz:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0. \quad (4.12)$$

Tezlik potentsialidagi kabi bu yerda ham (4.11) ifodaning biror skalyar funksiya to'la differensial bo'lishligining zaruriy va yetarli shartini qo'yamiz. (4.11) ifodaga *Klero sharti* (aralash hosilalar tengligi sharti)ni qo'llaymiz. Natijada quyidagiga kelamiz:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = -\frac{\partial u_y}{\partial y} \quad \text{va} \quad \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0.$$

Bu, agar harakat mavjud bo'lsa, hamma vaqt bajariladi va u tekis holat uchun (4.12) uzviylik tenglamasining o'zginasidir. Natijada quyidagini yoza olamiz:

$$d\psi = u_x dy - u_y dx, \quad (4.13)$$

bu yerda ψ - oqim funksiyasi deb ataladi. Boshqa tarafdin esa, yuqorida ko'rsatilgan ediki, $d\psi$ - to'la differensial, u holda

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy. \quad (4.14)$$

(4.13) va (4.14) larni taqqoslasak,

$$u_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad u_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (4.15)$$

Bundan kelib chiqadiki, agar oqishning oqim funksiyasi ma'lum bo'lsa, u holda fazoning ixtiyoriy nuqtasidagi tezlik komponentalarini aniqlash mumkin bo'ladi. (4.11) va (4.13) larni taqqoslashdan esa quyidagi xulosaga kelamiz: agar suyuqlik zarrachasi oqim chizig'i bo'ylan harakatlansa, u holda oqim funksiyasi o'zgaras bo'lib qoladi ($\psi = \text{const}$ bo'lganda $d\psi = 0$ va (4.13) tenglik (4.11) ga aylanadi).

Endi oqim funksiyasining garmonik funksiya ekanligini, ya'ni u Laplas tenglamasini qanoatlantirishini tekshiraylik.

Tekis potensial oqish uchun $\omega_z = 0$, ya'ni

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) = 0,$$

bu yerdan esa

$$\frac{\partial u_y}{\partial x} = \frac{\partial u_x}{\partial y}.$$

(4.15) dan

$$u_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad \text{va} \quad u_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x},$$

natijada

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \psi}{\partial y} \right),$$

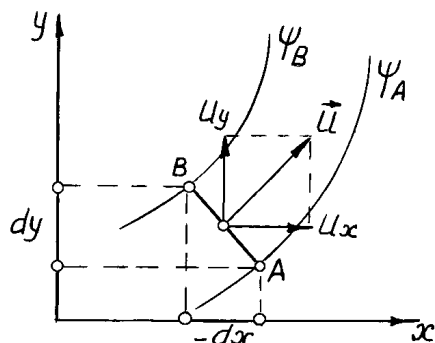
bulardan

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0.$$

Shunday qilib, oqim funksiyasi, xuddi tezlik potentsiali kabi, garmonik funksiya ekan.

Agar tezlik potentsiali faqatgina potensial oqimlarda mavjud bo'lsa, oqim funksiyasi uchun bunday cheklov yo'q. Bu shu bilan tushuntiriladiki, bu tushunchani olish uchun qo'llaniladigan uzviylik tenglamasi ham uyurmali va ham uyurmasiz harakatlar uchun o'rinli.

Oqim funksiyasining gidromexanik ma'nosi. Oqim funksiyasining gidromexanik ma'nosini berish uchun yetarlicha yaqin joylashgan ikkita oqim chiziqlarini qaraylik (4.2-rasm).



4.2-rasm. Oqim chiziqlari orasidan oqib o'tayotgan suyuqlikning sxematik tasviri.

Shu oqim chiziqlari orasidan oqib o'tayotgan suyuqlik sarfini hisoblaylik. Buning uchun suyuqlik zarrachasining tezligini ifodalovchi \vec{u} vektorni ikkita u_x va u_y tashkil etuvchilariga ajratamiz. Bu o'z navbatida suyuqlik sarfini

$$dQ = dQ_x + dQ_y$$

yg'indi bilan ifodalash imkonini beradi, bunda

$$dQ_x = u_x dy \quad \text{va} \quad dQ_y = -u_y dx.$$

Bu yerdan esa $dQ = u_x dy - u_y dx$,

Bularga ko'ra

$$Q = \int_A^B (u_x dy - u_y dx) = \int_A^B d\psi = \psi_B - \psi_A. \quad (4.16)$$

Bu tenglikning ma'nosi quyidagicha: tanlangan ikki egri chiziqdagi oqim funksiyalar qiymatlarining farqi ular orasidagi suyuqlik sarfi hajmiga teng.

Tezlik potentsiali va oqim funksiyasi o'rtasidagi bog'lanish. Agar tezlik proektsiyalari uchun yuqorida olingan ushbu

$$u_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad u_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad u_x = -\frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad u_y = \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

ifodalarini e'tiborga olsak, tezlik potentsiali va oqim funksiyasi orasidagi bog'lanish ifodasini osongina o'rnatish mumkin, ya'ni

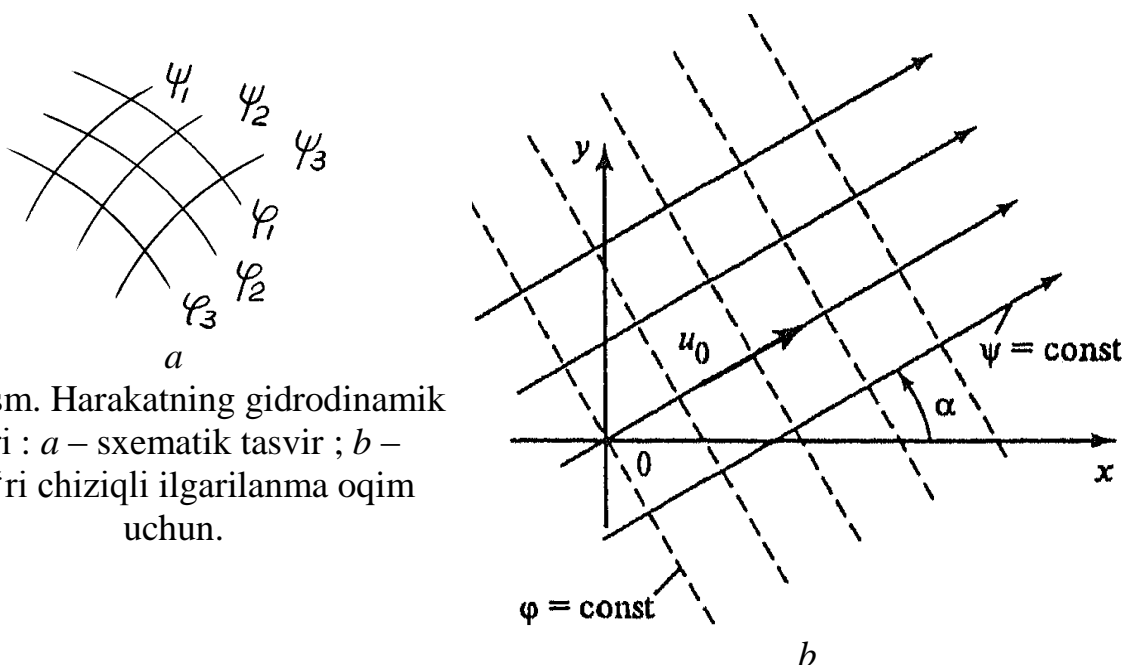
$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (4.17)$$

Bu munosabatlar suyuqliklar mexanikasida juda muhim ahamiyatga ega va ular *Koshi-Riman munosabatlari (shartlari)* deb ataladi.

Bu munosabatlar bilan quyida to'laroq tanishamiz. Hozircha ularni o'zaro ko'paytirish bilan cheklanaylik. Bu quyidagini beradi :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (4.18)$$

Matematika kursidan ma'lumki, (4.18) ko'rinishidagi ifoda egri chiziqlarning o'zaro ortogonal ekanligini bildiradi. Demak oqim chiziqlari va ekvipotensial chiziqlar *harakatning gidrodinamik to'ri* deb ataluvchi to'r hosil qiladi (4.3,a-rasm).



4.3-rasm. Harakatning gidrodinamik to'ri : a – sxematik tasvir ; b – to'g'ri chiziqli ilgarilanma oqim uchun.

Xususan, to'g'ri chiziqli ilgarilanma oqimni qaraylik. Faraz qilaylik, Ox o'q bilan α burchak tashkil etgan holda o'zgarmas u_0 tezlik vektori bo'yicha harakatlanayotgan oqim berilgan bo'lsin. U holda

$$u_x = u_0 \cos \alpha = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad u_y = u_0 \sin \alpha = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Bu tenglamalarni integrallab, quyidagi tezlik potentsiali va oqim funksiyasiga ega bo‘lamiz :

$$\begin{aligned} \varphi &= (u_0 \cos \alpha) x + (u_0 \sin \alpha) y + c_1; \\ \psi &= -(u_0 \sin \alpha) x + (u_0 \cos \alpha) y + c_2. \end{aligned}$$

To‘g‘ri chiziqli ilgarilanma oqim uchun harakatning gidrodinamik to‘ri 4.3,b-rasmda tasvirlangan.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

Potensial oqimlarni hisoblash usullari. Potensial oqimlar nazariyasida Laplas tenglamasini integrallamasdan oqim funksiyasi va tezlik potentsiali funksiyasining qiymatlarini beradigan holatlar alohida qiziqish uyg‘otadi. Buning umumiy g‘oyasi quyidagicha talqin qilinadi: oldindan Laplas tenglamasini qanoatlantiruvchi birorta funksiya beriladi va u harakatning gidrodinamik to‘rini ifodalaydi, deb izohlanadi. Bu usuldan foydalanib, quyida bir nechta masalalarni yechamiz.

1-masala. Faraz qilaylik, tezlik potentsiali uchun uning ifodasi $\varphi = ax + by$ kabi berilgan bo‘lsin, bunda a va b – biror haqiqiy sonlar. Harakatning gidrodinamik to‘rini tuzing.

Yechish. Avvalo tezlik kompotentalarini topaylik:

$$u_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = a \quad \text{va} \quad u_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = b.$$

Ikkinchi tartibli hosilalar nolga teng, yani Laplas tenglamasi to‘la qanoatlantiriladi, chunki $u_x = a$ va $u_y = b$, u holda bundan kelib chiqadiki, suyuqlik oqimi o‘zgarmas tezlik bilan harakat qiladi:

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Endi oqim chizig‘i nimani anglatishini izohlaylik. Ushbu

$$d\psi = u_x dy - u_y dx = a dy - b dx$$

oqim chizig‘i differensial tenglamasini integrallaymiz:

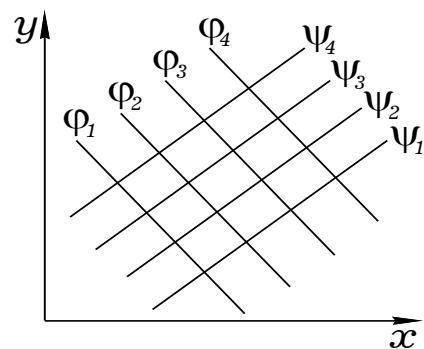
$$\psi = ay - bx. \quad (4.19)$$

Buni biror o‘zgarmasga tenglashtirsak, koor-dinat o‘qlari bilan $\text{tg } \alpha = \frac{b}{a}$ burchak tashkil etuvchi

parallal chiziqlardan iborat oqim chiziqlari oilasiga ega bo‘lamiz (4.4-rasm).

Haqiqatan ham, oqim chiziqlari uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$\frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y}; \quad \frac{dy}{dx} = \frac{u_y}{u_x} = \frac{b}{a}.$$



4.4-rasm. Chiziqli tezlik potentsiali uchun harakatning gidrodinamik to‘ri.

2-masala. Tezlik potentsiali ushbu

$$\varphi = a(x^2 - y^2)$$

ifoda bilan berilgan, bunda a – biror haqiqiy son. Bu oqimning oqim chiziqlarini toping.

Yechish. Avvalambor φ funksiya Laplas tenglamasini qanoatlan-tirishini tekshiraylik. Berilganlarga ko‘ra

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = 2ax; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -2ay; \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 2a; \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -2a;$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 2a - 2a = 0,$$

ya’ni Laplas tenglamasi qanoatlaniriladi. Endi bu funksiya bilan harakatning qanday ko‘rinishi ifodalanishini aniqlaylik, buning uchun esa oqim funksiyasini topish lozim. Ushbu

$$d\psi = u_x dy - u_y dx = 2axdy + 2aydx = 2a(xdy + ydx) = 2ad(xy)$$

tenglikni integrallasak,

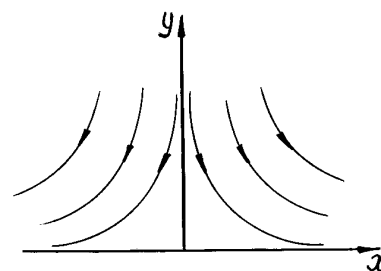
$$\psi = \int 2ad(xy) = 2axy,$$

bu yerda ixtiyoriy o‘zgarmas bizni qiziqitmaydi.

Oqim chiziqlarini topish uchun ψ ni biror o‘zgarmas miqdorga teng deb olamiz:

$$2axy = \text{const} \quad \text{yoki} \quad xy = \text{const}.$$

Demakki, oqim chiziqlari asimptotalari Ox va Oy koordinat o‘qlaridan iborat bo‘lgan giperbola ekan. 4.5-rasmda yuqori yarim tekislik uchun oqim chiziqlari sxemasi tasvirlangan. Agar koordinat o‘qlarini qattiq devorlar desak, u holda to‘g‘ri burchakda oqimning aylanib oqish tasviriga ega bo‘lamiz.



4.5-rasm. Yuqori yarim tekislikdagi suyuqlik oqishi sxemasi.

Bir qancha sodda oqimlar mavjudki, ular uchun tezlik potentsialini analitik usul bilan ham topish mumkin. Ular suyuqlik va gaz mexanikasi masalalarini yechishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

3-masala. Manba (yoki manfiy manba)ni tekislikda qaraylik. Tekis masala bilan cheklanaylik.

Yechish. Tekislikda *manba* (yoki *manfiy manba*) deb shunday nuqtaga aytiladiki, undan suyuqlikning oqib chiqishi (yoki unga oqib kirishi) tushuniladi. Faraz qilaylik, 4.6-rasmda tasvirlangan O nuqta tekis manbani ifodalasin va markazdan chiqayotgan bir nechta konsentrik aylanalar o‘tkazaylik.

Birlik balandlikka ega silindrik sirt uchun uzviylik tenglamasini yozaylik:

$$Q = 2\pi r u_r,$$

bu yerdan

$$u_r = \frac{Q}{2\pi r}. \quad (4.20)$$

Dekart koordinatalari sistemasida

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (4.21)$$

Qaralayotgan hol uchun silindrik koordinatalari sistemasini kiritish qulay (4.7-rasm). Silindrik koordinatalari sistemasini uchun

$$u_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r}; \quad u_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r}. \quad (4.22)$$

(4.22) dan kelib chiqadiki, u_r qutb burchagidan bog'liq emas, simmetriya shartidan esa $u_\theta = 0$. Shuning uchun

$u_r = \frac{d\varphi}{dr}$. Bu ifodani (4.20) bilan tenglashtirsak,

$$\frac{Q}{2\pi r} = \frac{d\varphi}{dr}, \text{ bu yerdan } d\varphi = \frac{Q}{2\pi} \frac{dr}{r}.$$

Buni integrallasak,

$$\varphi = \frac{Q}{2\pi} \ln r. \quad (4.23)$$

(4.23) dan kelib chiqadiki, manbaning ekvipotensial chiziqlari aylanalardan iborat ekan (4.6-rasm).

(4.23) formulani quyidagicha ham yozishimiz mumkin:

$$\varphi = \frac{Q}{2\pi} \ln \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (4.24)$$

Oqim funksiyasini topish uchun dekart koordinatalari sistemasidan foydalanish qulay. (4.20) ni quyidagicha yozamiz:

$$u_r = \frac{Q}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (4.25)$$

4.7-rasmdan kelib chiqadiki,

$$u_x = u_r \cos \theta = u_r \frac{x}{r}.$$

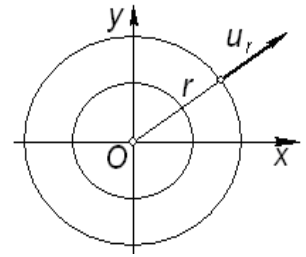
Shunday qilib,

$$u_x = \frac{Q}{2\pi} \frac{x}{r^2} = \frac{Q}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2} = \frac{\partial \varphi}{\partial x}.$$

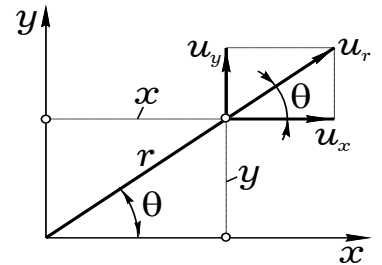
Xuddi shunday

$$u_y = \frac{Q}{2\pi} \frac{y}{x^2 + y^2} = \frac{\partial \varphi}{\partial y}.$$

Oqim funksiyasining differensial tenglamasi quyidagicha:



4.6-rasm. Tekis manba sxemasi.



4.7-rasm. Koordinat tekisligida va silindrik koordinatalar sistemasida tezlik vektori sxemasi.

$$d\psi = u_x dy - u_y dx. \quad (4.26)$$

u_x va u_y larning qiymatlarini (4.26) ga qo‘ysak,

$$d\psi = \frac{Q}{2\pi} \frac{xdy - ydx}{x^2 + y^2}. \quad (4.27)$$

Ba’zi almashtirishlar bajaraylik.

Ma’lumki, nisbatning differensial

$$d\left(\frac{y}{x}\right) = \frac{xdy - ydx}{x^2}, \quad \text{ya'ni} \quad xdy - ydx = x^2 d\left(\frac{y}{x}\right).$$

(4.27) ning maxrajidan x^2 ni chiqaramiz, natijada

$$x^2 + y^2 = x^2 \left[1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2 \right].$$

Shunday qilib, (4.27) quyidagicha yoziladi:

$$d\psi = \frac{Q}{2\pi} \frac{d\left(\frac{y}{x}\right)}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2}, \quad \text{bundan} \quad \psi = \frac{Q}{2\pi} \int \frac{d\left(\frac{y}{x}\right)}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2} = \frac{Q}{2\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right).$$

Ammo $\frac{y}{x} = \operatorname{tg} \theta$, yani $\operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \theta) = \theta$ ekanligidan

$$\psi = \frac{Q}{2\pi} \theta. \quad (4.28)$$

Qutb koordinatalari sistemasida (4.28) funksiya koordinat boshidan o‘tuvchi to‘g‘ri chiziqlar oilasini tashkil etadi.

Manfiy manba uchun tezlik potentsiali va oqim funksiyasi bir xil ifodaga ega, ammo ishorasi qarama-qarshi, ya’ni

$$\varphi = -\frac{Q}{2\pi} \ln r \quad \text{va} \quad \psi = -\frac{Q}{2\pi} \theta. \quad (4.29)$$

Ba’zida Q ni *manbaning quvvati* ham deb atashadi.

Agar manba (manfiy manba) koordinata boshidan biror R masofadagi $M(x_R; y_R)$ nuqtada bo‘lsa, u holda

$$\varphi = \frac{Q}{2\pi} \ln(r - R); \quad u_r = \frac{Q}{2\pi \sqrt{(x - x_R)^2 + (y - y_R)^2}}; \quad u_\theta = 0.$$

Topshiriqlar

1. Agar siqilmaydigan suyuqlikning tezliklari potentsiali ushbu

a) $\varphi = a(x^2 - 3y^2)$; b) $\varphi = y(x^2 - 3y^2)$; c) $\varphi = x(x - 3y)$.

funksiya bilan berilgan bo‘lsa ψ oqim funksiyasini toping, bunda a – biror o‘zgarmas son.

2. Tekis siqilmaydigan suyuqlik oqimida tezlikning tashkil etuvchilari quyidagi tenglamalar bilan berilgan bo'lsin:

$$a) u_x = -x - 4y, u_y = -y - 4x, u_z = 0; \quad b) u_x = -\frac{ax}{x+y}, u_y = \frac{ay}{x+y}, u_z = 0;$$

$$c) u_x = -ay, u_y = ax, u_z = 0; \quad d) u_x = -x + y, u_y = -y + x, u_z = 0,$$

bunda a – biror o'zgarmas son. Oqim funksiyasining ifodasini toping. Potensial oqimda tezliklar potensiali ifodasini oling.

3. Koordinata o'qi Ox bo'ylab koordinata boshidan 1 m uzoqlikda joylashgan manba va manfiy manbalarning quvvati bir xil, ya'ni $Q=10 \text{ m}^3/\text{c}$. Koordinat boshidagi hamda $x=-0,5; y=0$ va $x=0,5; y=0$ nuqtalardagi tezliklarni aniqlang.

4. Yuqoridagi 3-masala shartidan kelib chiqib, koordinata o'qi Ox bo'ylab oqimning tezligi nolga teng va tezligi maksimal bo'lgan nuqtalarini aniqlang.

Sinov savollari

1. Tezlik potensiali deb nimaga aytiladi? Konservativ kuchlar nima?
2. Laplas tenglamasini ayting.
3. Potensial maydonda tezlik sirkulyatsiyasi qanday hisoblanadi?
4. Tekis oqimda oqim funksiyasi qanday topiladi?
5. Oqim funksiyasining gidromexanik ma'nosini ayting.
6. Tezlik potensiali va oqim funksiyasi orasidagi bog'lanish.
7. Koshi-Riman shartini ayting.
8. Harakatning gidrodinamik to'ri nima?

4.2. Tadbiqiy masalalar

Potensial oqimlarning ustma-ust tushishi (superpozitsiya usuli). Yuqorida ta'kidlagan edikki, tezlik potensialini topish uchun Laplas tenglamasini berilgan chegaraviy shartlarda integrallash zarur. Ayniqsa bu murakkab oqimlar uchun etarlicha murakkab masala. Laplas tenglamasi chiziqli bo'lganda buni amalga oshirish uchun *superpozitsiya usuli (geometrik yig'indi usuli)* dan foydalanish mumkin. Bu usulning g'oyasi quyidagicha: qaralayotgan murakkab oqim avvaldan tezlik potensiallari (yoki oqim chiziqlari) ma'lum yoki ularni topish oson bo'lgan bir nechta sodda oqimlar ko'rinishida ifodalab olinadi. Bunga ko'ra, agar φ_i funksiya i -oqimning tezlik potensiali bo'lsa, u holda ulardan n tasining ushbu

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$$

yig'indisi ham Laplas tenglamasini qanoatlantiradi:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \dots + \Delta\varphi_n,$$

ya'ni φ yig'indi barcha n ta oqimlarni o'zaro qo'shish (superpozitsiya, geometrik yig'indi) dan hosil bo'lgan biror yangi oqimning tezlik potensialini ifodalaydi.

Xuddi shunday, ψ_i funksiyalar va ularning yig'indisi ψ biror k ta oqimlarning superpozitsiyasidan hosil bo'lgan yangi oqimning oqim funksiyasini ifodalaydi, ya'ni ushbu

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_k$$

yig'indi ham Laplas tenglamasini qanoatlantiradi:

$$\Delta\psi = \Delta\psi_1 + \Delta\psi_2 + \dots + \Delta\psi_k .$$

Bu aytganlarimizni eng sodda holda qarab, uni misollar bilan tushuntiraylik. Faraz qilaylik, Laplas tenglamasini qanoatlantiruvchi, oldindan ma'lum bo'lgan φ_1 va φ_2 tezlik potentsiallariga ega ikkita oqim qaralayotgan bo'lsin. Chiziqli differensial tenglamalar kursidan ma'lumki, xuddi shunday Laplas tenglamasiga ham tegishli, xususiy yechimlar yig'indisi ham shu tenglamaning yechimi bo'ladi. Boshqacha aytganda, $\varphi_1 + \varphi_2$ yig'indidan tuzilgan φ potensial ham Laplas tenglamasini qanoatlantiradi, ya'ni bu yig'indi φ potensialga ega yangi bir oqimni ifodalaydi. Bundan kelib chiqadiki, avvaldan ma'lum oqimlarni qo'shish (ustma-ust qo'yish) bilan yangi oqimni olish mumkin. Bu yerda gap oqimlarning o'zlarini ustma-ust qo'yish to'g'risida emas, balki oldindan ma'lum oqishlar uchun tezlik potentsiallarini qo'shish tushuniladi.

Yangi oqim har bir nuqtasining tezligi dastlabki oqimlar tezliklari yig'indisiga teng bo'ladi. Yangi oqishni topish masalasi ham analitik va ham grafik usulda yechilishi mumkin.

Avvalo grafik usulni qaraylik. Oqim chiziqlarini bir hil masshtabda chizish kerak bo'ladi, bunda zich chizilgan oqim chiziqlari o'zaro kesishish natijasida parallelogrammga yaqin shaklni beradi (4.8-rasm). AB va AD kesmalar biror bir masshtabda oqish tezligini ifodalaydi, bu vektorlarning yig'indisi (AC) esa parallelogrammning diagonalini beradi. Bunday to'rni qurish uchun quyidagi shartga bo'ysunish lozim: har ikkala oqishning qo'shni oqim chiziqlari orasidagi sarf bir xil bo'lishi zarur.

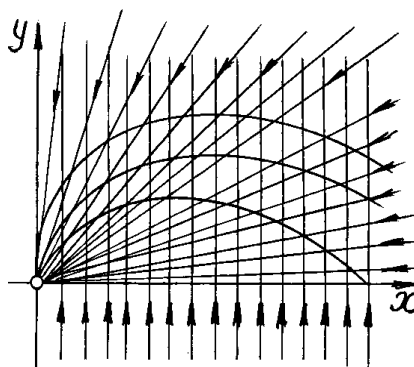
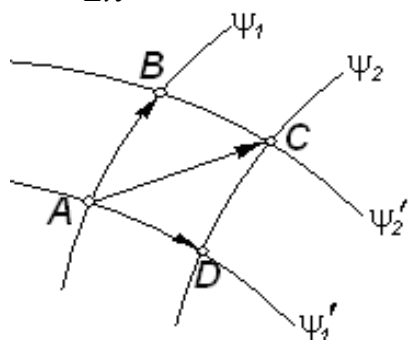
Misol sifatida manfiy manbadagi tekis parallel oqimini ustma-ust qo'yishda hosil bo'ladigan oqish tasvirini qaraylik (4.9-rasm). 4.9-rasmdan kelib chiqadiki, yangi oqimning suyuqlik zarrachalari manfiy manbaga yo'nalgan egri chiziqlar bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

Yuqorida ta'kidladikki, masalani analitik usulda ham yechish mumkin. Bu holda har ikkala oqim uchun φ va ψ lar aniq bo'lishi zarur.

1-masala. Koordinata boshidan a masofaga uzoqlikda simmetrik joylashgan bir xil sarfga ega manba va manfiy manbalarni qo'shaylik (4.10-rasm).

Yechish. Tezlik potentsiallari: manbaniki $\varphi_m = \frac{Q}{2\pi} \ln r_m$; manfiy manbaniki

$$\varphi_{-m} = -\frac{Q}{2\pi} \ln r_{-m} .$$



4.8-rasm. Tekislikda bir xil masshtabli oqim chiziqlari sxemasi.

4.9-rasm. Manfiy manbadagi tekis parallel oqimni ustma-ust qo'yishda hosil bo'ladigan oqish sxemasi.

Koordinatalari x va y bo'lgan ixtiyoriy M nuqtani tanlaylik. Bu nuqtadagi tezlik potentsiali $\varphi = \varphi_m + \varphi_{-m}$, yani

$$\varphi = \frac{Q}{2\pi} (\ln r_m - \ln r_{-m}) = \frac{Q}{2\pi} \ln \frac{r_m}{r_{-m}}.$$

Bu munosabatda bir necha almashtirishlar bajaraylik. MIx va MCx uchburchaklardan quyidagini yozamiz:

$$r_m = \sqrt{y^2 + (x+a)^2}; \quad r_{-m} = \sqrt{y^2 + (x-a)^2}.$$

Natijada, yangi oqish uchun tezlik potentsialiga ega bo'lamiz:

$$\varphi = \frac{Q}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{y^2 + (x+a)^2}{y^2 + (x-a)^2}}. \quad (4.30)$$

Bizni ko'proq oqim funksiyasi qiziqtiradi. Avval ko'rsatgan edikki, $\psi_m = \frac{Q}{2\pi} \theta_m$ va

$\psi_{-m} = -\frac{Q}{2\pi} \theta_{-m}$. Xuddi shunday

$$\psi = \psi_m + \psi_{-m} = \frac{Q}{2\pi} (\theta_m - \theta_{-m}).$$

Boshqa tarafdin esa, 4.10-rasmdan kelib chiqadiki, $\theta_{-m} = \theta + \theta_m$ ekanligidan

$\theta_m - \theta_{-m} = -\theta$, ya'ni $\psi = -\frac{Q}{2\pi} \theta$.

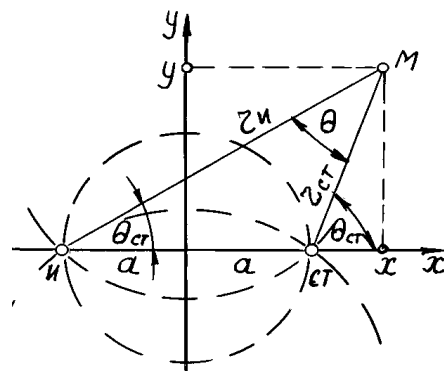
Bunda $\psi = \text{const}$ (oqim chizig'iga) shartga $\theta = \text{const}$ mos keladi.

Shunday qilib, yangi oqishning oqim chiziqlari manba va manfiy manbalar orqali o'tuvchi aylanalardan iborat ekan.

Endi manba va manfiy manbalarni yaqinlashtirishda hosil bo'ladigan tasvirlarni qaraylik.

2-masala. Shuni oldindan ta'kidlaymizki, manba va manfiy manbalar yaqinlashgan oqish *dipol* deb ataladi. Bu yerda qaraladigan masala qanday xususiyatga ega?

Yechish. Agar masofani nol deb faraz qilsak, ya'ni $a=0$, u holda $r_m = r_{-m}$ bo'lib, φ va ψ lar aynan nolga teng bo'ladi. Shuning uchun boshqa limitik holatni qaraylik. Faraz qilaylik, $2a \rightarrow 0$ da sarf $Q \rightarrow \infty$, ammo ularning ko'paytmasi $2a \cdot Q = \text{const} = M$, bunda M *dipolning momenti* deb ataladi. Shunday qilib,



4.10-rasm. Koordinata boshidan a masofaga simmetrik joylashgan bir xil sarfga ega manba va manfiy manbalarning sxemasi.

$$Q = \frac{M}{2a}. \quad (4.31)$$

Bunda dipolning potensial tezligi quyidagiga teng:

$$\varphi_D = \frac{M}{2\pi} \frac{\ln \sqrt{y^2 + (x+a)^2} - \ln \sqrt{y^2 + (x-a)^2}}{2a}.$$

Bu nisbatning limit qiymati:

$$\varphi_D = \frac{M}{2\pi} \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\ln \sqrt{y^2 + (x+a)^2} - \ln \sqrt{y^2 + (x-a)^2}}{2a}.$$

Bu ifodada limit ishorasi ostidagi ifoda nimani anglatishini tahlil qilaylik. Bu ifodaning maxrajini erkin o'zgaruvchining orttirmasi, suratini esa funksiyaning orttirmasi deb qarash mumkin. Haqiqatan ham, $\ln \sqrt{y^2 + x^2}$ funksiyaning qaraylik. x ga $x+a$ va $x-a$ qiymatlar beraylik. Agar funksiyaning $x+a$ dagi qiymatidan $x-a$ dagi qiymatini ayirsak, u holda ifodaning suratini olamiz. Erkin o'zgaruvchining qiymatlari orasidagi ushbu $(x+a) - (x-a) = 2a$ farq maxrajni beradi. Shunday qilib, funksiya orttirmasining argument orttirmasiga nisbatining argument orttirmasi nolga intilgandagi limitini hisoblashimiz lozim bo'ladi. Ma'lumki, matematikada bunday limit funksiyaning hosilasi deb ataladi, ya'ni

$$\varphi_D = \frac{M}{2\pi} \frac{\partial}{\partial x} \ln \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Differensiallashni o'rniga qo'yish usuli bilan bajarish osonroq. Faraz qilaylik,

$$u = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad u^* = x^2 + y^2.$$

U holda $z = \ln u$; $z' = \frac{1}{u} u'$; $u' = \frac{1}{2\sqrt{u^*}} (u^*)'$. Bularga ko'ra:

$$u' = \frac{2x}{2\sqrt{x^2 + y^2}}; \quad z' = \frac{2x}{2\sqrt{x^2 + y^2}} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{x}{x^2 + y^2},$$

$$\text{ya'ni} \quad \frac{\partial}{\partial x} \ln \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{x}{x^2 + y^2}.$$

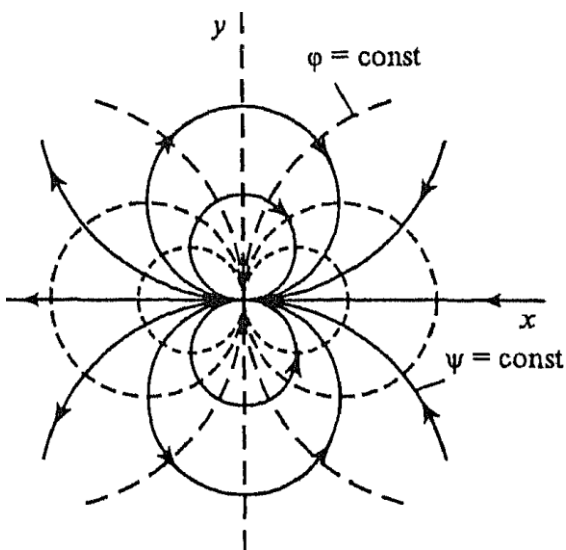
Shunday qilib,

$$\varphi_D = \frac{M}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2}. \quad (4.32)$$

Xuddi shunday amallarni bajarib, quyidagiga kelamiz:

$$\psi_D = -\frac{M}{2\pi} \frac{y}{x^2 + y^2}. \quad (4.33)$$

Bundan kelib chiqadiki, oqim chiziqlari va ekvipotensial chiziqlar Ox va Oy koordinat o'qlariga koordinatalar boshida urinuvchi aylanalardan iborat ekan (4.11-rasm).



4.11-rasm. Dipol masalasi uchun oqim

chiziqlari va ekvipotensial chiziqlar sxemasi.

Haqiqatan ham, oqim funksiyasiga o'zgarmas qiymatlarni qo'shsak, u holda $x^2 + y^2 = Cy$, bunda $C = -\frac{M}{2\pi}$. Quyidagi tenglamalar markazi har xil bo'lgan aylanalar tenglamalaridir:

$$x^2 + y^2 - Cy + \frac{C^2}{4} = \frac{C^2}{4}; \quad x^2 + \left(y^2 - Cy + \frac{C^2}{4}\right) = \frac{C^2}{4}; \quad x^2 + \left(y - \frac{C}{2}\right)^2 = \left(\frac{C}{2}\right)^2.$$

Doiraviy silindr atrofidan nosirkulyatsion aylanib oqish. Oqimlarni to'g'rilash usulini qarashni davom ettiramiz. 5-masalada qaralgan dipol deb ataluvchi oqish bir qarashda abstrakt xarakterga ega bo'lib ko'rinadi. Ammo bunday nuqtai nazarning juda ham to'g'ri emasligini quyida ko'rsatamiz. Dipol tushunchasini qo'llab, juda ham qiziqarli va amaliy tadbirlar uchun foydali natijalar olish mumkin. Buni tasdiqlash uchun markazi koordinatalar boshida bo'lgan dipolga qo'yiladigan to'g'ri chiziqli ilgari qilmagan oqim paydo bo'ladigan oqishni qaraylik. To'g'ri chiziqli oqim Ox o'qi bo'ylab miqdori bir birlikka teng bo'lgan tezlik bilan harakat qiladi, ya'ni $u_x = u_0 = \text{const}; u_y = 0$. Uning tezlik potentsiali

$$d\varphi = u_x dx + u_y dy$$

va bundan ixtiyoriy o'zgarmasgacha aniqlik bilan

$$\varphi_0 = u_0 x.$$

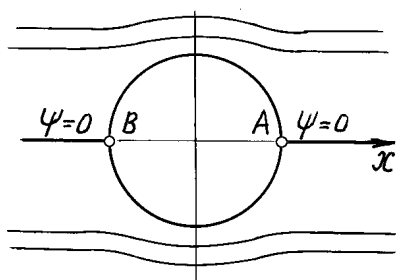
Oqim funksiyasi uchun $d\psi = u_x dy - u_y dx = u_0 dy$ va $\psi_0 = u_0 y$. Agar, qabul qilingan shartga ko'ra, $u_0 = 1$ bo'lsa, u holda $\varphi_0 = x$ va $\psi_0 = y$. Dipol momentini chiqarish uchun bajariladigan amallarni soddalashtirib keltirsak, $M = 2\pi$, u holda

$$\varphi_D = \frac{x}{x^2 + y^2} \quad \text{va} \quad \psi_D = -\frac{y}{x^2 + y^2}.$$

$$\varphi = x + \frac{x}{x^2 + y^2} \quad \text{va} \quad \psi = y - \frac{y}{x^2 + y^2}.$$

Oqim chiziqlarini topish uchun oqim funksiyasini o'zgarmasga tenglashtiramiz:

$$\psi = y - \frac{y}{x^2 + y^2} = C, \quad \text{bu yerdan}$$



4.12-rasm. (4.34) yechimda nolinch oqim chiziqning sxematik tasviri.

$$y[(x^2 + y^2) - 1] = C(x^2 + y^2). \quad (4.34)$$

Bundan kelib chiqadiki, oqishning oqim chiziqlari uchinchi tartibli egri chiziqlar oilasidan iborat ekan. Nolinch oqim chizig'ini, ya'ni $C = 0$ uchun egri chiziqni topaylik. Bu ikkita tenglamani beradi:

$$y = 0 \quad \text{va} \quad x^2 + y^2 = 1,$$

ya'ni oqim chizig'i Ox o'qini va markazi koordinatalar boshida bo'lgan birlik aylanani ifodalaydi (4.12-rasm). Bu holat aylanani qattiq

chegara deb, uning tashqarisidagi oqishni qarashga imkon beradi, yani bu cheksiz uzunlikdagi silindrning aylanib oqishi masalasiga keladi.

Silindrdan yetarlicha katta uzoqlikda tezlik Ox o'q bo'ylab yo'nalgan bo'lishini va $u_\infty = 1$ ekanligini ko'rsataylik. Tezlikning proeksiyalarini topaylik:

$$u_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(x + \frac{x}{x^2 + y^2} \right) = 1 + \frac{x^2 + y^2 - 2x^2}{(x^2 + y^2)^2} = 1 - \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2};$$

xuddi shunday

$$u_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(x + \frac{x}{x^2 + y^2} \right) = -\frac{2xy}{(x^2 + y^2)^2}.$$

Keyingi hisoblarda $x = r \cos \theta$ va $y = r \sin \theta$ ekanligini e'tiborga olib, qutb koordinatalariga o'tish qulayroq. Bu qiymatlarni u_x va u_y tezlik komponentalari ifodasiga qo'yamiz:

$$u_x = 1 - \frac{\cos^2 \theta - \sin^2 \theta}{r^2}; \quad (4.35)$$

$$u_y = \frac{2 \sin \theta \cos \theta}{r^2}. \quad (4.36)$$

Limitga o'taylik. $r \rightarrow \infty$ da $u_{x(\infty)} = 1$ va $u_{y(\infty)} = 0$, ya'ni talab qilingan narsa isbotlandi.

4.12-rasmda ko'rsatilgan A va B nuqtalar *maxsus* yoki *kritik nuqtalar* deb ataladi, chunki bu nuqtalarda tezlik nolga teng. Buning to'g'ri ekanligini ko'rsataylik. Tezlik potentsiali uchun ifodani qutb koordinatalarida yozaylik:

$$\varphi = x + \frac{x}{x^2 + y^2} = r \cos \theta + \frac{r \cos \theta}{r^2}; \quad \varphi = \left(r + \frac{1}{r} \right) \cos \theta \quad (4.37)$$

Xuddi shunday, oqim funksiyasining ifodasini ham chiqarish mumkin:

$$\psi = \left(r - \frac{1}{r} \right) \sin \theta.$$

Ixtiyoriy oqim chizig'idagi ixtiyoriy nuqtaning tezligi proeksiyalarini topaylik:

$$u_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left(r + \frac{1}{r} \right) \cos \theta = \left(1 - \frac{1}{r^2} \right) \cos \theta;$$

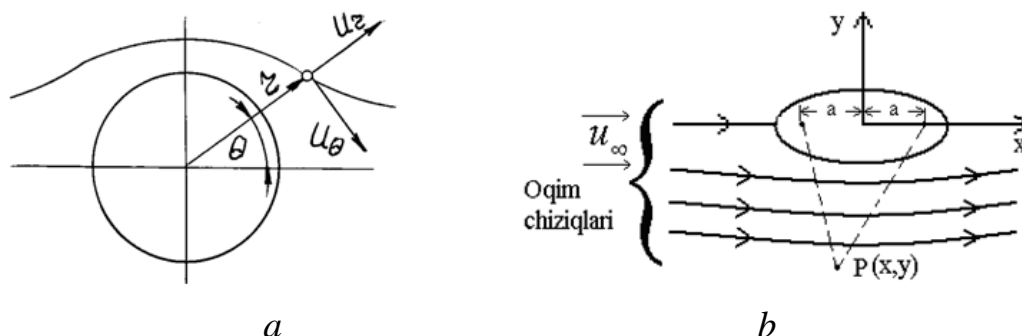
$$u_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = \left(1 + \frac{1}{r^2} \right) \frac{\partial}{\partial \theta} \cos \theta = -\left(1 + \frac{1}{r^2} \right) \sin \theta.$$

Silindrning sirti bo'ylab tezlikning taqsimotini qaraylik. Silindrning $r=1$ sirtida tezlikning normal tashkil etuvchisi nolga teng: $u_r = 0$, ya'ni aylanib oqish uzluksiz. Bu suyuqlikni chegaradan o'tkazmaslik sharti. Ikkinchi komponenta esa $u_\theta = -2 \sin \theta$ bo'lib, bu tezlikning urinma tashkil etuvchisi sinusoidal qonun bilan o'zgarishini bildiradi. U faqat θ dan bog'liq bo'lib, silindrning radiusi r dan bog'liq emas. Umumiy holda, $u_\infty \neq 1$ bo'lganda

$$u_\theta = -2u_\infty \sin \theta, \quad (4.38)$$

bunda manfiy ishora silindrning yuqori yarimida tezlik yoʻnalishi θ burchak hisobi yoʻnalishiga qarama-qarshi ekanligini bildiradi (4.13,a-rasm). Tezlik maksimal qiymatiga $\pm\pi/2$ da erishadi: $u_\theta = 2u_\infty$.

A va B nuqtalarda ($\sin \theta = 0$) tezliklar nolga teng, yaʼni haqiqatan ham bu nuqtalar kritik nuqtalar hisoblanadi. Bir jinsli oqimda joylashgan manba (oval markazidan chapga a masofadagi nuqtada) va manfiy manba (xuddi shunday oʻngdagi nuqtada) *Renkin ovali* atrofida aylanib potentsial oqish masalasini yuqoridagilar asosida yechish mumkin boʻladi (4.13,b-rasm).



4.13-rasm. Silindr (a) va oval (b) atrofida aylanib oqishda oqim chizigʻidagi nuqtaning tezligi komponentalari.

Oqimning ixtiyoriy $P(x,y)$ nuqtasidagi tezlik oqimdagi manba va man-fiy manbalar uchun quyidagi ifodalarni chiqarish bilan topiladi ($u_\infty=1$):

$$u_x = 1 + \frac{Q}{2\pi} \left[\frac{x+a}{(x+a)^2 + y^2} - \frac{x-a}{(x-a)^2 + y^2} \right];$$

$$u_y = \frac{Q}{2\pi} y \left[\frac{1}{(x+a)^2 + y^2} - \frac{1}{(x-a)^2 + y^2} \right].$$

Kompleks oʻzgaruvchili funksiyalar nazariyasining ideal suyuqliklar tekis oqimini oʻrganishga qoʻllanilishi. Quyida qaraladigan usul tekis oqimlarni tahlil qilishda samarali usullardan biri hisoblanadi. Yuqorida olingan (4.17) – Koshi-Riman munosabatlari shuni koʻrsatadiki, x va y haqiqiy oʻzgaruvchilardan bogʻliq ikkita φ va ψ funksiyalarning $\varphi(x,y) + i\psi(x,y)$ - kompleks kombinatsiyasi $z = x + iy$ kompleks oʻzgaruvchining analitik funksiyasidir. Boshqacha aytganda, bu shartlar shuni koʻrsatadiki, shunday $W=W(z)$ kompleks oʻzgaruvchili funksiya mavjudki, uning haqiqiy va mavhum qismlari mos ravishda φ va ψ funksiyalarga teng, yaʼni

$$W=W(z) = \varphi + i\psi.$$

Berilgan biror nuqtada $W(z)$ funksiya *analitik funksiya* deyiladi, agar u shu nuqtaning oʻzida ham, uning biror atrofida ham differensiallanuvchi boʻlsa. Gidromexanikada $W(z)$ funksiya *kompleks potentsial* deb ataladi. Maʼlumki, analitik funksiyalar va kompleks oʻzgaruvchili funksiyalar nazariyasi klassik matematikada juda rivojlangan hisoblanadi. Shuning uchun bular haqida qisqacha tushunchalarni

beramiz, qolgan to'laroq ma'lumotlarni o'quv darsliklaridan olish maqsadga muvofiq.

Kompleks o'zgaruvchili funksiyalar nazariyasidan ma'lumki, $W = \varphi + i\psi$ kompleks potentsialdan $z = x + iy$ kompleks o'zgaruvchi bo'yicha hosila quyidagicha topiladi:

$$\frac{dW}{dz} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + i \frac{\partial \psi}{\partial x} = u_x - iu_y. \quad (4.39)$$

Bu ifoda *kompleks tezlik* deb ataladi. Bu miqdorning moduli tezlikning o'zini beradi, ya'ni

$$\left| \frac{dW}{dz} \right| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = u. \quad (4.40)$$

3-masala. $W = az^2$ kompleks potentsial uchun tezlik potentsialini, oqim funksiyasini va harakat xarakterini aniqlang, bunda a – biror haqiqiy son.

Yechish. $W = \varphi + i\psi$ va $z = x + iy$ ekanligini e'tiborga olib, quyidagini yozamiz:

$$\varphi + i\psi = a(x + iy)^2 = ax^2 + 2aixy - ay^2 = a(x^2 - y^2) + i2axy.$$

Buni haqiqiy va mavhim qismlarga ajratsak,

$$\varphi = a(x^2 - y^2) \text{ va } \psi = 2axy.$$

Bunday oqim 2-masalada qaralgan edi. Bu yerda shunga e'tibor berish kerakki, kompleks potentsial yordamida masala qisqa yo'l bilan yechiladi.

Kompleks tezlikni topamiz:

$$\frac{dW}{dz} = u_x - iu_y; \quad u_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = 2ax; \quad u_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -2ay;$$

$$\frac{dW}{dz} = 2ax + i2ay = 2a(x + iy) = 2az;$$

$$u = \left| \frac{dW}{dz} \right| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = 2a\sqrt{x^2 + y^2} = 2ar,$$

ya'ni suyuqlik zarrachalari oqimning giperbolik chizig'i bo'ylab $u = 2ar$ tezlik bilan harakat qiladi.

Konform akslantirishlar. Akslantirilayotgan shakl ichidagi ixtiyoriy ikkita chiziqlar orasidagi burchaklar miqdori o'zgaraydigan geometrik akslantirishlar *konform akslantirishlar* yoki *almashtirishlar* deb ataladi. Konform akslantirishlar suyuqlik va gaz mexanikasida keng qo'llaniladi. Bu yerda bu usulning umumiy qoidasining berib o'tamiz: z tekislikda biror (A) shakl berilgan bo'lib, uni ζ tekislikka akslantirish zarur bo'lsin (4.14-rasm). Bu amalning bajarilishi uchun quyidagi shartning bajarilishi zarur: ζ va z o'rtasidagi bog'lanishni o'rnatuvchi $\zeta = f(z)$ munosabat ma'lum bo'lishi kerak. Bu bog'lanish *akslantiruvchi funksiya* deb ataladi. Faraz qilaylik, u bizga ma'lum bo'lsin. U holda, A konturning ixtiyoriy nuqtasi sifatida berilgan, masalan 1, nuqtada z_1 ni hisoblab, bu qiymatni uni akslantiruvchi funksiyaga qo'yib, unga mos ζ_1 qiymatni topish mumkin va bu ζ tekislikda 1' nuqta

bo‘ladi. Xuddi shunday amallar bajarib, 2, 3 va hokazo nuqtalar uchun 2', 3', ... larni topamiz. Natijada ζ tekislikda B konturni hosil qilamiz, ya'ni A kontur B konturga akslantirildi. Bunday akslantirishni *konform akslantirish* deb atash qabul qilingan. Kompleks o‘zgaruvchili funksiyalar nazariyasida isbotlanadiki, $\varphi'(z)$ hosilaning moduli akslantirishda sohaning chiziqli o‘lchamlari o‘zgarishini xarakterlaydi, uning argumenti esa radius-vektorning burilish burchagini aniqlaydi.

Bunda analitik funksiya yordamida amalga oshirilayotgan akslantirish akslantirayotgan funksiyaning hosilasi noldan farqli barcha nuqtalarda bu burchaklarni saqlab qoladi. Endi savolni quyidagicha qo‘yamiz: konform akslantirish usulini qo‘llash bilan qanday amaliy yutuqqa ega bo‘lish mumkin?

Bu savolga javob berish uchun eng muhim masalalardan biriga to‘x-talaylik. Ma'lumki, qanot hisobining eng bosh masalasi uning ko‘tarish kuchini aniqlashdan iborat. Buning uchun qanot atrofida aylanib oquvchi oqimning har bir nuqtasida zarrachalarning tezliklarini bilish zarur.

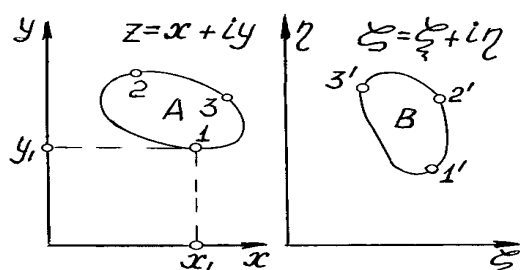
Qanotli profil yetarlicha murakkab shakl va nazariy jihardan bundagi tezliklarni hisoblashning hecham iloji yo‘q. Ammo, yuqorida ko‘rsatildiki, silindr uchun bu masala osongina yechiladi. Shuning uchun qanotli profil atrofida aylanib oqish masalasini silindr atrofida aylanib oqish masalasiga almashtira olsak, u holda masala yechilgan bo‘lar edi. Buni konform akslantirish bilan amalga oshirish mumkin.

4.15-rasmni qaraylik, bunda chapdagi shtrixlangan (profilning tashqarisi) sohani o‘ngdagi shtrixlangan (doiraning tashqarisi) sohaga konform aksaltirish bilan profil atrofida aylanib oqish masalasi silindr atrofida aylanib oqish masalasiga keltiriladi.

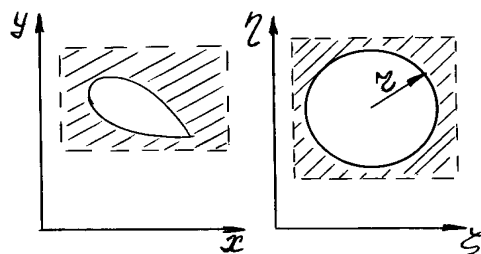
Silindrning ixtiyoriy nuqtasidagi tezlikni hisoblab, teskari akslantirish yordamida profilning mos nuqtasidagi tezlikni topish mumkin. Konform akslantirishning qaralayotgan masalasida aniq shartlar bilan talab qilinayotgan akslantiruvchi funksiyaning topish masalasi alohida masaladir. Yuqorida qaralgan masalaning yechimi N.E.Jukovskiy tomonidan topilgan, akslantiruvchi funksiya

$$\zeta = \frac{1}{2} \left(z + \frac{r^2}{z} \right) \quad (4.41)$$

ko‘rinishda olingan va u *Jukovskiy funksiyasi* deb ataladi.



4.14-rasm. Konform akslantirish sxemasi.



4.15-rasm. Profil atrofida aylanib oqish masalasini silindr atrofida aylanib oqish masalasiga akslantirish sxemasi.

Namunaviy masalalar va ularning yechimlari

1-masala. Ushbu $u_x = -\frac{ax}{x^2 + y^2}$, $u_y = \frac{ay}{x^2 + y^2}$, $u_z = 0$ tezlik proeksiya-lari

bilan berilgan suyuqlik oqimidagi $A(x,0)$ va $B(0,y)$ koordinatali nuqtalarni tutashtiruvchi K kontur bo‘ylab tezlik sirkulyatsiyasini hisoblang, bunda a – biror o‘zgarmas son.

Yechish. Biror K kontur bo‘ylab tezlik sirkulyatsiyasi deb ushbu

$$\Gamma = \int_K \vec{u} d\vec{S}$$

chiziqli integralga aytiladi, bunda $\vec{u} d\vec{S} = u_x dx + u_y dy + u_z dz$ - ikkita \vec{u} va $d\vec{S}$ vektorlarning skalyar ko‘paytmasi.

Uyurmasiz oqimda tezlik sirkulyatsiyasini tezlik potentsiali orqali ifodalash mumkin, chunki $u_x dx + u_y dy + u_z dz = d\varphi$, ya’ni

$$\Gamma = \int_K d\varphi = \varphi_{K1} - \varphi_{K2},$$

bunda φ_{K1} , φ_{K2} - potentsial funksiyaning qaralayotgan kontur chetlaridagi qiymatlari. Masalaning berilishidan ko‘rinadiki, suyuqlik oqimi tekis statsionar,

$\frac{\partial u_y}{\partial x} = \frac{\partial u_x}{\partial y}$ (ya’ni $\omega_z = 0$) bo‘lgani uchun esa potentsialdir. $u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \frac{a}{r}$ - oqim tezligini hisoblab, φ - tezlik potentsialini aniqlash mumkin, bunda r – mos

nuqtaning qutb radiusi; θ burchak esa $\cos \theta = \frac{u_y}{u} = \frac{y}{r}$ munosabatdan topiladi. Bu

yerdan kelib chiqadiki, \vec{u} tezlik vektori nuqtaning qutb radiusiga perpendikulyar.

Shunday qilib,

$$u_r = 0, \quad u_s = \frac{a}{r} = \frac{\partial \varphi}{\partial S} = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta}.$$

Bu yerdagi oxirgi tenglamani integrallab, funksiya potentsialini topamiz: $\varphi = a\theta$. Uning bu qiymatiga $\psi = -a \ln r$ oqim funksiyasi mos keladi. Bu yerdan oqim chiziqlari tenglamasini topamiz: $\psi = -a \ln r = C$. Bu tenglamaga ko‘ra oqim chiziqlari markazi koordinata boshida yotgan $r = C$ aylanalardan iborat ekanligi ma’lum bo‘ladi.

Endi tezlik sirkulyatsiyasini hisoblaylik:

$$\Gamma = \oint_{A\vec{B}} d\varphi = \varphi_B - \varphi_A = \frac{C\pi}{2}.$$

Agar koordinata boshini o‘z ichiga oluvchi ixtiyoriy yopiq kontur bo‘ylab sirkulyatsiyani hisoblasak,

$$\Gamma = \int_K d\varphi = \varphi_{A1} - \varphi_A = 2\pi a.$$

Shuning uchun $a = \frac{\Gamma}{2\pi}$. Stoks teoremasiga ko'ra bu holat intensivligi Γ sirkulyatsiyaga teng bo'lgan uyurma ipida maxsus nuqta ($r = 0$) mavjudligini bildiradi. Bunda uyurma ipidan tashqarida esa oqish uyurmasizdir.

2-masala. $\varphi = x(x^2 - 3y^2)$ tezlik potentsiali bilan aniqlanuvchi harakat uchun $A(x_1=0; y_1=0)$ va $B(x_1=1; y_1=1)$ nuqtalarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziq kesmasi orqali suyuqlik sarfini hisoblang.

Yechish. Siqilmaydigan suyuqlik uchun φ tezlik potentsiali va ψ oqim funksiyasi orasidagi (4.17) bog'lanish ifodasidan foydalansak, berilgan oqim uchun oqim funksiyasining quyidagi qiymatini topamiz: $\psi = \int \frac{\partial \varphi}{\partial x} dy + c(x)$. Bunga

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = 3(x^2 - y^2) \text{ ifodani qo'ysak va uni integrallasak, } \psi = y(3x^2 - y^2) + c(x).$$

Ixtiyoriy $c(x)$ funksiyani aniqlash uchun oxirgi ifodani differentsiallash va (4.17) bog'lanishdan foydalanish bilan $\frac{\partial \psi}{\partial x}$ hosilaning qiymatlarini taqqoslaymiz. Natijada

$$6xy + \frac{dc}{dx} = 6xy \text{ ekanligi va bu yerdan esa } c(x) = \text{const} \text{ ekanligi kelib chiqadi. Shunday}$$

qilib, berilgan oqish uchun $\psi = y(3x^2 - y^2) + \text{const}$ ekan. AB chiziq orqali suyuqlik sarfi oqim funksiyasining chiziq oxirgi nuqtalaridagi qiymatlari farqidan topiladi, ya'ni $Q = \psi_B - \psi_A = 2m^3/s$.

3-masala. Tekis siqilmaydigan suyuqlik oqimida tezlikning tashkil etuvchilari ushbu $u_x = x - 4y$, $u_y = -(y + 4x)$ tenglamalar bilan berilgan bo'lsin. Oqim funksiyasining ifodasini toping. Potensial oqimda tezliklar potentsiali ifodasini oling.

Yechish. Ma'lumki,

$$u_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} = x - 4y, \quad u_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -(y + 4x).$$

Bu yerda birinchi tenglamadan quyidagini topamiz:

$$\psi = \int (x - 4y) dy + f(x) + C = xy - 2y^2 + f(x) + C.$$

$x = 0, y = 0$ bo'lganda $\psi_0 = 0$ ekanligidan $C = 0$ va $\psi = xy - 2y^2 + f(x)$. $f(x)$ funksiyani quyidagi shartdan topamiz:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = y + \frac{d}{dx} f(x) = -u_y = y + 4x.$$

Demak, $f(x) = \int 4x dx = 2x^2$. Shunday qilib,

$$\psi = xy + 2(x^2 - y^2).$$

Suyuqlik harakatining xarakterini aniqlash uchun tezlik rotorining (uyurmaning)

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \text{ tashkil etuvchisini topish lozim. Ma'lumki,}$$

$\frac{\partial u_y}{\partial x} = -4$; $\frac{\partial u_x}{\partial y} = -4$ ekanligidan $\omega_z = 0$, ya'ni suyuqlik oqimi potensial ekan.

Potensial oqim uchun $\frac{\partial \varphi}{\partial x} = u_x = x - 4y$ ekanligidan

$$\varphi = \int (x - 4y) dx + f_1(y) + C_1.$$

Xuddi yuqoridagidek, $x = 0$, $y = 0$ bo'lganda $\psi_0 = 0$ ekanligidan $C_1 = 0$ va

$$\varphi = \frac{x^2}{2} - 4xy + f_1(y). \text{ Endi esa } \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -4x + \frac{d}{dy} f_1(y) = u_y = -y - 4x \text{ ekanligi}$$

dan $f_1(y) = -\int y dy = -\frac{y^2}{2}$ va tezlik potentsiali $\varphi = \frac{1}{2}(x^2 - y^2) - 4x$ topiladi.

4-masala. Kompleks potensial ushbu

$$W(z) = U(z + r_0^2 / z) - \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z \quad (4.42)$$

funksiya bilan berilgan bo'lsin. Bu funksiya uchta sodda oqimlarning kompleks potentsiallari yig'indisidan iborat murakkab oqimni ifodalaydi. Bu funksiyadan har bir bunday kompleks potentsialni ajrating va oqimning xarakterini aniqlang.

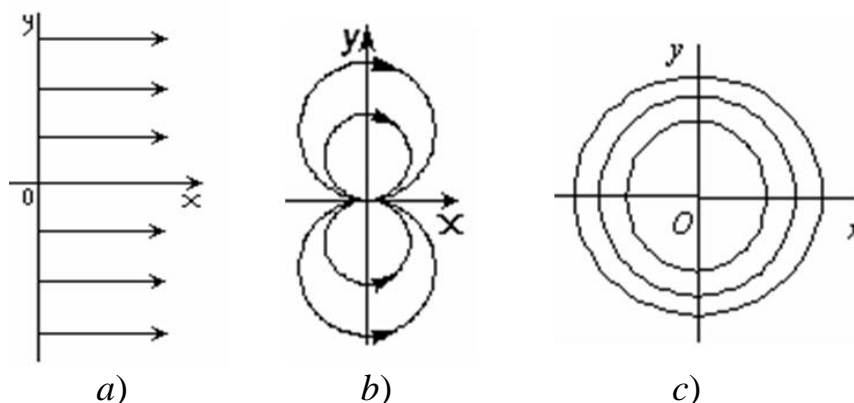
Yechish. (4.42) kompleks potentsialni quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$W(z) = Uz + Ur_0^2 / z - \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z.$$

Bu tenglamadagi har bir qo'shiluvchi sodda oqimlarning kompleks potentsialini ifodalaydi: $W_1 = Uz$, $W_2 = Ur_0^2 / z$, $W_3 = -\frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z$. Ushbu $W_1 = \varphi_1 + i\psi_1$ kompleks potentsial bilan ifodalanuvchi oqimni qaraylik. $z = x + iy$ ekanligini e'tiborga olsak, bu potentsial uchun $W_1 = \varphi_1 + i\psi_1 = U(x + iy)$ bo'ladi. Bundan esa $\varphi_1 = Ux$; $\psi_1 = Uy$. Bu oqim uchun oqim chiziqlari tenglamasi $\psi_1 = Uy = const$ kabi, ya'ni u $W_1 = Uz$ kompleks potentsial uchun Ox o'q bo'ylab U tezlik bilan ilgarilanma harakatlanayotgan oqimni ifodalaydi (4.16, a-rasm).

$W_2 = Ur_0^2 / z$ kompleks potentsial esa koordinatalar boshida joylashgan dipoldan tarqalayotgan oqimni ifodalaydi. Bu dipolning momenti quyidagicha: $M = -2\pi Ur_0^2$ (4.16, b-rasm). Dipolning tezliklari potentsiali va oqim funksiyasi quyidagicha:

$$W_2 = \varphi_2 + i\psi_2 = \frac{U}{r} r_0^2 (\cos \theta - i \sin \theta); \quad \varphi_2 = \frac{U}{r} r_0^2 \cos \theta; \quad \psi_2 = -\frac{U}{r} r_0^2 \sin \theta.$$



4.16-rasm. Suyuqlik oqishining ko‘rinishlari:
a) ilgari lanma oqish; b) dipoldan oqish; c) sirkulyatsion oqish.

Uchinchi $W_3 = -\frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z$ kompleks potensial koordinatalar boshida joylashgan uyurma nuqtasidan hosil bo‘layotgan sirkulyatsion oqimni ifodalaydi (4.16, c-rasm).

Tekis potensial uyurma – bu shunday statsionar tekis uyurmasiz harakatki, bunda suyuqlik zarrachalari markaziy nuqta (uyurma markazi) atrofidagi konsentrik aylanalar bo‘ylab harakat qiladi. Bu harakatning «uyurma» deb atalishiga qaramasdan, u sirkulyatsion uyurmasiz harakardir. Bunga mos keluvchi tezliklar potensialini va oqim funksiyasini topish uchun W_3 ning ifodasida $z = re^{i\theta}$ almashtirish olib, uni $W_3 = \varphi_3 + i\psi_3 = i\frac{\Gamma}{2\pi} (\ln r + i\theta)$ kabi yozamiz.

Shunday qilib,

$$\varphi_3 = -\frac{\Gamma}{2\pi} \theta = -\frac{\Gamma}{2\pi} \operatorname{arctg} \frac{y}{x}; \quad \psi_3 = \frac{\Gamma}{2\pi} \ln r = \frac{\Gamma}{2\pi} \ln \sqrt{x^2 + y^2}$$

Bu holda $\psi_3 = \frac{\Gamma}{2\pi} \ln r = \text{const}$ tenglama bilan ifodalanuvchi oqim chiziqlari markazi koordinata boshida bo‘lgan konsentrik aylanalarni ifodalaydi. Bu holat manba va tekis uyurma masalalari o‘zaro qo‘shma ekanligini bildiradi.

5-masala. Potensial oqim ushbu $\varphi = -\exp(x^2 - y^2) \cos(2xy)$ ifoda bilan berilgan qonuniyat asosida kechayotgan bo‘lsa, uni Maple matematik paketi yordamida tahlil qiling.

Yechish. Ushbu ifoda deformatsiyalanmaydigan to‘gri burchak ichida potensial suyirilikni ifodalovchi Laplas tenglamasining quyidagi

$$x = 0 \text{ da } u = -\partial\varphi/\partial x = 0 \quad \text{va} \quad y = 0 \text{ da } v = -\partial\varphi/\partial y = 0$$

chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi yechinidan iborat.

Buning Maple matematik paketi yordamidagi ketma-ket tahlilini amalga oshirib borish bilan bu jarayonning fizik xossalarini kengroq tushunib boramiz. Avvalo φ funksiyaning o‘zini, keyin esa oqim tezligi komponentalarini, oqim tezligi modulini hisoblash komandalarini ketma-ket yozamiz:

> phi:=-exp(x^2-y^2)*cos(2*x*y);

$$\phi := -e^{(x^2 - y^2)} \cos(2xy)$$

> U:=-diff(phi,x);

$$U := 2 x e^{(x^2-y^2)} \cos(2 x y) - 2 e^{(x^2-y^2)} \sin(2 x y) y$$

> V:=-diff(phi,y);

$$V := -2 y e^{(x^2-y^2)} \cos(2 x y) - 2 e^{(x^2-y^2)} \sin(2 x y) x$$

> q:=sqrt(U^2+V^2);

$$q := \sqrt{\left((2 x e^{(x^2-y^2)} \cos(2 x y) - 2 e^{(x^2-y^2)} \sin(2 x y) y)^2 + (-2 y e^{(x^2-y^2)} \cos(2 x y) - 2 e^{(x^2-y^2)} \sin(2 x y) x)^2 \right)}$$

> simplify(%);

$$2 \sqrt{e^{(2(x-y)(x+y))} (x^2 + y^2)}$$

> diff(U,x)+diff(V,y);

$$0$$

Bu oxirgi komanda berilgan φ funksiya ifodasining Laplas tenglamasini qanoatlantirishini ko'rsatadi. Demak tahlilni davom ettirgan holda jarayonning ψ oqim chiziqlarini hamda oqim tezligi moduli q ning taqsimotini qurish mumkin.

> psi:=int(U,y);

$$\psi := 2 \frac{e^{(x^2-y^2)} \tan(x y)}{1 + \tan(x y)^2}$$

> with(plots):

> contourplot(exp(x^2-y^2)*sin(2*x*y),x=-3..3,y=0..0.5, grid=[15,15], contours=[0.05,0.1,0.2,0.4,0.6,0.8,1,2,4,8,10,12], numpoints=4000);

> contourplot(exp(x^2-y^2)*abs(sin(2*x*y)),x=-2.5..2.5, y=0..0.5, grid=[15,15], contours=[0.05,0.1,0.2,0.4,0.6,0.8,1,2,4,8,10,12],numpoints=4000);

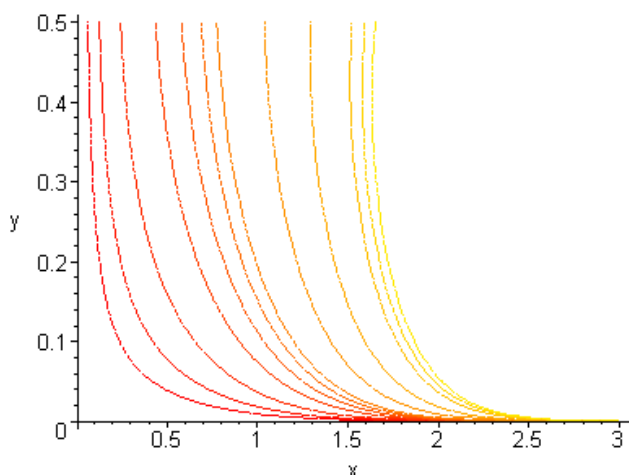
Yechimning to'g'riligini tekshirish:

> a:=diff(psi,y);

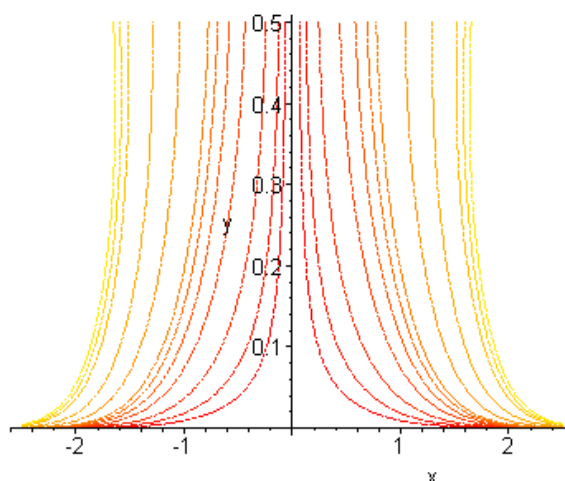
$$a := -4 \frac{y e^{(x^2-y^2)} \tan(x y)}{1 + \tan(x y)^2} + 2 e^{(x^2-y^2)} x - \frac{4 e^{(x^2-y^2)} \tan(x y)^2 x}{1 + \tan(x y)^2}$$

> simplify(%);

$$-2 \frac{e^{((x-y)(x+y))} (2 y \tan(x y) - x + \tan(x y)^2 x)}{1 + \tan(x y)^2}$$



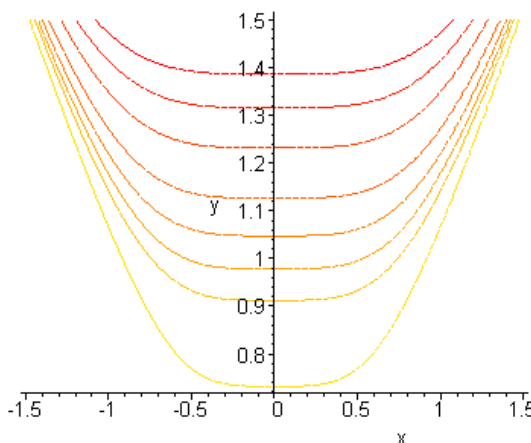
4.17-rasm. Deformatsiyalanmay-digan to'gri burchak ichida potensial suyrilikning oqim chiziqlari taqsimoti.



4.18-rasm. Tekislikda yassi potensial sharrachaning oqim chiziqlari taqsimoti.

```
> contourplot(2*sqrt(exp(2*(x^2-
y^2))*(x^2+y^2))),x=-1.5..1.5,y=0..1.5,
grid=[15,15],contours=
[0.05,0.1,0.2,0.4,0.6,0.8,1,1.5],
numpoints=4000);
```

Xulosa sifatida shuni ta'kidlaymizki, olingan yechim ushbu $|x| \leq 3$, $y < 0,5$ cheklangan sohadagina o'rinli (4.18-rasm).



4.19-rasm. Tekislikdagi yassi potensial sharrachaning oqimida oqim tezliklari modullarining (q) qiymatlariga teng chiziqlar taqsimoti:

1 - $q=0.05$; 2 - $q=0.1$; 3 - $q=0.2$; 4 - $q=0.4$; 5 - $q=0.6$; 6 - $q=0.8$; 7 - $q=1.0$; 8 - $q=1.5$.

Topshiriqlar

1. Siqilmaydigan ideal suyuqlikning statsionar oqimida doiraviy silindrning sirkulyatsion suyriligini ifodalovchi ushbu $W(z) = U(z + r_o^2 / z) + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z$ kompleks potensial uchun natijaviy oqimning tezlik potensialini va oqim funksiyasini toping. Aylanib oqayotgan konturning tenglamasini chiqaring, hamda shu oqim va kontur bo'ylab tezliklar taqsimotini toping (4-namunaviy masala yechimidan foydalaning).

2. Harakat $W(z) = (1+i)\ln(z^2-1) + (2-3i)\ln(z^2-4) + 1/z$ kompleks potentsial bilan aniqlanadi. $x^2 + y^2 = 9$ tenglama bilan aniqlanuvchi aylana orqali suyuqlik sarfini aniqlang va shu aylana bo'ylab Γ tezlik sirkulyatsiyasini toping.

3. Siqilmaydigan ideal suyuqlikning statsionar oqimida doiraviy silindrning sirkulyatsion suyriligini ifodalovchi $W(z) = U(F(z) + r_o^2 / F(z)) + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln F(z) -$

kompleks potentsialga mos $[-a, a]$ kesmada plastinkaning suyriligini ifodalovchi ushbu $W(z) = \frac{1}{2}U(z + \sqrt{z^2 - a^2}) + \frac{1}{2}U(z - \sqrt{z^2 - a^2}) + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln(z + \sqrt{z^2 - a^2})$

kompleks potentsial uchun oqimning tezlik potentsialini va oqim funksiyasini toping. Aylanib oqayotgan konturning tenglamasini chiqaring, hamda shu oqim va kontur bo'ylab tezliklar taqsimotini toping (4-namunaviy masala yechimidan foydalaning).

4. Siqilmaydigan ideal suyuqlikning statsionar oqimida a va b yarim o'qli ellipsning suyriligini ifodalovchi ushbu

$$W(z) = \frac{1}{2}U(z + \sqrt{z^2 - (a^2 - b^2)}) + \frac{1}{2}U(z - \sqrt{z^2 - (a^2 - b^2)}) + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln(z + \sqrt{z^2 - (a^2 - b^2)})$$

kompleks potentsial uchun oqimning tezlik potentsialini va oqim funksiyasini toping. Aylanib oqayotgan konturning tenglamasini chiqaring, hamda shu oqim va kontur bo'ylab tezliklar taqsimotini hamda elliptik silindrga ta'sir etayotgan kuch momentini toping (4-namunaviy masala yechimidan foydalaning).

Sinov savollari

1. Potentsial oqim va ularni ustma-ust qo'yish deganda nimani tushunasiz?
2. Potentsial oqimni hisoblashning qanday usullarini bilasiz?
3. Manma va manfiy manba uchun oqim funksiyasi qanday ifodalanadi?
4. Doiraviy silindr atrofidan nosirkulyatsion aylanib oqish masalasini tushuntiring.
5. Renkin ovali nima?
6. Superpozitsiya usulining g'oyasini tushuntiring.
7. Potentsial harakatda kritik nuqtalarni qanday tushunasiz?
8. Dipol deb nimaga aytiladi?
9. Ideal suyuqlik oqimi uchun kompleks o'zgaruvchili funksiyalar nazariyasi elementlari qanday qo'llaniladi?
10. Konform akslantirish nima?
11. Akslantiruvchi funksiya deb nimaga aytiladi?
12. Jukovskiy funksiyasi va oqim turlarini tushuntiring.

“Suyuqlik va gaz mexanikasi” test

1. O'zgarmas tezlanish bilan harakatlanayotgan sisternaning erkin sirti qiyalik birchagi qanday o'zgaradi?

- a) o'zgarmaydi
- b) erkin sirti parabola shakliga keladi
- c) o'zgaradi
- d) erkn sirti gorizontal holatda qoladi

2. Suyuqlikning oqimi ko'ndalang kesimi yuzasi harakat yo'nalishiga perpendikulyar bo'lganda u nima deb ataladi?

- a) jonli kesim
- b) ochiq kesim
- c) to'la kesim
- d) oqim sarfi yuzasi

3. Jonli kesimning qattiq devor bilan cheklangan perimetri qismi nima deb ataladi?

- a) ho'llanish perimetri
- b) namlanish perimetri
- c) gidravlik perimetr
- d) tutashish perimetri

4. Vaqt birligi ichida jonli kesim orqali oqib o'tgan suyuqlik miqdori nima deb ataladi?

- a) oqim sarfi
- b) oqim hajmi
- c) oqim tezligi
- d) oqim sarfi tezligi

5. Oqim sarfining jonli kesim yuzasiga nisbati nima deb ataladi?

- a) suyuqlik oqimi sarfining o'rtacha tezligi
- b) suyuqlik oqimining o'rtacha sarfi
- c) suyuqlik oqimining maksimal tezligi
- d) suyuqlik oqimining minimal sarfi

6. Suyuqlik oqimi jonli kesimining ho'llanish perimetriga nisbati nima deb ataladi?

- a) oqimning gidravlik radiusi
- b) oqim sarfi
- c) oqimning gidrodinamik sarfi
- d) oqimning gidravlik tezligi

7. Oqim sarfi quyidagi lotin harflaridan qaysi biri bilan belgilanadi?

- a) Q

- b) V
- c) P
- d) H

8. Oqimning uzviylik tenglamasi quyidagicha yoziladi:

- a) $\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 = const$
- b) $\omega_1 v_2 = \omega_2 v_1 = const$
- c) $\omega_1 \omega_2 = v_1 v_2 = const$
- d) $\omega_1 / v_1 = \omega_2 / v_2 = const$

9. Ideal suyuqlik uchun D.Bernulli tenglamasini ko'rsating:

- a) $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$
- b) $z_1 + \alpha_1 \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \alpha_2 \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$
- c) $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$
- d) $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h$

10. Real suyuqlik uchun D.Bernulli tenglamasini ko'rsating:

- a) $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum h$
- b) $z_1 + \frac{v_1^2}{\rho g} + \frac{p_1}{2g} = z_2 + \frac{v_2^2}{\rho g} + \frac{p_2}{2g}$
- c) $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$
- d) $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$

11. Mahalliy energiya yo'qotilishi nimaning hisobidan paydo bo'ladi?

- a) mahalliy qarshiliklar
- b) chiziqli qarshiliklar
- c) harakatlanayotgan suyuqlik massasi
- d) harakatlanayotgan suyuqlik inertsiasiyasi

12. Barqaror harakatni xarakterlovchi tenglamalarni ko'rsating:

- a) $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z)$
- b) $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z)$
- c) $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z, t)$
- d) $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z, t)$

13. Oqim sarfini ifodalovchi birlikni ko'rsating:

- a) m^3/s
- b) m^2/s

- c) m/s
- d) m^3/s^2

14. Suyuqlikning laminar tartibdagi harakati uchun Koriolis koeffitsiyentining qiymati quyidagiga teng:

- a) 2,0
- b) 3,0
- c) 1
- d) 1,5

15. Suyuqlikning turbulent tartibdagi harakati uchun Koriolis koeffitsiyentining qiymati quyidagiga teng:

- a) 1,0
- b) 2,0
- c) 3,0
- d) 1,5

16. Suyuqlikning bir kesimdan ikkinchi kesimgacha oqib borishida yo'qotilgan napor ...

- a) oshadi
- b) kamayadi
- c) o'zgarmaydi
- d) mahalliy qarshiliklar hisobiga oshadi

17. Suyuqlikning laminar tartibli oqimi – bu ...

- a) suyuqlik zarrachalari ma'lum tuzilishni saqlagan holdagi harakati tartibi
- b) suyuqlik zarrachalari quvur devorida tizimsiz ko'chishi tartibi
- c) suyuqlik zarrachalari tizimsiz ko'chishi tartibi
- d) suyuqlik zarrachalari quvur devorida qatlamli harakati tartibi

18. Suyuqlikning turbulent tartibli oqimi – bu ...

- a) suyuqlik zarrachalari quvurda tizimsiz ko'chishi tartibi
- b) suyuqlik zarrachalarining ma'lum tuzilishni saqlagan holdagi tartibi
- c) suyuqlik zarrachalarining qatlamli va tizimsiz harakati tartibi
- d) suyuqlik zarrachalarining faqat quvur markazida qatlamli harakati tartibi

19. Reynolds sonini hisoblash formulasi quyidagicha:

- a) $Re = \frac{\rho d}{\nu}$
- b) $Re = \frac{\rho d}{\mu}$
- c) $Re = \frac{\nu d}{g}$
- d) $Re = \frac{\nu l}{g}$

20. Reynolds soni qaysi parametrlardan bog'liq?

- a) quvurning diametridan, suyuqlikning kinematik qovushoqligidan va suyuqlikning harakat tezligidan
- b) quvurning uzunligidan, suyuqlikning sarfidan va suyuqlikning temperaturasidan
- c) suyuqlikning zichligidan, suyuqlikning dinamik qovushoqligidan va suyuqlikning harakat tezligidan
- d) quvur devorining g'adir-budirligidan, suyuqlikning qovushoqligidan va suyuqlikning harakat tezligidan

21. Reynolds sonining kritik qiymati nimaga teng?

- a) 2300
- b) 3200
- c) 4000
- d) 4600

22. Agar $Re > 4000$ bo'lsa oqim tartibi ...

- a) turbulent
- b) laminar
- c) kavitatsion
- d) bir tartibdan ikkinchisiga almashinuvchan

23. Agar $Re < 2300$ bo'lsa oqim tartibi ...

- a) laminar
- b) turbulent
- c) kavitatsion
- d) bir tartibdan ikkinchisiga almashinuvchan

24. Yo'qotilgan naporni hisoblash formulasi nima deb ataladi?

- a) Veyesbax-Darsi formulasi
- b) Reynolds soni
- c) Nikuradze grafigi
- d) Kolbruk-Uayt nomogrammasi

25. Teshikdan suyuqlikning oqish tezligini hisoblash formulasini ko'rsating:

- a) $\vartheta = \varphi \sqrt{2gH}$
- b) $\vartheta = 2\sqrt{\varphi gH}$
- c) $\vartheta = \sqrt{2\varphi gH}$
- d) $\vartheta = \varphi^2 \sqrt{2gH}$

26. Jonli kesim quyidagi harflardan qaysi biri bilan belgilanadi?

- a) ω
- b) W
- c) η
- d) φ

27. Barqaror bo'lmagan harakatda qaralayotgan vaqt momentida tezlik vektori har bir nuqtasida urinma bo'ylab yonalgan chiziq nima deb ataladi?

- a) oqim chizig'i
- b) oqim trayektoriyasi
- c) oqim naychasi
- d) oqim sharrachasi

28. Suyuqlikning oqim chiziqlaridan tashkil topgan, cheksiz kichik ko'ndalang kesimli trubka shaklidagi sirti nima deb ataladi?

- a) oqim naychasi
- b) oqim chizig'i
- c) elementar sharracha
- d) oqim trayektoriyasi

29. Oqimning elementar sharrachasi – bu ...

- a) oqimning oqim naychasi ichidagi qismi
- b) oqimning oqim chiziqlari bilan o'ralgan bo'lagi
- c) oqim chizig'i bo'ylab harakatlanayotgan oqim hajmi
- d) ixtiyoriy trayektoriyali uzluksiz oqim

30. Suyuqlikning erkin sirtli oqimi nima deb ataladi?

- a) naporsiz oqim
- b) naporli oqim
- c) erkin oqim
- d) barqaror oqim

31. Suyuqlikning quvurdagi erkin sirtsiz yuqori yoki quyi bosimli oqimi nima deb ataladi?

- a) naporli oqim
- b) naporsiz oqim
- c) barqaror bo'lmagan oqim
- d) erkin bo'lmagan oqim

32. D.Bernulli tenglamasining z harfi bilan belgilangan hadi nima deb ataladi?

- a) geometrik balandlik
- b) pyezometrik balandlik
- c) tezlik balandligi
- d) yo'qotilgan balandlik

33. Bernulli tenglamasining $\frac{p}{\rho g}$ bilan belgilangan hadi nima deb ataladi?

- a) pyezometrik balandlik
- b) geometrik balandlik
- c) tezlik balandligi

d) yo'qotilgan balandlik

34. Bernulli tenglamasining $\alpha \frac{v^2}{2g}$ bilan belgilangan hadi nima deb ataladi?

- a) tezlik balandligi
- b) pyezometrik balandlik
- c) geometrik balandlik
- d) yo'qotilgan balandlik

35. Oqimning ikkita farqli kesimlari orasida o'rnatilgan D.Bernulli tenglamasi qaysi parametrlar o'rtasidagi bog'lanishni ifodaladi?

- a) bosim, tezlik va geometrik balandlik
- b) bosim, sarf va tezlik
- c) geometrik balandlik, tezlik va sarf
- d) tezlik, bosim va Koriolis koeffitsiyenti

36. D.Bernulli tenglamasidagi Koriolis koeffitsiyenti nimani xarakterlaydi?

- a) suyuqlik oqimi tartibini
- b) quvurning gidravlik qarshilik darajasini
- c) napor tezligining o'zgarishini
- d) to'la energiya sathi pasayishining darajasini

37. Pito naychasida suuqlik sathi ko'rsatgichi nimani anglatadi?

- a) to'la energiya sathini
- b) energiya tezligini
- c) pyezometrik energiya o'zgarishini
- d) to'la va pyezometrik energiyalar orasidagi farqni

38. Yo'qotilgan balandlik nimani xarakterlaydi?

- a) quvurning qarshilik darajasini
- b) bosimning o'zgarish darajasini
- c) quvurdagi suyuqlik oqimi yo'nalishini
- d) suyuqlik oqimi tezligi o'zgarishining darajasini

39. Chiziqli yo'qotilgan bosim nimaning hisobidan paydo bo'ladi?

- a) suyuqlik qatlamlari orasidagi ishqalanish kuchi
- b) mahalliy qarshiliklar
- c) quvur uzunli
- d) suyuqlikning qovushoqligi

40. Oqimning ikkita farqli kesimlari orasida D.Bernulli tenglamasi o'rnatilganda qaysi gidroelementlarni shu kesimga o'rnatish mumkin?

- a) filtr, jo'mrak, diffuzor, tirsak
- b) gidrosilindr, drossel (yonilg'i, gaz, bug' o'tishi tartibga soluvchi qopqoq) , klapan (qopqoq), soplo
- c) jo'mrak, konfuzor, drossel, nasos
- d) filtr, gidromotor, diffuzor, tarmoq

GLOSSARIY

А

АБСОЛЮТНО ТВЕРДОЕ ТЕЛО – *absolyut qattiq jism*; har qanday ta'sir natijasida ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgaraydigan jism.

АБСОЛЮТНОЕ ДАВЛЕНИЕ – *mutlaq bosim*; atmosfera bosimi va chegirma bosim yig'indisiga teng: $P_{abs} = P_{atm.} + P_{ort.}$

АРХИМЕДОВА СИЛА – *Arximed kuchi*; jismni suyuqlik yoki gaz ichidan siqib chiqarishga intiluvchi kuch. Bu kuch pastdan yuqoriga vertikal yo'nalgan bo'lib, suvga botirilgan jismga suyuqlik bosimining teng ta'sir etuvchi kuchi. Shu hajmdagi siqib chiqarilgan suyuqlik og'irligiga teng: $P = \gamma V$, bu yerda V – suvga botirilgan jismning hajmi yoki shu jism siqib chiqargan suyuqlik hajmi; γ – suyuqlikning solishtirma og'irligi.

АТМОСФЕРА ТЕХНИЧЕСКАЯ – *texnik atmosfera* ($p_{at} = 98100 \text{ N/m}^2$); unga $h_1 = p/\gamma_{suv} = 10$ m suv ustuni va $h_2 = p/\gamma_{simob} = 0,735$ m simob ustuni mos keladi.

АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ – *atmosfera bosimi*; dengiz sathida atmosfera havosining 0°C haroratdagi o'rtacha bosimi.

АЭРАЦИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ – *suyuqlik oqimining havoga to'yinishi*.

АЭРОГИДРОМЕХАНИКА – *aerogidromexanika*; suyuqlik va gazlarning muvozanati va hatakati, ularning boshqa jismlar yoki ularni chegaralovchi sirtlar bilan o'zaro ta'siri qonuniyatlarini o'rganuvchi fan. Shunga ko'ra, gidromexanika – suyuq jismlar mexanikasi, aeromexanika esa gazsimon jismlar mexanikasi deb ataladi.

АЭРОДИНАМИКА – *aerodinamika*; bu suyuqlik va gaz mexanikasi fanining sokin (tinch holatdagi) gaz va gazning harakati qonuniyatlarini o'rganuvchi bo'limi.

АЭРОСТАТИКА – *aerostatika* – bu suyuqlik va gaz mexanikasining sokin (tinch holatdagi) gaz muvozanati qonunlari va undagi bosim taqsimotini o'rganuvchi bo'limi.

Б

БАРОКЛИННАЯ ЖИДКОСТЬ – *baroklin suyuqlik*; zichligi ham bosimdan va ham boshqa parametrlardan (masalan, temperaturadan) bog'liq bo'lgan suyuqlik.

БАРОКЛИННОЕ ДВИЖЕНИЕ – *baroklin harakat*; zichlik gradiyenti noldan farqli siqiluvchan suyuqlik yoki gaz harakati.

БАРОТРОПНАЯ ЖИДКОСТЬ – *barotrop suyuqlik*; zichligi bosimning funksiyasi bo'lgan harakatdagi suyuqlik.

БАРОТРОПНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *barotrop harakat*; zichligi faqat bosimdan bog'liq bo'lgan siqiluvchan suyuqlik yoki gaz harakati.

БЕЗНАПОРНОЕ ДВИЖЕНИЕ – bosimsiz (*naporsiz, damsiz*) harakat; erkin yuzaga ega bo'lgan suyuqlik harakati.

БЕЗНАПОРНЫЙ ПОТОК – bosimsiz (*naporsiz, damsiz*) oqim; erkin yuzaga ega bo'lgan suyuqlik oqimi.

БУРНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *jo'shqin harakat*; oqim chuqurligi kritik chuqurlikdan kichik bo'lmagan suyuqlik harakati.

БЫСТРО ИЗМЕНЯЮЩЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ – *tez o'zgaruvchan harakat*.

БЫСТРОТОК – *tarnov*.

БЬЕФ (франц. bief) – *havza*; daryo yoki kanalning suv bosimiga chidamli (suvbardosh) inshoot (to'g'on, shlyuz)ga tutash qismi.

БЬЕФ ВЕРХНИЙ – *yuqori havza*; to'g'on inshootidan oldingi harakatdagi yoki tinch holatdagi suv (suyuqlik) havzasi.

БЬЕФ НИЖНИЙ – *quyi havza*; to'g'ondan keyingi harakatdagi yoki tinch holatdagi suv havzasi.

В

ВАКУУМ – *vakuum*; berk idishdagi havoning yoki gazning siyraklashgan holati.

- ВАКУУМЕТРИЧЕСКАЯ ВЫСОТА** или **ВЫСОТА ВАКУУМА** – *vakuummatrik balandlik yoki vakuum balandligi.*
- ВАКУУМЕТРИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ** – *vakuummatrik bosim (yoki vakuum);* atmosfera bosimi bilan fazoning qaralayotgan nuqtasidagi bosim orasidagi farq.
- ВАТЕРЛИНИЯ** – *suvchiziq;* suzayotgan jism sirtining suyuqlik erkin sirti bilan kesishgan chizig‘i.
- ВЕКТОР ВИХРЯ СКОРОСТИ** – *tezlikning uyurma vektori;* suyuqlik zarrachasi deformatsiyasi bosh o‘qlarining ikkilangan oniy aylanish burchak tezligi vektori bo‘lib, uning qiymati tezlik vektori rotoriga teng.
- ВЕКТОРНАЯ ЛИНИЯ** – *vektor chiziq;* uzluksiz vektor maydonning har bir nuqtasida urinuvchi egri chiziq. Agar biror vaqt momentiga mos keluvchi vektor maydon tezliklar maydoni bo‘lsa, u holda vektor chiziq oqim chizig‘i deb ataladi. Agar vektor maydon tezlik uyurmaları maydoni bo‘lsa, u holda vektor chiziq uyurma chizig‘i deb ataladi.
- ВЕС ЖИДКОСТИ** – *suyuqlik og‘irligi* $G = \gamma V$, bu yerda γ - hajmiy siqilish koeffitsiyenti; V – suyuqlikning dastlabki hajmi.
- ВИНТОВОЕ ДВИЖЕНИЕ** – *vintli harakat;* bunda tezlik vektori va uyurma vektori oqimning har bir nuqtasida kollinear bo‘ladi.
- ВИХРЕВАЯ ЛИНИЯ (ПОВЕРХНОСТЬ)** – *uyurma chiziq‘i (sirti);* bu shunday chiziq (sirt)ki, berilgan vaqt momentida uning har bir nuqtasidagi tezlik uyurma vektori unga urinma bo‘ladi.
- ВИХРЕВАЯ ТРУБКА** – *uyurma nauchasi;* harakatlanayotgan suyuqlikning yurma sirti bilan chegaralangan qismi bo‘lib, u shu sirtida yotgan yopiq konturning barcha nuqtalari orqali o‘tadi.
- ВИХРЕВОЕ ДВИЖЕНИЕ** – *uyurmali harakat;* zarrachalari tezlik uyurma vektoriga ega bo‘lgan suyuqlik harakati.
- ВИХРЕВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ** – *uyurma qarshilik;* oqimning jism sirtidan ajralgan holda suyuqlikning uyurmali harakatidan paydo bo‘lgan bosim qarshiligi.
- ВИХРЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ** – *uyurma potentsial;* bu \vec{A} vektor funksiya bo‘lib, uning rotori suyuqlikning uyurma harakati tezligiga teng: $\vec{v} = \text{rot } \vec{A}$.
- ВИХРЕВОЙ СЛОЙ** – *uyurma qatlami;* bu suyuqlikning chekli yoki cheksiz kichik qatlami bo‘lib, undagi tezlik uyurmasi qatlamdan tashqaridagiga nisbatan ancha katta.
- ВНЕШНИЕ СИЛЫ** – *tashqi kuchlar;* bu bir jismning yoki muhitning ikkinchi jism yoki muhit sirtiga ta’sirining miqdor o‘lchovi. Suyuqlikning biror hajmiga ta’sir etuvchi tashqi kuchlar massaviy va sirt kuchlariga bo‘linadi.
- ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ** – *suv sig‘imi;* jism siqib chiqargan suyuqlik hajmi yoki suzib yurgan jismning suvga botgan qismining hajmi.
- ВОДОСЛИВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ** – *o‘lchov oqava novi,* u suvning sarfini o‘lchash uchun qurilgan oqava novi.
- ВОДОСЛИВ** или **ВОДОСЛИВНОЕ ОТВЕРСТИЕ** – *oqava novi yoki oqava novi teshigi;* erkin sirtli oqimlarda ustidan suyuqlik oqib o‘tadigan sun‘iy to‘siq.
- ВОДОСЛИВ НЕПОДТОПЛЕННЫЙ** – *cho‘ktirilmagan oqava novi;* quyi byefdagi sath ostona ustki sirtidan pastda bo‘ladigan hol.
- ВОДОСЛИВ ПОДТОПЛЕННЫЙ** – *cho‘ktirilgan oqava novi;* quyi byefdagi sath ostona ustki sirtidan yuqorida bo‘ladigan hol.
- ВОДОУПОР** – *suvbardosh;* suv o‘tkazmaydigan yer qatlami.
- ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ** – *to‘lqinli qarshilik;* suyuqlikka to‘lasincha yoki qisman botirilgan jismni aylanib oqishda suyuqlikning erkin sirtida to‘lqinlar paydo bo‘lgandagi qarshilik.
- ВОЛНЫ ПЛОТНОСТИ** – *zichlik to‘lqini;* suyuqlikni siqish juda qiyin bo‘lsada, bosimining o‘zgarishi bilan uning hajmi va zichligi o‘zgaradi. Bu bir lahzada sodir bo‘lmaydi: agar bir

bo‘lakcha siqilsa, bu siqilish qolgan bo‘lakchalarga ketma-ket uzatiladi. Bu suyuqlikning elastik to‘lqinlarni, aniqroq aytganda, zichlik to‘lqinlarini tarqatish xususiyatiga ega ekanligini anglatadi. Zichlikning o‘zgarishi bilan suyuqlikning boshqa fizik miqdorlari ham o‘zgaradi, masalan, harorati. Agar zichlik to‘lqinlarining tarqalishi juda sust bo‘lsa, ular tovush to‘lqinlari yoki sodda qilib tovush deb ataladi. Agar zichlik yetarlicha kuchli o‘zgarsa, bunday to‘lqin zarbali to‘lqin deb ataladi. Suyuqliklarda zichlik to‘lqini faqat bo‘ylama bo‘ladi, ya’ni zichlik to‘lqinning tarqalish yo‘nalishi bo‘ylab o‘zgaradi. Suyuqlik o‘z shaklini saqlab qola olmaganligi uchun ko‘ndalang to‘lqinlar suyuqlikda paydo bo‘lmaydi. Elastik to‘lqinlarning suyuqlikda so‘nishiga sabab – bu qovushoqlik, molekulyar relaksatsiya, «klassik yutilish» va boshqalar. Zarbali to‘lqin so‘nishi jarayonida tovush to‘lqiniga aylanadi, uning energiyasi esa asta sekin issiqlik energiyasiga almashadi.

ВЯЗКАЯ ЖИДКОСТЬ – *qovushoq suyuqlik*; harakati jarayonida suyuqlik zarrachalarining deformatsiyalanishidan bog‘liq ham normal va ham urinma kuchlanishlari paydo bo‘ladigan suyuqlik.

ВЯЗКОСТЬ – *qovushoqlik (ichki gidravlik ishqalanish kuchi)*; suyuqlikning o‘z zarrachalari nisbiy harakatiga qarshilik ko‘rsatish xossasi. Suyuqlikning qovushoqligi harorat (u oshganda suyuqlikning qovushoqligi kamayadi, gazniki esa oshadi va aksincha) va bosimdan bog‘liq bo‘lib, u uchta miqdor bilan baholanadi: dinamik koeffitsiyent (μ , N·s/m²), kinematik koeffitsiyent (ν , m²/s), Engler gradusi (°E). Qovushoqlik ikki turga ajraladi: hajmiy qovushoqlik (suyuqlikning o‘zida cho‘zuvchi zo‘riqishlarini paydo qilish xususiyati; masalan, suvning bunday qovushoqligi unda tovush va asosan ultratovush to‘lqinlar tarqalganda namoyon bo‘ladi) va tangensial qovushoqlik (suyuqlikning siljish zo‘riqishlariga qarshilik ko‘rsatish xususiyati).

Г

ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА – *gaz dinamikasi*; bu harakati xossasiga moddaning siqiluvchanligi ta’siri sharoitida yengil qo‘zg‘aluvchan moddiy muhit harakatini o‘rganuvchi mexanikaning bo‘limi.

ГАСИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ – *energiyani so‘ndiruvchi qurilma*.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ПОДОБНЫЕ ПОТОКИ – *geometrik o‘xshash oqimlar*, ya’ni o‘xshash o‘lchovlari nisbatlari bir xil bo‘lgan oqimlar.

ГИДРАВЛИКА – *gidravlika* (yunoncha: xyudor – suv; aulas – quvur); muhandislikning asosan bir o‘lchovli masalalarini empirik qonuniyatlarni hisobga olgan holda yechishni o‘rganuvchi amaliy gidromexanika.

ГИДРАВЛИКА ИЛИ ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ИЛИ ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРОМЕХАНИКА – *gidravlika yoki suyuqlik texnik mexanikasi yoki texnik gidromexanika*.

ГИДРАВЛИЧЕСКИ НАИВЫГОДНЕЙШАЯ ФОРМА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПОТОКА – *oqim ko‘ndalang kesimining gidravlika nuqtai nazaridan eng qulay shakli*.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ГРАДИЕНТ (ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УКЛОН) – *gidravlik gradiend yoki gidravlik nishablik*; to‘liq bosimning oqim yo‘nalishi bo‘yicha uzunlik birligida kamayishi yoki bosimdan oqimga teskari yo‘nalishi bo‘yicha olingan hosila.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ДИАМЕТР – *gidravlik diametr*; ko‘ndalang kesim to‘rtlangan yuzasining ho‘llangan perimetriga nisbati. *Izoh*: 1) Suyuqlik bilan to‘ldirilgan doiraviy kesimli quvurning gidravlik diametri shu quvurning diametriga teng. 2) Qiymat jihatdan gidravlik radiusning to‘rt baravariga teng bo‘lgan shartli kattalik: $D_g=4R$.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ – *gidravlik qarshilik koeffitsiyenti*; quvur yoki kanalning qaralayotgan uchastkasidagi suyuqlik to‘la solishtirma energiyasi kamayishining solishtirma kinetik energiyaga nisbati: $\xi=(e_1-e_2)/e_{k1}$, bunda indeks 1 qaralayotgan uchastkaning kirishdagi miqdoriga oid, indeks 2 esa undan chiqishdagi.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РУСЛА – *o‘zanning gidravlik kor’satkichi*; sarf moduli ko‘rsatkichli ifodasiga kiruvchi daraja kor’satkichining qiymati.

- ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЫЖОК** – *gidravlik sakrash*; oqim chuqurligi keskin o'zgaranda vujudga keladigan holat.
- ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАДИУС (R, L)** – *gidravlik radius*; kesim va uning o'lchovlarining oqim tezligiga ta'sirini ifodalovchi parametr bo'lib, oqim ko'ndalang kesimi yuzining oqim ho'llangan kesimi perimetriga nisbatiga teng: $R = \omega / \chi$. U quvur yoki o'zan ko'ndalang kesimining shaklini va o'zanning devorlari hamda tubining g'adir-budirlklarini (ω, χ – notekisliklarning mikro va makro shakllarini xarakterlovchi parametrlar) qiyosan ifodalaydi.
- ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УКЛОН** – *gidravlik nishablik* (qarang: *гидравлический градиент - gidravlik gradiend*).
- ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР** – *gidravlik zarba*; naporli quvurda oqayotgan suyuqlik oqimining to'satdan tormozlanishi natijasida bosimning keskin o'zgarishi. Bu jarayon suyuqlik va quvur devorining elastik deformatsiyasidan bog'liq juda tezkor jarayon bo'lib, bosimning ketma ket keskin oshishi va kamayishi bilan xarakterlanadi. Gidravlik zarba jo'mrakni yoki oqim bilan boshqariluvchan boshqa biror uskunani keskin ochish yoki yopish paytida paydo bo'ladi.
- ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ** – *gidravlik qarshilik*; suyuqlik qatlamlarining o'zaro ishqalalanishidan hosil bo'ladigan qarshilik.
- ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ** – *harakat miqdorining gidravlik tenglamasi*.
- ГИДРОДИНАМИКА** или **ДИНАМИКА ЖИДКОСТИ** – *gidrodinamika yoki suyuqlik dinamikasi*; tashqi kuchlar tasirida suyuqlikning harakat qonunlarini o'rganuvchi bo'lim.
- ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТОКА НА ОБТЕКАЕМОЕ ТЕЛО** – **ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ** – *oqimning suyri jismga gidrodinamik ta'siri* – *gidrodinamik ta'sir*; jismni aylanib oqishda uning sirtiga qo'yilgan bo'lib, to'la kuchlanishlar (normal va urinma kuchlanishlarning geometrik yig'indisi) bilan ifodalanuvchi elementar kuchlarning bosh vektori va bosh momenti. *Izoh*: 1. Siqilmaydigan suyuqlik uchun «gidrodinamik ta'sir» suyri jismning sirtiga qo'yilgan normal kuchlanishlar orqali ifodalanuvchi bosimning elementar kuchi va ularning momentlarini integrallash bilan aniqlanadi. 2. Tekis parallel harakat holida suyri jismning sirtiga qo'yilgan elementar kuchlarning bosh vektori oqimning cheksizlikdagi o'rtacha tezlik vektoriga perpendikulyar bo'ladi va u «Jukovskiyning ko'taruvchi kuchi» deb ataladi.
- ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ** или **ПОЛНОЕ ДАВЛЕНИЕ** – *gidrodinamik bosim yoki to'la bosim*; gidrostatik va gidrodinamik bosimlar yig'indisiga teng bosim.
- ГИДРОМЕХАНИКА** или **МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ** – *gidromexanika yoki suyuqlik mexanikasi*; mexanikaning suyuqlik muvozanati va harakati qonunlarini hamda uning suyuqlikka to'la yoki qisman botirilgan qattiq jism bilan o'zaro mexanik ta'siri qonuniyatlarini o'rganuvchi bo'limi.
- ГИДРОСМЕСЬ** – *gidroaralashma*; suyuqlik bilan boshqa jismlarning mexanik aralashmasi (masalan, suv bilan havo pufakchalari, qum, tuproq va h.k.).
- ГИДРОСТАТИКА** – *gidrostatika*; bu suyuqlik va gaz mexanikasi fanining tanlangan koordinata boshiga nisbatan suyuqlik muvozanati va suyuqlikka to'la yoki qisman botirilgan qattiq jism muvozanatini o'rganuvchi bo'limi.
- ГИДРОСТАТИКА** или **СТАТИКА ЖИДКОСТИ** – *gidrostatika yoki suyuqlik statikasi*; suyuqlik mexanikasi fanining suyuqlik muvozanati yoki uning tinch holatlarini o'rganuvchi qismi.
- ГИДРОСТАТИЧЕСКАЯ ПОДЪЕМНАЯ СИЛА** или **СИЛА АРХИМЕДА** – *gidrostatik ko'taruvchi kuch yoki Arximed kuchi*; suyuqlik yoki gazning jismga bergan kuchi bo'lib, yuqoriga vertikal yo'nalgan va u jismni siqib chiqarishga intiladi.
- ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ЖИДКОСТИ** – *suyuqliklarda bosimning gidrostatik taqsimlanish qonuni*; bu qonunga asosan suyuqlikning qaralayotgan qismi yoki suyuqlikdan olingan elementar hajm sirtida gidromexanik bosim uchun

quyidagi ifoda doimo o'rinli bo'ladi: $Z+P/\gamma=const$, bu yerda Z – biron bir tekislikdan suyuqlikdagi qaralayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa yoki shu nuqta uchun pyezometrik balandlik.

ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ – *gidrostatik bosim*; gidrostatik kuchning u ta'sir qilayotgan yuzaga nisbatining shu yuza nolga intilgandagi limiti yoki tanlangan sanoq sistemasiga nisbatan muvozanat (tinch) holatda turgan suyuqlikdagi bosim. Gidrostatik bosim (xuddi shunday kuchlanish) quyidagi birliklarda o'lchanadi: xalqaro birliklar sistemasi (SI)ga ko'ra $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-3} \text{ kPa} = 10^{-6} \text{ MPa}$ (Pa – paskal; kPa – kilopaskal; MPa – Megapaskal); MKGSS birliklar sistemasiga ko'ra $1 \text{ kgs/m}^2 = 9,81 \text{ Pa}$ ($1 \text{ Pa} = 0,102 \text{ kgs/m}^2$); SGS birliklar sistemasiga ko'ra din/sm^2 . Bulardan tashqari, bosimning bu sistemalarga kirmaydigan ba'zi birliklari ham ishlatiladi: texnik atmosfera - at ($1 \text{ at} = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$); 760 mm simob ustuni balandligiga ko'paytirilgan bosimga teng fizik atmosfera (hozirda gidravlikada ko'proq shu birlik qo'llaniladi) – atm ($1 \text{ atm} = 1,033 \text{ at} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$); millimetr simob ustuni ($1 \text{ mm simob ustuni} = 133,3 \text{ Pa}$); bar, meteorologiyada millibar qo'llaniladi ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ va $1 \text{ mbar} = 10^2 \text{ Pa}$).

ГИДРОТРАНСПОРТ – *gidrotransport*; qattiq jismlarning suyuqlik bilan birga oqizish.

ГЛАВНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ – *bosh kuchlanishlar*; qaralayotgan nuqtada kuchlanishning bosh o'qlariga perpendikulyar yuzalardagi normal kuchlanishlar.

ГЛАВНЫЕ ОСИ ДЕФОРМАЦИИ – *deformatsiyalarning bosh o'qlari*; berilgan nuqta orqali o'tuvchi va suyuqlik zarrachalarining deformatsiyasi natijasida o'zaro perpendikulyar bo'lib qoladigan uchta chiziqli elementlari bilan mos keluvchi uchta o'zaro perpendikulyar to'g'ri chiziqlar.

ГЛАВНЫЕ ОСИ НАПРЯЖЕНИЙ – *kuchlanishlarning bosh o'qlari*; fazoning berilgan nuqtasi orqali o'tuvchi, urinma kuchlanishlari nolga teng bo'lgan o'zaro perpendikulyar uchta tekisliklar normallari bo'yicha yo'nalgan o'qlar.

ГЛАВНЫЕ СКОРОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО УДЛИНЕНИЯ – *nisbiy cho'zilishning bosh tezliklari*; deformatsiyalar bosh o'qlari bo'ylab joylashgan suyuqlik chiziqli zarrachalarining nisbiy cho'zilishi tezliklari.

ГЛАДКИЕ РУСЛА (труба) – *silliq o'zan (quvur)*; quvurlarda devordagi g'adirlik shunchalik kichik holki, ular uzunlik bo'yicha napor yo'qolishiga sezilarli ta'sir qilmaydi.

ГЛУБИНА ВОДОБОЙНОГО КОЛОДЦА ПРАКТИЧЕСКАЯ (d, L) – *oqimni so'ndiruvchi quduq yoki tuproq qatlamining amaliy chuqurligi*; ma'lum darajada suv ostida qoladigan gidravlik sakrashlar hosil qiluvchi chuqurlik.

ГЛУБИНА ВОДОБОЙНОГО КОЛОДЦА ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ (d, L) – *oqimni so'ndiruvchi quduq yoki tuproq qatlamining nazariy chuqurligi*; siqilgan kesimda gidravlik sakrash boshlanadigan chuqurlik.

ГЛУБИНА ВОДЫ В ВЕРХНЕМ БЬЕФЕ – *yuqori havzadagi suvning chuqurligi*.

ГЛУБИНА ВОДЫ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ – *quyi havzadagi suvning chuqurligi*.

ГЛУБИНА ВТОРАЯ ПРЕДЕЛЬНАЯ – *ikkinchi chegaraviy chuqurlik*.

ГЛУБИНА ЗАТОПЛЕННАЯ – *cho'ktirilgan chuqurlik*; kesimda bo'lgan gidravlik sakrashni suv ostida qoldiruvchi quyi havzadagi oqim chuqurligi.

ГЛУБИНА КРИТИЧЕСКАЯ – *kritik chuqurlik*; chuqurlik kesimining solishtirma energiyasi berilgan sarf va o'zanning berilgan ko'ndalang kesimi uchun eng kichik bo'lgan hol.

ГЛУБИНА НОРМАЛЬНАЯ – *me'yordagi chuqurlik*; o'zanda tekis harakatlanayotgan suyuqlik oqimining chuqurligi.

ГЛУБИНА ПЕРВАЯ ПРЕДЕЛЬНАЯ – *birinchi chegaraviy chuqurlik*; oqim erkin sirtidan baland bo'lmagan to'g'onning quyi havzasidagi oqim chuqurligi.

ГЛУБИНА СЖАТИЯ – *siqilish chuqurligi*; siqilgan kesimdagi oqim chuqurligi.

ГЛУБИНА СОПРЯЖЕННАЯ – *tutashgan yoki yondashgan chuqurlik*.

ГРАДИЕНТ – *gradiyent*; biror funksiyaning eng tez o‘sishi yo‘nalishini ko‘rsatuvchi vektor; biror fizik kattalikning uzunlik birligidagi o‘shish yoki kamayish o‘lchovi.

ГРАДИЕНТ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ – *gidravlik gradient* (qarang: гидравлический градиент).

ГРАДИЕНТ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ – *pyezometrik gradient* 1. Oqim chizig‘i bo‘yicha potensial (ichki) damning uzunlik birligida kamayishi. 2. Potensial damdan oqim chizig‘idagi berilgan nuqta yoki oqim yo‘nalishi bo‘yicha teskari ishora bilan olingan hosila: $i = -dH/dS$ yoki $J = -dH/dS$.

ГРАДИЕНТ СКОРОСТИ ПО НОРМАЛИ – *normal bo‘yicha tezlik gradienti*. 1. Oqim tezligining oqim normalni bo‘yicha o‘zgarishi. 2. Tezlikdan oqim kesimiga normal bo‘yicha olingan hosila: $J = -d\vartheta/dn$.

ГРУНТ ВОДОПРОНИЦАЕМЫЙ – *suv o‘tkazuvchan yer qatlami* (masalan, supes, qum, shag‘al va boshq.)

Д

ДАВЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОЕ – *mutloq bosim*; absolyut noldan boshlab hisoblangan bosim (u doimo musbat; uning uchun quyi limit nolga teng).

ДАВЛЕНИЕ АТМОСФЕРНОЕ – *atmosfera bosimi*; suyuqlikning erkin sirtiga qo‘yilgan tashqi havo bosimi (u o‘zgarmas $p_{at} = 103$ kPa).

ДАВЛЕНИЕ В ТОЧКЕ ЖИДКОСТИ – ДАВЛЕНИЕ – МГНОВЕННОЕ ДАВЛЕНИЕ – *suyuqlik nuqtasidagi bosim – bosim – oniy bosim*; suyuqlikning berilgan nuqtasidagi o‘zaro perpendikulyar uchta yuzalarga qo‘yilgan normal kuchlanishlar o‘rta arifmetik qiymatlarining qarama-qarshi ishora bilan olingan qiymati, ya‘ni $p = -(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$. *Izoh*: siqiluvchan suyuqlikda $p = -(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 + \mu' \operatorname{div} \vec{v}$, bunda μ' – hajmiy qovushoqlik koeffitsiyenti – odatiy hollarda hisobga olmaslik darajasidagi miqdor.

ДАВЛЕНИЕ ВЕСОВОЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ – *gidrostatik og‘irlik bosimi*; nuqtaning qaralayotgan erkin sirtidan chuqurlashuvi natijasida shu nuqtada yuzaga keladigan bosim: $p = \gamma \cdot h$.

ДАВЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОЕ ИЛИ МАНОМЕТРИЧЕСКОЕ – *chegirma yoki manometrik bosim*; fazoning qaralayotgan nuqtasidagi mutloq bosim bilan atmosfera bosimi ayirmasiga teng bosim (agar bu ayirma musbat bo‘lsa): $P_{ort} = P_{abs} - P_{atm}$.

ДВИЖЕНИЕ – *harakat*; bu bir ob‘ekt holatining boshqasiga nisbatan o‘zgartirishi.

ДВИЖЕНИЕ БЕЗНАПОРНОЕ – *naporsiz (bosimsiz, damsiz) harakat (oqim)*; o‘zandagi suyuqlikning erkin sirtga (sathga) ega bo‘lgan holatdagi harakati (oqimi).

ДВИЖЕНИЕ АДИАБАТИЧЕСКОЕ – *adiabatik harakat*; bunday harakatda suyuqlik issiqlik qabul qilmaydi va tashqariga issiqlik uzatmaydi, ya‘ni issiqlik almashinish hodisasi yuz bermaydi.

ДВИЖЕНИЕ БУРНОЕ – *jo‘shqin harakat*; oqim chuqurligi kritik chuqurlikdan kichik bo‘lmagan holdagi naporsiz harakat (oqim).

ДВИЖЕНИЕ БЫСТРО ИЗМЕНЯЮЩЕЕСЯ – *tez o‘zgaruvchan harakat*; harakatlanayotgan (oqayotgan) suyuqlikning har bir nuqtasidagi tezlik vaqt bo‘yicha to‘xtovsiz o‘zgarib turadigan hol.

ДВИЖЕНИЕ В ВИДЕ СВОБОДНОЙ СТРУИ – *erkin sharracha shakldagi harakat (oqim)*; suyuqlikning naycha bo‘ylab hech qanday qattiq devorlar bilan chegaralanmagan harakati.

ДВИЖЕНИЕ ВИХРЕВОЕ – *uyurmali harakat*; zarrachalari tezlikning uyuqma vektoriga ega bo‘lgan suyuqlik harakati.

ДВИЖЕНИЕ ИЗЭНТРОПИЧЕСКОЕ – *izentropik harakat*; suyuqlik oqimi entropiyasi o‘zgarmas bo‘lgan harakat.

ДВИЖЕНИЕ ЛАМИНАРНОЕ ИЛИ ЛАМИНАРНЫЙ РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ – *laminar harakat*.

ДВИЖЕНИЕ МЕДЛЕННО ИЗМЕНЯЮЩЕЕСЯ – *sekin o‘zgaruvchan harakat*.

ДВИЖЕНИЕ НАПОРНОЕ – *suyuqlikning naporli harakati*; bu holda harakatlanayotgan suyuqlik erkin sirtga ega bo‘lmaydi.

ДВИЖЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНОЕ – *notekis harakat*; oqimning turlicha kesimida tezlik miqdori turlicha bo‘lgan harakat.

ДВИЖЕНИЕ НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ – *beqarormas harakat*; harakatlanayotgan suyuqlik zarrachalarining tezligi miqdori va uning yo‘nalishi vaqt bo‘yicha o‘zgarib turadigan hol.

ДВИЖЕНИЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ – *o‘qqa nisbatan simmetrik harakat*.

ДВИЖЕНИЕ РАВНОМЕРНОЕ или **ПАРАЛЛЕЛЬНО СТРУЙНОЕ** – *tekis yoki oqimlari parallel harakat*; bu shunday harakatki, unda harakat kesimi tezlik epyurasining shakli va o‘lchamlari berilgan vaqtda oqim bo‘yicha o‘zgarmaydi.

ДВИЖЕНИЕ РЕЗКО ИЗМЕНЯЮЩЕЕСЯ – *keskin o‘zgaruvchan harakat*; bu holda oqim chiziqdari egriligi va ular orasidagi burchaklarning tarmoqlanishini e‘tiborsiz qoldirish mumkin emas.

ДВИЖЕНИЕ СПОКОЙНОЕ – *sokin harakat*; oqim chuqurligi kritik katta naporsiz harakat.

ДВИЖЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЕ или **ТУРБУЛЕНТНЫЙ РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ** – *turbulent harakat yoki turbulent tartibli harakat*; ham ilgariylanma va ham aylanma harakat qiluvchi mollar yoki uyurmalar deb ataluvchi alohida tizimlarning birgalikdagi harakati. Turbulent harakatning eng muhim xususiyat bu uning xaotikligida (tartibsizligida). Bu shuni bildiradiki, oqimning ixtiyoriy nuqtasidagi tezlik (va boshqa parametrlar ham) vaqtga bog‘liq bo‘ladi. Ayniqsa bu nuqtalardagi tezlikning nomuntazam o‘zgarishi (fluktuatsiyasi) xaotikdir. O.Reynolds ta‘rifi: «Statsionar oqimning uyurmalanishiga, ya‘ni statsionar harakatning ba‘zi hollarda noustivorlashuviga umumiy sabab bu cheksiz kichik g‘alayonlar harakatning to‘lqinli harakatga aylanishiga olib kelishidir»

ДВИЖЕНИЕ УСТАНОВИВШЕЕСЯ – *barqaror harakat*; harakatlanayotgan suyuqlik zarrachalarining o‘rtalashtirilgan mahalliy tezligi miqdori va uning yo‘nalishi vaqt bo‘yicha o‘zgarmasdir.

ДВИЖЕНИЕ ДВУХМЕРНОЕ – *ikki o‘lchovli harakat*; yechimlari fazoning x va y kootdinatalariga bog‘liq bo‘lgan gidromexanik masala.

ДЕБИТ КОЛОДЦА – *quduq sarfi*.

ДИАМЕТР ТУРБЫ – *quvur diametri*.

ДИВЕРГЕНЦИЯ – *divergensiya*; tarqalish (berilgan nuqtadagi vektor maydon oqimining o‘zgarishini tavsiflovchi kattalik).

ДИНАМИКА ЖИДКОСТИ или **ГИДРОДИНАМИКА** – *suyuqlik dinamikasi yoki gidrodinamika*; tashqi kuchlar ta‘sirida suyuqlikning harakat qonunlarini o‘rganuvchi bo‘lim.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ – *dinamik tezlik*; laminar chegaraviy qatlamda qattiq devordagi urinma kuchlanishning suyuqlik zichligiga nisbatidan olingan kvadrat ildizga teng bo‘lgan tezlikni xarakterlaydi: $v_* = \sqrt{\tau_w / \rho}$.

ДИНАМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ВЯЗКОСТИ или **КОЭФФИЦИЕНТ ВЯЗКОСТИ** – *qovushoqlik dinamik koeffitsiyenti yoki qovushoqlik koeffitsiyenti*; ichki ishqalanishdan hosil bo‘ladigan urinma kuchlanishning tezlik gradientiga nisbatan koeffitsiyenti yoki Nyutonning

$\tau = \mu \frac{dv}{dn}$ – ishqalanish qonuni (yoki Nyuton suyuqligi urinma kuchlanishlarining deformatsiya

tezliklari tenzori orqali ifodasi $\sigma_{ij} = 2\mu \dot{\epsilon}_{ij}$) ifodasiga kiruvchi proporsionallik koeffitsiyenti, bunda τ – harakatlanayotgan suyuqlikning tutash qatlamlari sirtida yotuvchi elementar

yuzaqadagi urinma kuchlanish; $\frac{dv}{dn}$ – tezlikdan suyuqlikning qaralayotgan qatlamiga normal

bo‘yicha olingan hosila.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ – *dinamik bosim*; suyuqlik zarrachalarining faqatgina kinetik energiyasidan paydo bo‘luvchi bosim, suyuqlik zarrachasining ilgarilanma harakati kinetik energiyasining hajmiy zichligi: $p_d = \rho v^2 / 2$.

ДИПОЛЬ – *dipol*; bir xil sarfli manba va manfiy manbaning to‘plami bo‘lib, bunda manba va manfiy manba orasidagi masofa nolga intiladi, sarf bu masofaga teskari proporsional ravishda cheksizlikka intiladi, sarfdagi masofalar ko‘paytmasi esa chekli miqdorga intiladi.

ДИСКРЕТНЫЙ ВИХРЬ – *diskret uyurma*.

ДИФФУЗИЯ – *diffuziya*; issiqlik harakati natijasida idishdagi ikki aralashuvchan suyuqliklar molekularining ajralish sirti orqali asta sekin biridan ikkinchisiga o‘tishi hodisasi. Bu hodisa boshqa agregat holatidagi moddalarda ham sodir bo‘ladi.

ДИФFUZOP – *diffuzor*; ko‘ndalang kesimi oqim bo‘yicha kengayib boruvchi quvur.

ДЛИНА ВЕТРОВОЙ ВОЛНЫ – *shamol to‘lqinining uzunligi*; shamolda hosil bo‘ladigan ikki qo‘shni to‘lqinlar orasidagi gorizontol masofa.

ДЛИНА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЫЖКА – *gidravlik sakrash uzunligi*.

ДЛИНА СМОЧЕННОГО ПЕРИМЕТРА – *ho‘llangan perimetr uzunligi*; oqim kesimida suyuqlik bilan qattiq devorning o‘zaro tutahsgan joyi uzunligi.

ДОПУСТИМАЯ МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ – *mumkin bo‘lgan eng katta tezlik*; bu shunday tezlikki, uning sezilsiz oshishi ham oqimning o‘zan qirg‘oqlarini yuvib borishiga olib keladi.

ДОПУСТИМЫЙ ВАКУУМ – *mumkin bo‘lgan vakuum*; berilgan qurilma yoki inshoot uchun xavfsiz bo‘lgan eng yuqori vakuum.

ДУБЛЕТ – *dublet*; manba va manfiy manba orasidagi masofa.

Е

ЕДИНИЧНЫЙ РАСХОД – *birlik sarf*; o‘zan kengligi birligidagi sarf: $q = Q/b$, bu yerda Q – oqim sarfi; b – o‘zan kengligi.

Ж

ЖИВОЕ СЕЧЕНИЕ – *jonli kesim (oqimning ko‘mdalang kesimi)*; bu quvur yoki kanalning ko‘ndalang kesimi, bu yerda kesim sirti oqim chiziqlariga doimo normal yo‘nalishda bo‘ladi.

ЖИДКАЯ ЛИНИЯ (ПОВЕРХНОСТЬ, ОБЪЕМ) – *suyuq chiziq (sirt, hajm)*; shubhasiz bir xil suyuqlik nuqtalaridan (zarrachalaridan) tashkil topgan chiziq (sirt, hajm).

ЖИДКОСТЬ – *suyuqlik*; moddaning agregat holatlaridan biri bo‘lib, xoxlagancha kichik kuch ta’sirida o‘z shaklini o‘zgartirish xususiyatiga ega uzluksiz muhit (fizik jism), ya’ni oquvchanlik xossasiga ega va o‘z shakliga ega bo‘lmagan ixtiyoriy muhit. *Izoh*: gaz «siqiluvchan suyuqlik» (havo, kislorod, azot, propan va hokazo) deb atalgan holda suyuqlikni gazdan ajratish maqsadida «tomchili suyuqlik» (suv, neft, kerosin, yog‘ va hokazo) atamasi ishlatiladi. Tomchili suyuqliklar (sodda qilib, suyuqliklar) va gazzimon suyuqliklar (gazlar) bir biridan siqiluvchanlik (hajmini o‘zgartiruvchanlik) xususiyati bilan ajralib turadi.

ЖИДКОСТЬ АНОМАЛЬНАЯ – *anomal (tabiiy ko‘rinishdan o‘zgacha xossalari) suyuqlik*.

ЖИДКОСТЬ ДВУХФАЗНАЯ (МНОГОФАЗНАЯ) – *ikki (ko‘p) fazali suyuqlik*; suyuqlikning qattiq jism zarrachalari, gaz yoki par pifakchalari, boshqa suyuqlik tomchilari bilan aralashmasi (*Eslatma*: ushbu komponentlardan holi bo‘lgan sof suyuqliklar bir fazali suyuqliklar deyiladi).

ЖИДКОСТЬ ИДЕАЛЬНАЯ – *ideal suyuqlik*; qovushoqligi (ichki ishqalanishi) yo‘q va harorati o‘zgarganda hajmi sira o‘zgarmaydi deb faraz qilingan (ideallashtirilgan) suyuqlik.

ЖИДКОСТЬ КАПЕЛЬНАЯ – *tomchili suyuqlik*; uning qattiq jismdan farqi – oquvchanligi, gazlardan farqi – harorati o‘zgarganda hajmining o‘zgarmasligidir.

ЖИДКОСТЬ НЕВЯЗКАЯ – *qovushoqmas suyuqlik*; qovushoqligi mutlaqo yo‘q deb faraz qilingan suyuqlik.

ЖИДКОСТЬ НЕНЬЮТОНОВСКАЯ – *Nonyuton suyuqlik*; suyuqlik modellarida ichki ishqalanishning normal kuchlanishi tezlik gradientining birdan farqli darajasiga proporsional

deb faraz qilinadi. Nonyuton suyuqliklarda τ_{yx} ning du/dy dan bog'liqlik grafigi koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'lmaydi, bunda urinma kuchlanishning siljish natijaviy tezligiga nisbati bilan aniqlanuvchi qovushoqlik bo'lib tuyilgan miqdor du/dy – siljish tezligi miqdoridan bog'liq holda o'zgaradi. Ba'zi bir suyuqliklar uchun bu miqdor urinma zo'riqishning ta'siri davomiyligidan ham bog'liq bo'lishi mumkin. Nyuton suyuqliklarining o'ziga xosligi shundaki, ularda urinma kuchlanish va siljish tezligi orasidagi bog'lanish chiziqli. Amaliyotda keng qo'llaniladigan ko'pgina suyuqliklar bunday qonuniyatga bo'ysunmaydi, masalan, polimerlar qorishmasi va eritmasi, emulsiyalar, qon, bo'yoqlar, reaktor suspenziyalari, hamda bir vaqtning o'zida ham qovushoqlik va ham elastiklik xossasiga ega materiallar (Qarang: *классификация неньютоновских жидкостей*).

ЖИДКОСТЬ НЬЮТОНОВСКАЯ – *Nyuton suyuqligi*; bu suyuqlik modellarida ichki ishqalanishning urinma kuchlanish tezlik gradientiga to'g'ri proporsional deb faraz qilinadi:

$$\tau = \mu \frac{du}{dr}.$$

ЖИДКОСТЬ ОДНОРОДНАЯ – *bir jinsli suyuqlik*.

ЖИДКОСТЬ ШВЕДОВА–БИНГАМА – *Shvedov–Bingam suyuqligi*; Nyuton suyuqliklaridan boshqa suyuqliklardan farqi shuki, tezlik gradienti du/dn nolga teng bo'lganda ichki

ishqalanishning urinma kuchlanishi noldan farqli bo'ladi: $\tau = \tau_0 + \eta \left(\frac{du}{dn} \right)^n$.

3

ЗАГЛУБЛЕННЫЕ ТОЧКИ (частицы) ПОКОЯЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ – *tinch holatdagi suyuqlik ichki nuqtalari*.

ЗАДАЧА ВНЕШНЯЯ – *tashqi masala*; suyuqlikka ta'sir etuvchi tashqi kuchlar (chunonchi, hajmiy kuchlar, og'irlik kuchi, ishqalanish kuchi va boshqalar) berilgan bo'lib, oqimning gidrodinamik xarakteristika-larining o'zgarishi qonunlari o'rganiladi.

ЗАДАЧА ВНУТРЕННЯЯ (основная задача гидравлики) – *ichki masala (gidravlikaning asosiy masalasi)*; bunda oqim berilgan bo'lib, shu oqim ichidagi qattiq jismga ta'sir etayotgan kuchlar aniqlanadi.

ЗАКОН ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ – *harakat miqdori o'zgarishi qonuni*; individual hajm harakat miqdorining o'zgarish tezligi unga ta'sir etayotgan tashqi kuchlar yig'indisiga teng.

ЗАКОН АРХИМЕДА – *Arximed qonuni*; siqib chiqaruvchi kuch (Arximed kuchi) hajmi suyuqlikka botirilgan jism bo'lagi hajmiga mos keluvchi suyuqlik og'irligiga teng.

ЗАКОН ИЗМЕНЕНИЯ МОМЕНТА КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ – *harakat miqdori momentining o'zgarish qonuni*; individual hajm harakat miqdori momentining o'zgarish tezligi unga ta'sir etayotgan tashqi kuchlar momentlarining yig'indisiga teng.

ЗАКОН ПАСКАЛЯ – *Paskal qonuni*; yopiq idishdagi suyuqlikka qo'yilgan tashqi bosim shu suyuqlikning barcha ichki nuqtalariga o'zgarishsiz uzatiladi.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАССЫ – *massaning saqlanish qonuni*; individual hajmning massasi o'zgarmaydi, ya'ni massaning vaqt bo'yicha o'zgarishi nolga teng.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ (первый закон термодинамики) – *energiyaning saqlanish qonuni*; individual hajm to'la energiyasining o'zgarish tezligi vaqt birligi ichida unga tashqaridan kelayotgan energiya oqimiga (tashqi kuchlar, issiqlik va boshqalar ishi shaklida) teng.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНТРОПИИ (второй закон термодинамики) – *entropiyaning saqlanish qonuni*; individual hajm entropiyasining o'zgarish tezligi vaqt birligi ichida unga tashqaridan kelayotgan entropiya oqimi va hajm ichida ishlab chiqilgan entropiya yig'indisiga teng (faqat qaytarilmaydigan jarayonlar uchun).

ЗАКРЫТЫЕ РУСЛА – *yopiq o‘zan*; yoki ko‘ndalang kesim konturi yopiq chiziqdan iborat o‘zan.

ЗАТОПЛЕННОЕ ОТВЕРСТИЕ – *suv ostidagi teshik*; bu holatda teshikdan oqib chiqayotgan suyuqlik sarfi suyuqlik sathining past–balandlik darajasiga bog‘liq bo‘ladi.

ЗВУК – *tovush*;

ЗОНА ЛАМИНАРНОГО РЕЖИМА – *laminar tartibli harakat sohasi*.

ЗОНА ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА или **НЕУСТОЙЧИВАЯ ЗОНА** – *harakat tartiblarining oraliq sohasi yoki beqaror soha*.

И

ИДЕАЛЬНАЯ ЖИДКОСТЬ – *ideal suyuqlik*; harakati davomida faqat normal kuchlanish paydo bo‘ladigan suyuqlik, boshqacha aytganda, qovushoqligi e‘tiborga olinmagan (ichki urinma kuchlanishlari nolga teng) real suyuqlik modeli.

ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ – *ortiqcha bosim*; atmosfera bosimidan boshlab hisoblangan bosim (u musbat ham va manfiy ham bo‘lishi mumkin).

ИЗОЛИРОВАННЫЙ ВИХРЬ – *izolyatsiyalangan uyurma*; u uyurma naychasi bo‘lib, undan tashqarida tezlik uyurmasi yo‘q, ya‘ni naychanning ichidagidan juda kichik.

ИНВЕРСИЯ СТРУЯ – *oqimning o‘zgarishi*; oqim chiqayotgan teshik yaqinida uning ko‘ndalang kesimi shaklining o‘zgarishi.

ИНЕРЦИОННЫЙ НАПОР – *inertial napor*; vaqt bo‘yicha kinetik energiya o‘zgarishi hisobiga to‘liq bosim (napor, dam) ning birinchi va ikkinchi kesimlarda o‘zgarish miqdori.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ВИХРЕВОЙ ТРУБКИ – *uyurma naychasining jadalligi (intensivligi)*; konturi bo‘ylab tezlik sirkulyatsiyasiga teng bo‘lgan uyurma naychasining ixtiyoriy ko‘ndalang kesimi orqali tezlik uyurma vektorining oqimi:
$$\Gamma = \int_S \text{rot } \vec{v} \cdot \vec{n} dS = \oint \vec{v} \cdot d\vec{r}.$$

ИНФИЛЬТРАЦИЯ ЖИДКОСТИ – *suyuqlik infiltratsiyasi*; suyuqlikning (suvning) tuproq g‘ovaklaridan sizib kirishi.

ИСПАРЕНИЕ – *bug‘lanish*; moddaning asta sekin suyuq holatdan gaz (bug‘) holatga o‘tishi. Issiqlik harakatida suyuqlikning ba‘zi molekulari uning sirti orqali chiqib ketadi va ular bug‘ga aylanadi. Shu bilan birga bu molekularning bir qismi aksincha, bug‘ holatidan suyuqlik holatiga qaytadi. Agar chiqib ketayotgan molekular soni qaytib kelayotganlaridan ko‘p bo‘lsa, o‘sha joyda bug‘lanish sodir bo‘ladi.

ИСТОЧНИК – *manba*; cheksiz kichraytirilgan nuqta bo‘lib, undan suyuqlik radius bo‘ylab yo‘nalishidan bog‘liq bo‘lmagan tezlik bilan oqib chiqadi.

К

КАВИТАЦИОННОЕ ТЕЧЕНИЕ – *kavitatsion oqim*; jismni yoki jismlar sistemasini aylanib oqish bo‘lib, bunda suyuqlik oqimida to‘yingan bug‘ yoki gaz bilan to‘ldirilgan bo‘shliq (kaverna)lar paydo bo‘lishi kuzatiladi. *Izoh*: Kavitatsion oqishning aralashuvchan pufarchali yoki jismga tutashgan kavitatsiya holatlari uchraydi; oxirgi hol qisman (jism sirtining bir qismida) yoki rivojlangan (kaverna suyri jism o‘lchami bilan taqqoslanish darajasida yoki undan katta) bo‘lishi mumkin.

КАВИТАЦИЯ – *kavitatsiya*; oqimning gidrodinamik bosim kritik qiymatigacha pasaygan joylarida oqishning tutashligi buzilib, ajralib chiqqan eritmalar ichida suyuqlik bug‘i yoki gaz bo‘lgan pufakchalar bilan to‘ldirilgan sohalar paydo bo‘ladigan va ularning bosim ortganda yorilishi hodisasi. *Izoh*: 1. Kavitatsiyaning boshlang‘ich holatini bosim pasayganda suyuqlikning qaynash hodisasi deyish mumkin. 2. Bosimning keyingi pasayishlarida mayda pufakchalar birlashadi va katta bo‘shliqlar – suyuqlikdan ajralib chiqqan gazlar va suyuqlik pufakchalari bilan to‘ldirilgan kavernalar hosil bo‘ladi.

КАНАЛ ДЛИННЫЙ – *uzun kanal*.

КАНАЛ КОРОТКИЙ – *qisqa kanal*.

КАПЕЛЬНАЯ ЖИДКОСТЬ – *tomchili suyuqlik*; qaralayotgan jarayon shartlarida siqiluvchanligini e'tiborga olmaslik mumkin bo'lgan suyuqlik.

КАПИЛЛЯРНАЯ ЖИДКОСТЬ – *kapillyar suyuqlik*; harakati va muvozanatida kapillyarligi namoyon bo'ladigan suyuqlik.

КАПИЛЛЯРНОЕ ПОДНЯТИЕ – *kapillyar ko'tarilish*; suyuqlik erkin sirtining ingichka naychakar orqali molekulyar bosim ta'sirida ko'tarilishi.

КАПИЛЛЯРНОСТЬ – *kapillyarlik*; juda tor idishlar ichidagi suyuqliklarda sodir bo'ladigan sirt hodisalari (yoki sirt tarangligi bilan bog'liq bo'lib, xususan tor kanallarda yoki tomchi hosil bo'lganda namoyon bo'ladigan suyuqlik xossasi).

КАПЛЯ – *tomchi*; suyuqlikning sirt taranglik kuchi ta'sirida sharga o'xshash shaklni egallovchi hajmi.

КАСАТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ – *urinma kuchlanish*; kuchlanish vektorining qaralayotgan nuqtada aniq oriye-nirlangan elementar yuzaga urinma tekislikdagi proyeksiyasi: $\sigma_{nt} = \sigma_n \cdot t$.
Izoh: agar yuza x_1 o'q bo'yicha normalga oriye-nirlangan bo'lsa, u holda x_2 va x_3 yo'nalishlardagi urinma kuchlanishlar σ_{12} va σ_{13} kabi belgilanadi, $\sigma_t = (\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2)^{1/2} = (\sigma_1^2 - \sigma_{11}^2)^{1/2}$ miqdor esa «to'la urinma kuchlanish» deb ataladi.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ВЯЗКОСТИ – *qovushoqlikning kinematik koeffitsiyenti*; miqdor jihatidan μ - qovushoqlik dinamik koeffitsiyentining ρ - suyuqlik zichligiga nisbati, yani $\nu = \mu/\rho$.

КИПЕНИЕ – *qaynash*; suyuqlik ichida bug' paydo bo'lish jarayoni bo'lib, suyuqlik bug'ining pufakchalar shaklida erkin sirt orqali tashqariga chiqib ketishi. Yetarlicha yuqori haroratda bug'ning bosimi suyuqlik ichidagi bosimdan yuqori bo'ladi va u yerda bug' pufakchalari paydo bo'ladi, ular erkin sirtga qarab suzadi.

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ – *nonyuton suyuqliklar klassifikatsiyasi*; agar nonyuton suyuqliklarning oquvchanlik xossasini tavsiflashda paydo bo'ladigan murakkabliklarni e'tiborga olsak, u holda ularning klassifikatsiyalanish sistemasi turlicha. Suyuqliklarning qo'yilgan kuchlanishga nisbatan elastik reaksiyasiga ega bo'lishligiga qarab ular suyuqliklarning ikkita asosiy turiga bo'linadilar: qovushoq-noelastik yoki sof qovushoq; qovushoq-elastik. Nonyuton suyuqliklarning sodda klassifikatsiyasi:

• *qovushoq-noelastik yoki sof qovushoq suyuqliklar* – bular qo'yilgan yuklanish olib tashlangandan keyin muhitning deformatsiyalanishi yo'qolmaydigan, ya'ni muhitning elastiklik reaksiyasi bo'lmaydigan suyuqliklar. Bizga ma'lumki, ko'pgina qattiq jismlar, qo'yilgan yuklanish olib tashlangandan keyin, deformatsiyasi yo'qoluvchanligi bilan xarakterlanuvchi muayyan elastiklik reaksiyasi darajasiga ega. Guk qonuniga bo'ysinuvchan elastik qattiq jism shunday sodda jism bo'lib, uning deformatsiyasi qo'yilgan kuchlanishga to'g'ri proporsional.

Qovushoq-noelastik yoki sof qovushoq suyuqliklarni xossalari vaqtdan bog'liq bo'lgan va xossalari vaqtdan bog'liq bo'lmagan suyuqliklarga ajratish mumkin:

• *xossalari vaqtdan bog'liq bo'lmagan suyuqlik* – bu siljishning davomiyligi qovushoqlik miqdoriga ta'sir etmaydigan suyuqlik:

• *oquvchanlik chegarasiga ega bo'lmagan suyuqlik* – bu vaqtdan bog'liq bo'lmagan xarakteristikalarli biror chegaraviy kuchlanish (oquvchanlik chegarasi) τ_0 ga ega bo'lgan yoki bo'lmagan suyuqlik (bunda τ_0 – siljishning nolinci tezligidagi qovushoqligi):

- *pseudoplastik suyuqliklar* – bular, agar ular uchun siljish tezligi oshishi bilan tuyiluvchan qovushoqligi kamayuvchan, oquvchanlikning chegaraviy kuchlanishiga ega bo'lmagan suyuqliklar (masalan, kauchuk qorishmasi, yelimli moddalar, polimerlar qorishmasi va eritmasi, yog'lar, bo'yoqlar, ba'zi dispers farmatsevtik muhitlar va biologik suyuqliklar shunday xossaga ega). Bunday suyuqliklar uchun siljishning katta tezlikli sohalarida tuyiluvchan qovushoqligi, ya'ni du/dy ning katta qiymatlari cheksiz katta siljishlardagi qovushoqlik deb ataladi va u μ_∞ bilan belgilanadi;

- *dilatant suyuqliklar* – bular siljish tezligi oshishi bilan tuyiluvchan qovushoqligi o‘svuvchan (siljishi siyraklashuvchan (masalan, yuqori molekulyar polimerlar qorishmasi, bosmaxonaning ko‘pgina bo‘yoqlari, qog‘oz quyqasi) va quyiltiriluvchan (masalan, kraxmal, kaliy silikati, yoyiluvchan qum, qirg‘oqning nam qumi, makkajo‘xori kraxmali va shakar qorishmasi, ikki oksidli titanning suvli suspenziyasi va hokazo)) suyuqliklar;

• *oquvchanlik chegarasiga ega suyuqlik*, masalan, Bingham plastik suyuqligi uchun qovushoqlik siljish tezligidan bog‘liq emas deb hisoblanadi. τ_0 dan kichik bo‘lgan siljish tezliklari qiymatlarida bunday suyuqliklar o‘zlarini elastik qattiq jismdek, $\tau > \tau_0$ da esa qovushoq suyuqlikdek tutadilar. Bu xususiyatni shunday izohlash mumkin: tinch holatdagi bunday suyuqlik τ_0 dan kichik ixtiyoriy kuchlanishga qarama-qarshi turaoladigan biror yetarlicha qattiq uch o‘lchovli tuzilmaga ega bo‘ladi. Kuchlanish oshishi bilan bu ko‘rsatilgan ichki tuzilma buziladi va suyuqlikning urimna harakati paydo bo‘ladi. Bunday jinsli suyuqliklar: plasmassalar qorishmasi, neft quvurlaridagi burg‘ulash shlamlari (gidroximiyaviy usullarda olinadigan asl (zanglamaydigan) metallarga boy cho‘kindi), yuvish suspenziyalari, tish yuvish pastasi, margarin, har xil ko‘rinishdagi oshxona yog‘lari va hokazo.

• *xossalari vaqtdan bog‘liq suyuqlik* – bu siljish tezligi ham siljishning miqdoridan va ham davomiyligidan bog‘liq bo‘lgan suyuqlik:

• *tiksotrop suyuqlik* – bu siljishning o‘zgarma tezligi va o‘zgarma temperaturaga ega vaqt o‘tishi bilan qovushoqlik kamayishi qaytariluvchanligiga olib keluvchi suyuqlik (masalan, yuqori polimerlarning qorishma va eritmasi, neft burg‘ulash quvurlaridagi gillar (tog‘ jinslarining yumshoq cho‘kindisi, u suvda qorilsa loyga aylanadi, quriganda o‘z shaklida qoladi, pishirilganda toshdek qattiq bo‘ladi), ko‘pgina oziq-ovqat mahsulotlari va bo‘yoqlar shunday xossaga ega);

• *repektik suyuqlik* – bu siljishning o‘zgarma tezligi qovushoqlik o‘sishi qaytariluvchanligiga olib keluvchi suyuqlik (masalan, bentolitli loy suspenziyalari, gips qorishmalari, ammoniy oleatasi suspenziyasi shunday xossaga ega);

◀ *qovushoq-elastik suyuqliklar* – bu siljishning deformatsiya-lantiruvchi kuchlanishi olib tashlangandan keyin qisman elastik tiklanish paydo bo‘ladigan suyuqliklar, bunda ularda ham qovushoq suyuqliklar va ham elastik qattiq jismlarning xossalari namoyon bo‘ladi. Qattiq jismlar uchun berilgan deformatsiyani paydo qiluvchi Guk qonuniga to‘la bo‘ysinuvchan kuchlanish vaqtdan bog‘liq bo‘lmaydi. Qovushoq-elastik suyuqliklarda esa bu kuchlanish doimo relaksatsiyalaydi. Sof qovushoq suyuqliklardan farqli qovushoq-elastik suyuqliklar tashqi kuchlanish ta‘sirida darhol oqib boshlaydi, yuklanish olingandan keyin esa ularning deformatsiyasi asta-sekin tiklanadi. Shunday qilib, bunday suyuqliklarning oqimini tavsiflovchi holat tenglamalarida urimna kuchlanish va siljish tezligidan vaqt bo‘yicha hosila qatnashishi zarur. Kuchlanish relaksatsiyasi, qoldiq deformatsiya, qolipining shishi – shunaqa turdagi suyuqliklarga xos ba‘zi jarayonlardir. Qattiq jismlar, eritilgan polimerlar va ularning qorishmalarida qovushoq-elastiklik kuchli namoyon bo‘ladi. Har xil sovun erimlari, silikonli zamazka (xamirsimon plastik massa), quyulash tirilgan tuxum oqi, ba‘zi shampunlar, har xil turdagi quyiltirilgan sut va suvga aralash tirilgan jelatinda ana shunday qovushoq-elastiklik xossalari uchraydi.

КОМПЛЕКСНАЯ СКОРОСТЬ – kompleks tezlik; suyuqlikning yassi parallel potensial harakatida $z=x+iy$ kompleks o‘zgaruvchining kompleks qiymatli funksiyasi $\bar{v} = \bar{v}(z)$ bo‘lib, uning haqiqiy qismi oqim tekisligida tezlikning x haqiqiy o‘qdagi v_x proeksiyasiga teng, mavhum qismi esa tezlikning y mavhum o‘qda qarama-qarshi ishorasi bilan olingan v_y proeksiyasiga teng, $\bar{v} = v_x - iv_y$. *Izoh:* siqilmaydigan suyuqlik oqimida kompleks tezlik

kompleks potensialning kompleks koordinata bo'yicha hosilasiga teng, $\bar{v} = \frac{dw}{dz}$; \bar{v} ni $v_x + iv_y$ dan farqlash uchun «qo'shma kompleks tezlik» atamasi kiritilgan).

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ – ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ – kompleks potensial – xarakteristik funksiya; bir jinsli siqilmaydigan suyuqlikning yassi parallel potensial harakatida $z=x+iy$ kompleks o'zgaruvchining $w(z)$ – analitik funksiyasi bo'lib, u φ tezlik potentsiali va ψ oqim funksiyasi bilan $w(z)=\varphi+i\psi$ formula orqali bog'langan.

КОНДЕНСАЦИЯ – kondensatsiya; teskari jarayon bo'lib, moddaning gaz holatidan suyuq holatiga o'tishi. Bunda bug'dagi molekullarning suyuqlikka o'tishi aksinchasidan ko'p bo'ladi.

КОНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ – konussimon harakat; bunda (r,φ,θ) sferik koordinatalar sistemasida harakat parametrlari r radius koordinatadan bog'liq emas. *Izoh:* Agar oqimning parametrlari burchak koordinatalarining biridan, masalan θ dan ham bog'liq bo'lmasa, u holda konussimon harakat bir vaqtning o'zida o'qqa nisbatan simmetrik ham bo'ladi.

КОНФУЗОР – konfuzor; oqim bo'yicha diametri kichrayib boruvchi quvur.

КОЭФФИЦИЕНТ БУССИНЕСКА – Bussinesk ko'ffisiyenti; normal kesim orqali vaqt birligi ichida oqib chiqqan suyuqlik harakat miqdorining o'rtacha mahalliy tezligi bo'yicha hisoblangan suyuqlik harakat miqdoriga nisbatiga teng.

КОЭФФИЦИЕНТ ВЯЗКОСТИ – qovushoqlik ko'ffisiyenti (Qarang: динамический коэффициент вязкости)

КОЭФФИЦИЕНТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ или КОЭФФИЦИЕНТ ДАРСИ – gidravlik ishqalanish ko'ffisiyenti yoki Darsi ko'ffisiyenti (λ); Darsi–Veysbax formulasi (ifodasidagi) o'lchovsiz ko'ffisiyent, umumiy holda o'zan devorining nisbiy notekisligiga bog'liq kattalik.

КОЭФФИЦИЕНТ ДАРСИ или КОЭФФИЦИЕНТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ – Darsi ko'ffisiyenti yoki gidravlik ishqalanish ko'ffisiyenti.

КОЭФФИЦИЕНТ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ или КОЭФФИЦИЕНТ КОРИОЛИСА – kinetik energiya ko'ffisiyenti yoki Koriolis ko'ffisiyenti; 1) tezlikning chin taqsimoti bo'yicha hisoblangan kinetik energiyaning o'rtacha tezlik bo'yicha hisoblangan kinetik energiyasiga nisbati; 2) normal kesim orqali vaqt birligi ichida oqib chiqqan suyuqlik kinetik energiyasining o'rtacha mahalliy tezligi bo'yicha hisoblangan suyuqlik kinetik energiyasiga nisbatiga teng; 3) suyuqlik massasi kinetik energiyasining shu massaning shartli kinetik energiyasi nisbatiga teng:

$$\alpha = \frac{1}{v^3 \cdot \omega} \iint_{\omega} U^3 d\omega \quad (\text{o'lchamsiz kattalik}), \text{ bu yerda } U - \text{kesimning ixtiyoriy}$$

nuqtasidagi haqiqiy tezlik; v – o'rtacha tezlik; ω – kesim yuzasi.

КОЭФФИЦИЕНТ ОБЪЕМНОГО СЖАТИЯ ЖИДКОСТИ – suyuqlikning hajmiy siqilish ko'ffisiyenti; suyuqlik hajmining nisbiy kamayishi berilgan hajmni har tomonlama tekis siquvchi normal zo'riqishga nisbati.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ – sirt taranglik ko'ffisiyenti; suyuqlik sirtidagi yoki o'zaro aralashmaydigan ikki suyuqlik ajralish chegarasidagi sirt taranglik kuchlarining chiziqli zichligi, [N/m]. U suyuqlikning tabiati, harorati va suyuqlik tutashib turgan muhitning holatidan bog'liq.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОТЕРИ НАПОРА – napor sarfi ko'ffisiyenti.

КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА ВОДОСЛИВА – oqavaning sarf ko'ffisiyenti; oqimning vertikal siqilishi hamda mahalliy bosimni hisobga oluvchi formuladagi o'lchamsiz kattalik.

КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ – filtratsiya ko'ffisiyenti; Darsi qonuniga kiruvchi proporsionallik ko'ffisiyenti bo'lib, unga ko'ra tezlik filtratsiyasi bosim gradiyentiga proporsional: $v_{\phi} = k \cdot \text{grad } p$.

КОЭФФИЦИЕНТ ШЕРОХОВАТОСТИ – *dag'allik, g'adir–budirlik koeffitsiyenti*; o'zan devorlarining g'adir – budirligini harakterlovchi son.

КРИВАЯ ПОДПОРА – *ko'tarilish chizig'i*; oqim yo'nalishi bo'yicha chuqurligi kamayib boruvchi oqovanning erkin sirti chizig'i.

КРИВАЯ СПАДА – *kamayish (pasayish) chizig'i*; oqim yo'nalishi bo'yicha chuqurligi ko'payib, ortib boruvchi oqobaning erkin sirti chizig'i.

КРИТЕРИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ – *dinamik o'xshashlik mezonlari*.

КРИТИЧЕСКАЯ ГЛУБИНА – *kritik chuqurlik*.

КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ – *kritik tezlik*, qaralayotgan oqim kesimidagi o'rtacha tezlik bo'lib uning o'zgarishi oqim tartibining o'zgarishiga olib keladi.

КРИТИЧЕСКИЙ УКЛОН – *kritik qiyalik*; bu silindrik yoki prizmatik o'zanlarga berilishi mumkin bo'lgan qiyalik bolib, berilgan sarf va tekis bosimsiz harakatdagi suyuqlik uchun normadagi chuqurlik kritik chuqurlik bilan bir xil bo'ladi, bu yerda me'yordagi kritik chuqurlik chizig'i bilan ustma–ust tushadi.

КРУГОВОЙ ВИХРЬ – *doiraviy uyurma*; torodial shakldagi izolyatsiyalangan uyurma.

Л

ЛАМИНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *laminar harakat*; zarrachalarining tezliklari va boshqa parametrlari tartiblangan suyuqlik harakati (suyuqlik qatlam-qatlam bo'lib oqib, shu suyuqlik zarrachalari bosib o'tgan yo'llarning izlari bir biriga nisbatan parallel bo'ladi; *laminar* – qatlam).

ЛАМИНАРНЫЙ или ВЯЗКИЙ ПОДСЛОЙ – *laminar yoki qovushoq yupqa qatlam*; laminar tartibda harakatlanayotgan suyuqlik qatlami, u turbulent tartibda harakatlanayotgan suyuqliklarda hosil bo'ladigan qatlamga nisbatan ancha yupqa bo'ladi.

ЛАМИНАРНЫЙ РЕЖИМ – *laminar rejim*; suyuqlik zarrachalarining harakati faqat harakat yo'nalishi traektoriyasi bo'ylab bo'ladigan harakat tartibi.

ЛИНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ГЛУБИН – *kritik chuqurliklar chizig'i*; bunday chiziqlar o'zan tubiga parallel bo'lib, qiymat jihatidan kritik chuqurlikka teng masofadan o'tadi.

ЛИНИЯ НАПОРНАЯ – *napor chizig'i*; fikran oqim yo'nalishi bo'yicha qo'yilgan yoki Pito naychasidagi suyuqlik gorizonti bo'yicha o'tkazilgan chiziq.

ЛИНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ГЛУБИН – *normal chuqurliklar chizig'i*; bunday chiziqlar o'zan tubiga parallel bo'lib undan qiymati jihatidan me'yordagi chuqurlikka teng masofada o'tadi.

ЛИНИЯ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКАЯ – *pyezometrik chiziq*; fikran oqim yo'nalishi bo'yicha o'rnatilgan pyezometrlardagi suyuqlik gorizontlari bo'yicha o'tkazilgan chiziq.

ЛИНИЯ РАВНОГО НАПОРА – *teng naporlar chizig'i*; bu chiziq shunday nuqtalarning geometrik o'rniki, ular uchun qaralayotgan vaqtda bosim (napor, dam) qiymati o'zgarmas kattalik bo'ladi.

ЛИНИЯ ТОКА – *oqim chizig'i*; urinmasi tezlik vektori bilan mos keluvchi chiziq, boshqacha aytganda, har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma suyuqlik tezligiga parallel bo'lgan chiziq (bu shunday chiziqki, berilgan vaqt momentida uning har bir nuqtasida suyuqlik lahzaviy tezlik vektori shu chiziqqa o'tkazilgan urinmaga mos tushadi). *Izoh*: 1. Barqaror harakatda oqim chizig'i va suyuqlik zarrachasining harakat traektoriyasi o'zaro mos tushadi. 2. Bir o'lchovli harakatda oqim chizig'i va zarrachaning fizik fazodagi traektoriyasi o'zaro mos tushadi, ular to'g'ri chiziqlardan iborat bo'ladi. 3. Oqimda o'tkaziladigan chiziq bo'ylab, qaralayotgan vaqtda suyuqlik zarrachalarining tezligi shu chiziqqa urinma bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

ЛОБОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ – *yuzma-yuz qarshilik*; jismni aylanib oqishda uyurmali va profilli qarshiliklar yig'indisi.

М

МАНОМЕТРИЧЕСКОЕ или ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ – *manometrik yoki ortiqcha bosim*; fazoning qaralayotgan nuqtasidagi mutloq bosim bilan atmosfera bosimi ayirmasiga teng bosim (agar bu ayirma musbat bo‘lsa): $P_{ori}=P_{abs}-P_{atm}$.

МАССА ОБЪЕМА ЖИДКОСТИ – *berilgan hajmdagi suyuqlik massasi*.

МАССОВЫЕ СИЛЫ – *massaviy kuchlar*: og‘irlik, inersiya kuchlari (qarang: *силы массовые*).

МАСШТАБЫ ТУРБУЛЕНТНОСТИ – *turbulentlik masshtabi*; suyuqlikning pulslangan tezliklari o‘zaro statik bog‘langan nuqtalari orasidagi o‘rtacha masofa:

$$L_{ij}^{(k)} = \int_0^{\infty} R_{ij}(x_k, x_{k+l}) dl, \text{ bunda } R_{ij} - \text{turbulent hatakat pulslangan tezligining } x_k \text{ koordinata}$$

boyicha v'_i va v'_j proyeksiyalari orasidagi fazoviy korrelyatsiya koeffitsiyentlari.

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА – *moddiy nuqta*; o‘lchamlari hisobga olinmaydigan massaga ega obyekt (bu tushuncha o‘rganilayotgan harakatda jismning nuqtalari o‘tgan masofaga nisbatan uning o‘lchamlarini e‘tiborga olmaslik mumkin bo‘lgan holdagina o‘rinli).

МГНОВЕННАЯ СКОРОСТЬ – *oniy tezlik*; shu lahzada oqimning berilgan nuqtasidagi $\vec{v}(\vec{r})$ tezlik vektori, bunda \vec{r} - tanlangan koordinatalar sistemasida qaralayotgan nuqta radius vektori.

МГНОВЕННЫЙ РАСХОД – *oniy sarf*; Δm , ΔG , ΔV va Δt lar nolga intilganda sarfning chegaraviy kattaligi.

МЕСТНАЯ ПОТЕРЯ НАПОРА – *mahalliy napor sarfi*; ishqalanish kuchi bajargan ishi hisobiga ma‘lum joydagi to‘liq napor (dam)ning kamayishi.

МЕСТНАЯ СКОРОСТЬ – *mahalliy tezlik*; suyuqlik fazosi nuqtasining qaralayotgan vaqt momentidagi tezligi.

МЕТАЦЕНТР – *metamarkaz*; suzayotgan jismning og‘gan holatida yangi hosil bo‘lgan ko‘taruvchi kuchning yo‘nalishi bilan simmetrik o‘qning uchrashgan nuqtasi.

МЕТАЦЕНТРИЧЕСКИЙ РАДИУС – *metamarkaziy radius*; hajmiy suv sig‘imi markazidan metasentrgacha bo‘lgan masofa.

МЕХАНИКА – *mexanika*; moddiy jismlarning har xil kuchlar ta’sirida mexanik harakatini (ko‘chishini), o‘zaro ta’sirlashishini va muvozanatini o‘rganuvchi fan.

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ или ГИДРОМЕХАНИКА – *suyuqlik mexanikasi yoki gidromexanika*; mexanikaning suyuqlik muvozanati va harakati qonunlarini hamda uning suyuqlikka to‘la yoki qisman botirilgan qattiq jism bilan o‘zaro mexanik ta’siri qonuniyatlarini o‘rganuvchi bo‘limi.

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ – *suyuqlik, gaz va plazma mexanikasi*; mexanikaning qo‘zg‘aluvchan tutash muhit (uning ichki xossalari o‘zgarmagan holda) mexanik muvozanatini va harakatini hamda uning qattiq jismlar bilan o‘zaro ta’sirini o‘rganuvchi bo‘limi.

МОМЕНТ ДИПОЛЯ – *dipol momenti*; dipol doirasida manba va manfiy manba orasidagi masofaning manba (yoki manfiy manba) sarfiga ko‘paytmasining ular orasidagi masofa nolga intilgandagi limiti.

МОМЕНТ ДУБЛЕТА – *dublet momenti*; teng quvvatli manba va manfiy manba uchun shu quvvatining dubletga ko‘paytmasiga teng miqdor.

МОЩНОСТЬ или ОБИЛЬНОСТЬ ИСТОЧНИКА – *manbaning quvvati*; oqib chiqayotgan suyuqlikning sekundlik miqdori.

Н

НАНОСЫ ВЗВЕШЕННЫЕ – *oqimdagi muallaq qattiq jism zarrachalari*.

НАНОСЫ ДОННЫЕ – *oqim tubudagi harakatlanadigan qattiq zarrachalar*.

НАПОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ – *geometrik napor*; qaralayotgan suyuqlik holatining solishtirma energiyasiga teng bo‘lib, miqdor jihatidan suyuqliklarning qaralayotgan nuqtasidan kuzatish tekisligigacha bo‘lgan masofa.

- НАПОР ДАВЛЕНИЯ** или **ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ НАПОР** – *bosim navori yoki pyezometrik bosim (balandlik); pyezometrik balandlik* – bu bosimning solishtirma energiyasi.
- НАПОР** или **ПОЛНЫЙ НАПОР (в случае обычного потока жидкости)** – *to‘liq navor yoki suyuqlik oddiy oqimining to‘liq navori*; to‘liq solishtirma energiya bo‘lib, oqimning solishtirma, potensial va kinetik energiyalarining yig‘indisiga teng: $H_e = Z + P/\gamma + \alpha v_0^2/2g$.
- НАПОР** или **ПОЛНЫЙ НАПОР (в случае элементарной струйки)** – *elementar sharracha (kichik oqimcha) bo‘lgan hol uchun to‘la navor*; elementar sharracha (kichik oqimcha) ning to‘la solishtirma energiyasi: $H_e = Z + P/\gamma + U^2/2g$.
- НАПОР НА ВОДОСЛИВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ** – *oqavaning geometrik navori*; suv sathi kamaymaydigan yerda oqavaning yuqori havzasidagi suyuqlikning to‘siq ustidan oshib o‘tishi.
- НАПОР НА СООРУЖЕНИИ** или **ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ НАПОР НА СООРУЖЕНИИ** – *inshootga tushayotgan navor yoki geometrik navor*; miqdor jihatdan quyi havzaga nisbatan yuqori havzaning balandligiga teng.
- НАПОР НА ТРУБОПРОВОДЕ** – *quvurdagi navor*; quvurni suyuqlik bilan taminlovchi sig‘im (hovuz)dagi suyuqlikning erkin sathidan quvur o‘qigacha bo‘lgan masofa.
- НАПОР ПОЛНЫЙ НА СООРУЖЕНИИ** или **НАПОР С УЧЕТОМ СКОРОСТИ ПОДХОДА** – *inshootga ta’sir etayotgan to‘la navor*; miqdor jihatdan geometrik navor va tezlik navorining yig‘indisiga teng: $Z_0 = Z + \alpha v_0^2/2g$.
- НАПОР СКОРОСТНОЙ (кинетический) В СЛУЧАЕ ПОТОКА ЖИДКОСТИ** – *suyuqlik oqimi bo‘lgan hol uchun kinetik tezlik navori*; oqimning solishtirma kinetik energiyasi: $h_v = \alpha v^2/2g$.
- НАПОР СКОРОСТНОЙ (кинетический) В СЛУЧАЕ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ СТРУЙКИ** – *elementar sharracha (kichik oqimcha) bo‘lgan hol uchun kinetik tezlik navori*; oqimning solishtirma kinetik energiyasi: $h_v = U^2/2g$.
- НАПОРНОЕ ДВИЖЕНИЕ** – *navorli harakat*.
- НАПРЯЖЕНИЕ В ЖИДКОСТИ** – *suyuqlikdagi kuchlanish*; suyuqlikning tutash zarrachalari orasidagi o‘zaro ta’sir kuchlarining ular tutashgan sirt yuzasiga (bu yuza konturi, uning orientatsiyasi o‘zgatmagan holda, berilgan nuqtagacha tortiladi) nisbatining limitiga teng vektor. *Izoh*: Masalan, agar yuza x_1 o‘q boyicha normalga oriyentirlangan bo‘lsa, u holda undagi kuchlanish σ_1 bilan, uning proeksiyalari esa σ_{11} , σ_{12} , σ_{13} bilan belgilanadi.
- НАСАДОК** – *kiygiziluvchi qisqa quvur (nasadka)*; bosim ostidagi suyuqlik oqib o‘tadigan kalta quvurcha yoki damning uzunlik bo‘yicha o‘zgarishi hisobga olinmaydigan darajadagi kalta quvurcha.
- НАСАДОК БОРДА** или **ВНУТРЕННИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ НАСАДОК** – *Bord quvurchasi yoki ichki silindrik quvurcha*; suv bilan ta’minlaydigan idish (hovuz) ning ichki devoriga o‘rnatiladigan quvurcha.
- НАСАДОК ВЕНТУРИ** или **ВНЕШНИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ НАСАДОК** – *Venturi quvurchasi yoki tashqi silindrik (yumaloq) quvurcha*; suv bilan ta’minlaydigan idish (hovuz) ning devoriga tahsqari tomondan o‘rnatiladigan quvurcha.
- НЕВЕСОМАЯ ЖИДКОСТЬ** – *vaznsiz suyuqlik*; harakati va muvozanati og‘irlik kuchidan yoki inertsiyaning ko‘chirma kuchlaridan bog‘liq bo‘lmagan suyuqlik.
- НЕВЯЗКАЯ ЖИДКОСТЬ** – *qovushoqmas suyuqlik*; harakati jarayonida faqat normal kuchlanishlar paydo bo‘ladigan suyuqlik.
- НЕПРЕРЫВНОСТЬ** – *uzluksizlik*; harakatlanayotgan suyuqlikning xossasi fazoni yoki uning qismini tutash to‘ldiradi.
- НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ** – *notekis harakat*.
- НЕСЖИМАЕМАЯ ЖИДКОСТЬ** – *siqilmaydigan suyuqlik*; zichligi bosimdan bog‘liq bo‘lmagan, ya’ni barcha zarrachalarining zichligi o‘zgarmaydigan suyuqlik.

НЕСМАЧИВАЮЩАЯ ЖИДКОСТЬ – *hoʻllanmaydigan suyuqlik*; qattiq jism yaqinidagi sirti qovariq boʻlib turadigan suyuqlik.

НЕУСТАНОВИВШЕСЯ ДВИЖЕНИЕ – *beqaror (nobarqaror) harakat*.

НОРМАЛЬНАЯ ГЛУБИНА – *normal chuqurlik*.

НОРМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ – *normal kuchlanish*; kuchlanish vektorining qaralayotgan nuqtada aniq orientirlangan elementar yuza-ga qoʻyilgan tashqi \vec{n} normalidagi proyeksiyasi: $\sigma_{nn} = \sigma_n \vec{n}$. *Izoh*: agar yuza x_1 oʻq boʻyicha normalga orientirlangan boʻlsa, u holda $\sigma_{nn} = \sigma_{11}$.

НОРМАЛЬНОЕ СЕЧЕНИЕ - ЖИВОЕ СЕЧЕНИЕ – *normal kesim – jonli kesim*; suyuqlik oqimi doirasidagi har bir nuqtada shu nuqtaning oʻrtacha mahalliy tezligiga mos keluvchi vektorga normal qilib oʻtkazilgan sirt yuzasi yoki fazoning har bir nuqtasida oʻrta mahalliy tezlik vektoriga normal qilib olingan oqim naychasining kesimi.

НЬЮТОНОВСКАЯ ИЛИ ЛИНЕЙНО-ВЯЗКАЯ ЖИДКОСТЬ – *Nyuton yoki chiziqli-qovushoq suyuqlik*; kuchlanish tenzori deformatsiyalar tezliklari tenzorining chiziqli funksiyasi boʻlgan qovushoq suyuqlik. Nyuton suyuqliklari uchun tezliklarning chiziqli taqsimoti oʻrinli, bunda du/dy – tezlik gradienti (suyuqlik koʻndalang qatlamining siljish tezligi) oʻzgarmas boʻlib qoladi. Grafikning burchak koeffitsiyenti – siljish kuchlanishining tezlik gradiyentidan bogʻliqligi μ – suyuqlikning qovushoqlik koeffitsiyentiga mos keladi. U faqatgina temperatura va bosimdan bogʻliq, siljish tezligidan esa bogʻliq emas.

О

ОБЛАСТЬ ДОКВАДРАТИЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТЫХ РУСЕЛ – *notekis (gʻadir–budur) oʻzanlar qarshiligining kvadratik tartibigacha (darajasiga) boʻlgan qiymatlar sohasi*; napor (dam)ning uzunlik boʻyicha sarfi oʻzaning nisbiy notekisligiga bogʻliq boʻlib, oʻrtacha tezlikning ikkinchi darajasiga proporsional boʻlga holatdagi harakatning turbulent tartibli qismi.

ОБЛАСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ – *gidravlik qarshilik sohasi*.

ОБЛАСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГЛАДКИХ РУСЕЛ – *tekis oʻzamlarning qarshilik sohasi*; turbulent sohasining qismi boʻlib, napor (dam)ning sarfi oʻzan devori nisbiy notekisligiga (gʻadir–budirligiga) bogʻliq boʻlmay 10000 boʻlganda, oʻrtacha tezlikning 1.75 darajasiga proporsional boʻlgan hol.

ОБРАТИМЫЙ ПРОЦЕСС – *qaytar jarayon*; agar tizim vaqt oʻsishida ikkala tarafdin yoʻnalishda ham biror holatlar ketma-ketligidan oʻtsa, u holda bunday holatlar ketma-ketligi qaytariluvchan jarayon, aks holda esa u qaytarilmaydigan jarayon deyiladi;

ОБЪЕМНЫЙ РАСХОД – *hajmiy sarf*; oqimning normal kesimi orqali vaqt birligi ichida oqib chiqqan suyuqlik hajmi, boshqacha aytganda, sodda yopiq kontur orqali oʻtkazilgan qoʻzgʻalmas sirt orqali oqayotgan suyuqlik hajmidan vaqt boʻyicha olingan hosila (*Izoh*: massaviy sarf (lahzaviy massaviy sarf) ham xuddi shunday aniqlanadi).

ОБЪЕМ ЖИДКОСТИ – *suyuqlik hajmi*.

ОБЪЕМНОЕ ВОДОИЗМЕШЕНИЕ ПЛАВАЮЩЕГО ТЕЛА – *suzuvchi jismning suv sigʻimi*.

ОБЪЕМНЫЕ СИЛЫ – *hajmiy kuchlar*; zichligi hamma yerda bir xil boʻlgan suyuqlikka taʼsir etayotgan massaviy kuchlar.

ОБЪЕМНЫЙ ВЕС ЖИДКОСТИ – *suyuqlikning hajm birligidagi ogʻirligi (solishtirma ogʻirlik)*.

ОДНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *bir oʻlchovli harakat*; bunday harakatda muhitning barcha xarakteristikalarini faqatgina biror tekislikkacha boʻlgan x masofadan (tekis toʻlqinli harakat) yoki biror toʻgʻri chiziq – simmetriya oʻqigacha boʻlgan x masofadan (silindrik toʻlqinli harakat) yoki biror nuqta – simmetriya markazigacha boʻlgan x masofadan (sferik toʻlqinli harakat) va vaqtdan (agar harakat nobarqaror boʻlsa) bogʻliq boʻladi. Sferik toʻlqinli bir oʻlchovli harakatda tezlik vektori mos sferik koordinatalar sistemasida noldan farqli faqatgina bitta radial komponentaga ega boʻladi.

ОДНОРОДНАЯ ЖИДКОСТЬ – *bir jinsli suyuqlik*; barcha nuqtalarida tarkibi va zichligi bir xil, ya'ni qo'zg'alagan holatida zichligi o'zgarmas bo'lgan suyuqlik.

ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *o'qqa nisbatan simmetrik harakat*; simmetriya o'qi deb ataluvchi biror to'g'ri chiziq orqali o'tuvchi ixtiyoriy tekislik uchun barcha parametrlari bir xil bo'lgan suyuqlik harakati (suyuqlikning ikki o'lchovli harakati bo'lib, silindrik koordinatalar sistemasida tezlik burchak koordinatadan bog'liq emas). *Izoh*: Silindrik koordinatalar sistemasida oqimning parametrlari burchak koordinatadan bog'liq emas, o'qqa nisbatan simmetrik harakat tezligi ikki yoki uchta komponentaga ega bo'lishi mumkin.

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ – *tekis barqaror harakatning asosiy tenglamasi*.

ОСТОЙЧИВОСТЬ – *ustivorlik*;

ОСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАВАЮЩЕГО ТЕЛА (СТАТИЧЕСКАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ) – suyuqlikda *suzib yuruvchi jismning ustivorligi*; jismning muvozanatdan chiqarilgandan so'ng yana muvozanat holatiga qaytish xususiyati.

ОСЬ ДИПОЛЯ – *dipol o'qi*; dipoldagi manba va manfiy manbani tutashtiruvchi to'g'ri chiziqning limitik holati.

ОСЬ ПЛАВАЮЩЕГО ТЕЛА – *suzayotgan jism o'qi*; suzayotgan jism ko'ndalang kesimining simmetriya o'qi.

ОТВЕРСТИЕ «БОЛЬШОЕ» В СТЕНКЕ или ДНЕ СОСУДА – *idish devoridagi yoki tubidagi «katta» teshik*.

ОТВЕРСТИЕ «МАЛОЕ» В СТЕНКЕ или ДНЕ СОСУДА – *idish devoridagi yoki tubadagi «kichikina» teshik*.

ОТКРЫТЫЕ РУСЛА – *ochiq o'zanlar*; o'zanning ko'dalang kesimi ochiq egri chiziqdan iborat bo'lgan hol.

ОТМЕТКИ – *belgilar*.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ШЕРОХОВАТОСТЬ – nisbiy (biror tekislikka nisbatan) g'adir budirlik.

ОТРЫВНОЕ ТЕЧЕНИЕ – *uzilishli oqim*; jismni yoki jismlar sistemasini aylanib oqish bo'lib, bunda ularda tutash oqimning yopiq yoki vintli oqim chiziqarli, asosiy oqimga nisbatan katta uyurmalanish va kichik tormozlanish bosimiga ega sohalarini paydo bo'ladi. *Izoh*: 1. Uzilishli oqish qisman va rivojlangan (uzilish sohasi suyri jism o'lchami bilan taqqoslanish darajasida yoki undan katta) uzilishli bo'lishi mumkin. 2. Ko'p hollarda uzilish sohalarida bosimni yetarlicha aniqlik bilan o'zgarmas deb hisoblash mumkin.

II

ПАРАДОКС ДАЛАМБЕРА – *Dalamber paradoksi (g'ayrioddiylik)*; cheksiz taqsimlangan ideal suyuqlik ichida tekis harakatlanayotgan jism hech qanday qarshilikka uchramaydi.

ПАРАЛЛЕЛЬНО – СТРУЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *parallel tizillab oqish*; oqimlar parallel harakati yoki tekis harakati.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЛАГРАНЖА – *Lagranj o'zgaruvchilari*; suyuqlik harakatini tavsiflashda erkin o'zgaruvchilar sifatida qo'llaniladigan fazoviy nuqtalar koordinatalari va vaqt.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЭЙЛЕРА – *Eyler o'zgaruvchilari*; suyuqlik harakatini tavsiflashda erkin o'zgaruvchilar sifatida qo'llaniladigan fazoviy nuqtalar koordinatalari va vaqt.

ПИТО ТРУБКА – *Pito naychasi*; uchi to'g'ri burchak ostida qayrilgan kichik diametrli naycha, u oqimga qarshi qo'yiladi, naychada suyuqlikning ko'tarilishi tezlik naporini (damini) beradi.

ПЛАВНО ИЗМЕНЯЮЩЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ – *tekis o'zgaruvchan harakat*.

ПЛАВУЧЕСТЬ ТЕЛА – *jismning suzuvchanligi*; jismning yarim cho'kkan holda suzuvchanlik xususiyati.

ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *Tekis parallel harakat*; suyuqlik zarrachalari barcha parametrlari bilan biror qo'zg'almas tekislikka (zarrachalardan bu tekislikkacha bo'lgan masofadan bog'liq bo'l-magan holda) parallel harakat qilayotgan suyuqlik harakati (suyuqlik-

ning tezligi qo'zg'almas tekislikka parallel va shu tekislikkacha bo'lgan masofadan bog'liq bo'lgan holdagi ikki o'lchovli harakati).

ПЛОСКОСТЬ СРАВНЕНИЯ – *taqqoslash tekisligi*; sanoq boshlanadigan tekislik.

ПЛОСКОСТЬ ТЕЧЕНИЯ – *oqim tekisligi*; tekis oqimda suyuqlik zarrachalari tezliklariga parallel tekislik.

ПЛОТНОСТЬ ЖИДКОСТИ – *suyuqlik zichligi*; suyuqlikning hajm birligidagi massasi.

ПЛОЩАДКА ДЕЙСТВИЯ – *ta'sir yuzachasi*; sirtqi kuch ta'sitidagi ma'lum yo'nalishga ega bo'lgan kichik yuzacha.

ПЛОЩАДЬ ЖИВОГО СЕЧЕНИЯ – *jonli kesim yuzasi*; oqim ko'ndalang kesim yuzasi yoki oqimdagi chiziqqa perpendikulyar yuza.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ДАВЛЕНИЕ – *sirt bosimi*; sirtga yoki yuzaga ta'sir etayotgan bosim.

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ – *sirt tarangligi*; suyuqlik sirtidagi zarrachalar tutinish kuchlarining erkin sirt yoki aralashmayotgan ikki suyuqlik chegarasi hamda qattiq jism bilan tutash chegarasi uzunligi birligiga nisbati bilan o'lchanadigan miqdor (yoki suyuqlik sirt qatlamidagi zarrachalarining tutinish kuchi). Sirt tarangligi suyuqlik hajmini minimumgacha qisqartirishga intiladi. Shuning uchun suv tomchisi sferik shaklda, vaznsizlik holatida esa shar shaklida bo'ladi. Sirt tarangligi inshootning muzlash shartiga, bug'lanishga, qor qatlamining namligiga, to'qinlanishga va boshqa hodisalarga ta'sir qiladi.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СИЛЫ – *sirt kuchlari*.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ ЗА СООРУЖЕНИЕМ – *to'siq (inshoot)dan keyingi oqim yuza qismining harakatlanish rejimi*; suyuqlikning bevosita to'siqdan keyingi harakati bo'lib, beto'xtov oqimchalar oqimning yuza qismida joylashgan hol.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ – *sirt qatlami*; suyuqlikning molekulyar kuchlar ifodalangan erkin sirtiga yoki boshqa suyuqlik yoki qattiq jism bilan ajralgan chegarasiga bevosita tutash yuqqa sirti.

ПОВЕРХНОСТЬ РАВНОГО ДАВЛЕНИЯ – *teng bosimlar sirti*.

ПОВЕРХНОСТЬ ТОКА – *oqim sirti (oqim chiziqlari sistemasi hosil qilgan sirt)*; bu urinmasi tezlik vektori bilan mos keluvchi sirt, boshqacha aytganda, oqim chiziqlaridan tashkil topgan sirt.

ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ – *chegaraviy qatlam*; suyuqlik ta'siri paydo bo'ladigan qattiq jism sirtiga tutash qatlam yoki ikkita suyuqliklarning ajralish chegarasidagi qatlam yoki suyuqlikning erkin sirtidagi qatlam yoki suyuqlikning qovushoqligi namoyon bo'ladigan yuqqa qatlami bo'lib, u katta Reynolds sonlarida paydo bo'ladi.

ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ ПРИСТЕНОЧНЫЙ – *devor yaqinidagi chegaraviy qatlam*.

ПОДЪЕМНАЯ СИЛА – *ko'taruvchi kuch*; jismni aylanib oqishda uning sirtiga qo'yilgan elementar kuchlar bosh vektorining F_y tashkil etuvchisi bo'lib, u jismga nisbatan qo'zg'almagan bir jinsli oqim tezligiga normal yo'nalgan.

ПОЛНАЯ ПОТЕРЯ НАПОРА – *naporning to'la yo'qolishi (sarfi)*.

ПОЛНЫЙ НАПОР – *to'la napor*.

ПОЛНЫЙ НАПОР НА ВОДОСЛИВЕ – *oqavadagi to'la napor*.

ПОЛНЫЙ РАСХОД – *to'la sarf*; berilgan vaqt momentida S sirt orqali o'tayotgan suyuqlik tezliklari vektori oqimi bo'lib, $\int_S \vec{v} \cdot d\vec{S}$ ga teng.

ПОТЕНЦИАЛ СКОРОСТИ – *tezlik potentsiali*; x, y, z fazoviy koordinatalardan va t vaqtdan bog'liq $\varphi(x, y, z, t)$ skalyar funksiya bo'lib, uning gradiyenti suyuqlikning potensial harakati tezlik vektori bilan mos tushadi: $\vec{v} = \text{grad } \varphi$.

ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *potensial harakat*; tezlik potensialiga ega suyuqlik harakati. *Izoh*: Potensial harakatdagi suyuqlik oqimining barcha nuqtalarida tezlikning uyurma vektori nolga teng.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ НАПОР – *potensial napor*; ichki bosim energiyasi.

ПОТЕРЯ НАПОРА МЕСТНАЯ – *naporning mahalliy sarfi yo 'qolishi*.

ПОТЕРЯ НАПОРА ПО ДЛИНЕ – *naporning uzunlik bo 'yicha kamayishi (yo 'qolishi)*.

ПОТЕРЯ НАПОРА ПОЛНАЯ – *naporning to 'liq yo 'qotilishi*.

ПОТЕРЯ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ или **ПОТЕРЯ НАПОРА** – *solishtirma energiya sarfi yoki napor sarfi*; gidravlik ishqalanishni kamaytirish uchun harakatdagi suyuqlikning sarflangan solishtirma energiyasi. Suyuqlik oqimining harakati paytida naporning yo 'qolishi suyuqlikning qovushoqligi va quvur yoki o 'zan devorining g 'adir-budirligiga hamda harakatning tartibiga bog 'liq.

ПОТОК БЕЗНАПОРНЫЙ – *naporsiz oqim*; suyuqlikning faqat erkin tushish tezlanishi ta 'siridagi harakati.

ПОТОК НАПОРНЫЙ – *naporli oqim*; suyuqlik oqimining tashqi manbadan ta 'sir etayotgan atmosfera bosimidan katta bosim kuchi ta 'sirida harakatga kelishi.

ПОТОК ПОЛУНАПОРНЫЙ – *yarim naporli oqim*; ba 'zi joylari damli va ba 'zi joylari damsiz oqim.

ПОТОК СВОБОДНЫЙ – *erkin oqim*; suyuqlikning qattiq devor bilan chegaralanmagan holdagi oqimi.

ПРИЗМАТИЧЕСКОЕ РУСЛО – *prizmatik o 'zan (to 'g 'ri kanal yoki quvur)*; ko 'ndalang kesim shakli va o 'lchamlari uzunlik bo 'yicha o 'zgarmas bo 'lgan to 'g 'ri o 'zan yoki quvur.

ПРОФИЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ – *profil qarshilik*; jismni aylanib oqishda ishqalanish va bosim qarshiliklari yig 'indisi.

ПРОЦЕСС – *jarayon*; vaqt o 'tishi bilan zarrachalar o 'tadigan holatlar ketma-ketligi

ПРЫЖОК ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ – *gidravlik sakrash*.

ПРЯМОЛИНЕЙНЫЙ ВИХРЬ – *to 'g 'ri chiziqli uyurma*; silindrik shakldagi izolyatsiyalangan uyurma.

ПУАЗ – $1 \text{ puaz} = 1 \text{ din/sm}^2$ (bosim birligi).

ПУЛЬПА – *tuproq zarrachalari bilan suvning mexanik aralashmasi (tuproq zarrachalari nisbatan ko 'p miqdorda bo 'lgan hol)*.

ПУЛЬСАЦИОННАЯ СКОРОСТЬ – *pulsatsion tezlik*; fazoning qaralayotgan nuqtasidagi suyuqlik tezligi va o 'rtacha mahalliy tezlik ayirmasi (boshqacha aytganda, oqim berilgan nuqtasining oniy va o 'rtacha tezliklari orasidagi farq): $v' = v - \langle v \rangle$.

ПУЛЬСАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ – *bosim pulsatsiyasi*, u miqdor jihatdan o 'rtacha bosim bilan oniy bosim ayirmasiga teng.

ПЬЕЗОМЕТР – *pyezometr*.

ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ВЫСОТА – *pyezometr balandlik*; o 'zakka o 'rnatilgan ingichka naychadagi suyuqlik sathi bilan oqim o 'qigacha bo 'lgan masofa.

ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ НАПОР – *pyezometrik napor*; p 'ezoetrik balandlikka teng bo 'lgan bosimning solishtirma energiyasi.

ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ УКЛОН – *pyezoetrik qiyalik (nishablik)*; oqim chizig 'i yoki oqim bo 'yicha olingan uzunlik birligiga to 'g 'ri keladigan potensial bosimning kamyishi.

Р

РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ – *muvozanat holati*; tashqi shartlar saqlanganda tizimning holat parametrlari uzoq vaqt o 'zgarmasdan o 'zgarmas qiymatlarni qabul qilib turadigan holat.

РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *tekis harakat*; suyuqlik zarrachalari o 'zgarmas tezlikka ega bo 'lgandagi barqaror harakat (suyuqlikning tezligi koordinatadan bog 'liq bo 'lmagan holdagi barqaror harakati). *Izoh*: Oqimning parametrlari to 'g 'ri burchakli (x, y, z) dekart koordinatalari

sistemasida qaysidir bitta koordinatadan bog'liq emas va tezlikning shu koordinata yo'nalishidagi komponentasi nolga eng.

РАСХОД ЖИДКОСТИ или **ОБЪЕМНЫЙ РАСХОД ЖИДКОСТИ** – *suyuqlik sarfi yoki suyuqlikning hajm birligidagi sarfi*; oqim ko'ndalang kesimidan vaqt birligida oqib o'tgan suyuqlik hajmi: $Q = \omega v$.

РАСХОД ЖИДКОСТИ УДЕЛЬНЫЙ или **ЕДИНИЧНЫЙ** – *suyuqlikning solishtirma yoki birlik sarfi*; suyuqlik sarfining suyuqlik o'zan kenligiga nisbati: $q = Q/b$.

РАСХОД ИЛИ ИНТЕНСИВНОСТЬ ИСТОЧНИКА (СТОКА) – *manba (manfiy manba) sarfi yoki intensivligi*; manba (manfiy manba)ni o'rab turuvchi va boshqa manbalar va manfiy manbalarni o'z ichiga olmagan yopiq sirt orqali vaqt birligi ichida oqib o'tuvchi suyuqlik sarfi hajmi.

РЕЙНОЛЬДСА ЧИСЛО – *Reynolds soni*; o'lchov birligisiz kattalik bo'lib, tezlik bilan o'zan diametri ko'paytmasining suyuqlik kinematik qovushoqlik koeffitsientiga nisbatiga teng.

РЕОЛОГИЯ – *reologiya*; materialarning deformatsiyasi va oqimi haqidagi fan.

РОТОР – *уурма*.

РУСЛО ЗАКРЫТОЕ – *yopiq o'zan*; naporsiz quvurlar; tonnellar; drenaj quvurlar; g'orlar va boshqalar.

РУСЛО ИСКУССТВЕННОЕ – *sun'iy o'zan*: naporsiz quvurlar; tonnellar; drenaj quvurlar; kanallar; novlar va boshqalar.

РУСЛО НАТУРАЛЬНОЕ – *tabiiy o'zan (quvur)*: daryolar, soylar va boshqalar.

РУСЛО ОТКРЫТОЕ – *ochiq o'zan (quvur)*: tabiiy ochiq o'zanlar (daryolar, soylar va boshqalar) va sun'iy ochiq o'zanlar (kanallar, novlar va boshqalar).

РУСЛО ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ или **ПРИЗМАТИЧЕСКОЕ** – *silindrik yoki prizmatik o'zan*; uzunligi bo'yicha ko'ndalang kesimining shakli va oqimining gidravlik elementlari o'zgarimas o'zan (quvur).

С

СВОБОДНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ ЖИДКОСТИ – *suyuqlikning erkin sirti*; aniq amaliy masalaga xos bo'lgan kinematik va dinamik shartlarga bo'ysingan holda erkin deformatsiyalanuvchan sirt bo'lib, u suyuqlik va gazsimon muhit yoki vakuum orasini ajratadi (boshqacha aytganda, suyuqlikning gaz yoki vakuum bilan tutash sirti bo'lib, u kinematik va dinamik shartlar saqlanilgan holda erkin deformatsiyalanuvchan bo'ladi).

СВОБОДНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ ПОТОКА – *oqimning erkin sirti*; tinch holatdagi suyuqlik yoki oqimning erkin sirti.

СВОБОДНАЯ СТРУЯ – *erkin charracha*; qattiq devor bilan chegaralangan suyuqlik oqimi.

СВОБОДНОЕ ТЕЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ВОДОСЛИВ – *suyuqlikning oqavadagi erkin oqimi*.

СЖИМАЕМАЯ ЖИДКОСТЬ – *siqiluvchan suyuqlik*; zichligi bosimdan bog'liq suyuqlik.

СЖИМАЕМОСТЬ – *siqiluvchanlik*; suyuqlikning bosim o'zgarganda o'z zichligini o'zgartirish xossasi, boshqacha aytganda, suyuqlikning har tomonlama bosim ta'sirida o'z hajmini o'zgartirish (qayta tiklanuvchan) qobiliyati.

СИЛА ВЕСОВОГО ДАВЛЕНИЯ – *og'irlikning bosim kuchi*.

СИЛА ВЗВЕШИВАЮЩАЯ или **АРХИМЕДОВА** – *itaruvchi yoki Arximed kuchi*; yuqoriga tik yo'nalgan gidrostatik bosim kuchhi.

СИЛА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ – *tashqi ishqalanish kuchi*.

СИЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ – *ichkli ishqalanish kuchi*.

СИЛА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩАЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ТВЕРДОГО ТЕЛА – *qattiq jism sirtiga ta'sir etuvchi gidrodinamik bosim kuchi*.

СИЛА ДАВЛЕНИЯ НА СВАБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ – *erkin sirtga ta'sir etayotgan bosim kuchi*.

- СИЛА ИЗБЫТОЧНОГО** или **МАНОМЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ** – *ortiqcha yoki manometrik bosim kuchi.*
- СИЛА ИНЕРЦИИ ЖИДКОСТИ** – *suyuqlik inertsiyasi kuchi*
- СИЛА СОБСТВЕННОГО ВЕСА** или **СИЛА ТЯЖЕСТИ ОБЪЕМА ЖИДКОСТИ** – *og'irlik kuchi yoki suyuqlik hajmining og'irlik kuchi.*
- СИЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ – СОПРОТИВЛЕНИЕ** – *qarshilik kuchi – qarshilik; qo'zg'almas suyuqlikning tezligi yo'nalishidagi gidrodinamik ta'sir proyeksiyasi yoki jismni aylanib oqishda uning sirtiga qo'yilgan elementar kuchlar bosh vektorining F_x tashkil etuvchisi bo'lib, uning yo'nalishi cheksizlikdagi oqimning o'rtacha tezligi vektori yo'nalishi bilan mos tushadi. Izoh: Har xil turdagi qarshilik mavjud bo'lgan holda «ishqalanish qarshiligi», «bosim qarshiligi», «uyurmali qarshilik», «to'liq qarshilik» kabi atamalar ishlatiladi.*
- СИЛА ТРЕНИЯ** – *ishqalanish kuchi; bir biriga tegib turgan (tinchlikdagi ishqalanish) yoki harakatlanayotgan (sirpanish ishqalanishi) suyuqlik va suyri jismlar sirti o'rtasida paydo bo'ladi. Ishqalanish kuchi suyuqlik va suyri jismning urinish sirti bo'ylab ularning nisbiy harakati yo'nalishiga teskari yo'nalgan. Tinchlikdagi ishqalanishning maksimal kuchi bosim kuchiga proporsionaldir. Sirpanish ishqalanish kuchining yo'nalishi suyuqlikning u bilan urinuvchi jismga nisbatan qiladigan harakatining tezligiga qarama-qarshi bo'ladi. Bu o'z navbatida suyri jism sirtiga urinma kuchlarni (ishqalanish kuchlarini) paydo qiladi.*
- СИЛА ТЯЖЕСТИ** – *og'irlik kuchi; jismlarning yerga tortilish kuchi. Agar jismga faqat shu kuch ta'sir qilsa, u holda bu jism erkin tushadi.*
- СИЛЫ ВНЕШНИЕ** – *tashqi kuchlar; suyuqlik biror hajmining moddiy zarrachasiga bosqa biror jism hajmidagi moddalarning ta'sir qilayotgan kuchlar, chunonchi, shu qaralayotgan suyuqlik hajmining moddiy zarrachalariga shu hajmni har tomondan o'rab turgan suyuqlikning ta'sir kuchlari. Ular ikki guruhga bo'linadi: massali kuchlar va sirt kuchlari.*
- СИЛЫ ВНУТРЕННИЕ** – *ichki kuchlar; suyuqlik moddiy zarrachalarining bir biriga ta'sir kuchlari.*
- СИЛЫ МАССОВЫЕ** – *massaviy kuchlar; qaralayotgan hajm birligi massasiga proporsional kuchlar (xususan, suyuqlik zarrachasining zichligi o'zgarmaganda massali kuchlar hajmiy kuchlar deb ataladi), bu kuchlar Nyutonning 2-qonuniga bo'ysunadi (masalan, og'irlik kuchi, inertsiya kuchi).*
- СИЛЫ ОБЪЕМНЫЕ** – *hajmiy kuchlar; hajmni tashkil etuvchi barcha moddiy zarrachalarga qo'yilgan kuchlar (og'irlik kuchi; markazdan qochma kuchlar; magnit kuchlari; elektr kuchlari).*
- СИЛЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ** – *sirt taranglik kuchlari; suyuqlikning erkin sirtiga ta'sir etuvchi, shu sirtga urinma va erkin sirtning chegasiga normal yo'nalgan, suyuqlikni sferik shaklga keltirishga intiluvchi kuchlar. Miqdor jihatidan suyuqlik sirti konturining uzunligi bilan sirt tarangligi koeffitsienti ko'paytmasiga teng.*
- СИЛЫ ПОВЕРХНОСТНЫЕ** – *sirt kuchlari; suyuqlik hajmining sirtida joylashgan zarrachalariga ta'sir etuvchi kuchlar (masalan, atmosfera bosim kuchi, ishqalanish kuchi va b.). Sirt kuchlari va tashqi kuchlar suyuqlikda kuchlanishni paydo qiladi.*
- СИФОН** – *sifon; suyuqlikni yuqoridagi idishdan pastroqdagi idishga o'tkazish uchun xizmat qiladigan bukik naycha.*
- СКОРОСТНОЙ НАПОР** – *tezlik napori.*
- СКОРОСТЬ** – *tezlik; Eyley o'zgaruvchilarining funksiyasi sifatida qaralayotgan suyuqlik nuqtalarining tezligi.*
- СКОРОСТЬ ВЕРХНЯЯ КРИТИЧЕСКАЯ** – *yuqori kritik tezlik; bu holda tezlikning ozgina oshishi bilan harakat laminar tartibdan turbulent tartibga o'tadi.*
- СКОРОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ** – *deformatsiya tezligi; berilgan nuqta orqali o'tuvchi suyuqlik zarrachalari barcha elementlari o'zgarishining tezligi bo'yicha aniqlanuvchi suyuqlik zarrachalari shakli va hajmining o'zgarish tezligi.*

СКОРОСТЬ ЗВУКА – *tovush tezligi*; havoda 0°C harorat (temperatura)da 331 m/s ga teng. Suvda tovush tezligi havodagiga qaraganda taxminan 5 marta, metallarda esa 15 marta katta.

СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ – *oqib chiqish tezligi*; oqimning normal kesimida suyuqlik barcha zarrachalari ko‘chishi lozim bo‘lgandagi tezlik.

СКОРОСТЬ МЕСТНАЯ – *mahalliy tezlik*; suyuqlik fazosi nuqtasining qaralayotgan vaqt momentidagi tezligi.

СКОРОСТЬ НИЖНЯЯ КРИТИЧЕСКАЯ – *quyi kirtik tezlik*; bu holda tezlikning ozgina kamayishi bilan turbulent tartibli hatakat laminar tartibli harakatga o‘tadi.

СКОРОСТЬ ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ – *hajmiy kengayish tezligi*; harakatlanayotgan suyuqlik elementar hajmi o‘zgarish tezligining shu hajm miqdoriga nisbati bo‘lib, uning miqdori tezlik divergensiyasiga teng: $\dot{\theta} = \text{div } \vec{v} = \dot{\epsilon}_{11} + \dot{\epsilon}_{22} + \dot{\epsilon}_{33}$. *Izoh*: Siqilmaydigan suyuqlikda hajmiy kengayish tezligi nolga teng.

СКОРОСТЬ ОТВЕЧАЮЩАЯ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЕ – *kritik chuqurlikka mos tezlik*.

СКОРОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО УДЛИНЕНИЯ – *nisbiy cho‘zilish tezligi*;

$$\dot{\epsilon}_i = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta x_i} \frac{dx_i}{dt} \text{ yoki } \dot{\epsilon}_i = \dot{\epsilon}_{ii} = \frac{\partial v_i}{\partial x_i} \text{ formula bilan aniqlanuvchi, berilgan suyuq chiziq}$$

elementar kesmasi uzunligining shu kesma uzunlik birligiga nisbati o‘zgarishining $\dot{\epsilon}_i$ tezligi, bunda Δx_i – x o‘q bo‘ylab olingan chizikli element uzunligi; t – vaqt; v_i – tezlikning x_i o‘qdagi proyeksiyasi.

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА – *gidravlik zarbaning tarqalish tezligi*.

СКОРОСТЬ СДВИГА – *siljish tezligi*; bir nuqtadab chiquvchi suyuq chiziqlarning dastlab o‘zaro perpendikulyar ikkita elementar kesmalari orasidagi burchak o‘zgarishi tezligi:

$$2\dot{\epsilon}_{ij} = 2\dot{\epsilon}_{ji} = \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i}.$$

СКОРОСТЬ СРЕДНЯЯ – *o‘rtacha tezlik*; bu skalyar kattalik bo‘lib, laminar tartibli harakatda qaralayotgan kesimdagi mahalliy tezlikning o‘rtacha qiymatini bildiradi.

СКОРОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ – *filtratsiya tezligi*; g‘ovakli muhit ko‘ndalang kesimining filtrlovchi qismidan ajratilgan yopiq elementar kontur bo‘ylab suyuqlik hajmiy sarfining shu kontur bilan chegaralangan yuzaga nisbati.

СМАЧИВАНИЕ – *ho‘llanish*; suyuqlikning qattiq jism bilan tutash sirtida bug‘ bilan birga, ya’ni uch faza chegarasida paydo bo‘ladigan sirt hodisasi yaqinidagi sirti botiq bo‘lib turadigan suyuqlik. Ho‘llanish suyuqlikning sirtga “qovushoqligini” va unda yoyilishini (yoki, aksincha, itarilishini va yoyilmasligini) xarakterlaydi. Bunda uchta hol mavjud: ho‘llanmaslik, chekli ho‘llanish va to‘la ho‘llanish. Tor kapilyardagi ho‘llovchi suyuqlik sirti botiq bo‘ladi.

СМЕШИМАЕМОСТЬ – *aralashuvchanlik*; suyuqliklarning bir biriga qarishish xossasi. Masalan, suv va etil spirti aralashuvchan, ammo suv va suyuq yog‘ aralashmaydigan suyuqliklar.

СМОЧЕННЫЙ ПЕРИМЕТР – *ho‘llanish perimetri*; 1) quvur yoki kanal ko‘ndalang kesimining suyuqlik bilan tutashgan chegara yoyi uzunligi; 2) o‘zanning ko‘ndalang kesimi bo‘yicha harakatdagi suyuqlik bilan ho‘llangan perimetrning uzunligi, u o‘zan ko‘ndalang kesimining shaklidan bog‘liq, masalan doiraviy shaklli o‘zan (quvur) uchun $\chi = \pi D$.

СОБСТВЕННЫЙ ВЕС – *sof og‘irlik (vazn)*.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ – *bosim qarshiligi*; jismni aylanib oqishda uning sirtiga qo‘yilgan normal kuchlanishlar orqali ifodalanuvchi bosimning elementar kuchlarini integrallash bilan aniqlanadigan qarshilik kuchlarining bir qismi.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ТРЕНИЯ – *ishqalanish qarshiligi*; jismni aylanib oqishda uning sirtiga qo'yilgan urinma kuchlanishlar orqali ifodalanuvchi ishqalanishning elementar kuchlarini integrallash bilan aniqlanadigan qarshilik kuchlarining bir qismi.

СРЕДНИЙ ОБЪЕМНЫЙ РАСХОД – *o'rtacha hajmiy sarf*; qaralatgan sirt orqali suyuqlik hajmiy sarfining vaqt bo'yicha o'rtalashtirilgan qiymati.

СРЕДНЯЯ МЕСТНАЯ СКОРОСТЬ – *o'rtacha mahalliy tezlik*; oqimning berilgan nuqtasida vaqtning yetarlicha uzoq oralig'ida aniqlangan oniy tezliklar o'rtachasi (b.a. fazoning qaralayotgan nuqtasida suyuqlikning vaqt bo'yicha o'rtalashtirilgan tezligi).

СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА - СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ – *oqimning o'rtacha tezligi* – *o'rtacha tezlik*; normal kesimda tezliklarning haqqoniy taqsimlanishiga mos keluvchi sarf saqlanib, $v_{o'rt} = Q/S$ formula bilan aniqlanuvchi, bunda Q – berilgan normal kesim orqali sarf, S – normal kesim yuzasi, suyuqlikning barcha zarrachalari berilgan normal kesim orqali ko'chib o'tishi lozim bo'lgandagi tezlik.

СТАТИКА ЖИДКОСТИ ИЛИ ГИДРОСТАТИКА – *suyuqlik statikasi yoki gidrostatika*; suyuqliklar mexanikasi fanining muvozanat yoki tinch holatlarini o'rganuvchi qismi.

СТЕНКА ВОДОСЛИВНАЯ – *oqavali to'siq*; ustidan suv oqib o'tadigan to'siq (devor).

СТЕНКА ТОНКАЯ – *yurqa devor*; qalinligi suvning teshikdan oqib chiqishiga ta'siri bo'lmagan devor.

СТЕПЕНЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ – *turbulentlik darajasi*; oqimning qaralayotgan nuqtasidagi pulslangan tezlik o'rtacha kvadratining shu nuqtadagi o'rtacha mahalliy tezligiga nisbatiga teng miqdor: $\xi = \sqrt{v_1'^2 + v_2'^2 + v_3'^2} / \langle v \rangle$.

СТОК – *manfiy manba (oqim)*; cheksiz kichraytirilgan nuqta bo'lib, unga suyuqlik radius bo'ylab yo'nalishidan bog'liq bo'lmagan tezlik bilan oqib kiradi.

СТРУЙКА ЭЛЕМЕНТАРНАЯ – *elementar sharracha (oqimcha)*; oqim egallagan fazodagi harakatlanayotgan suyuqlikning bir qismi bo'lib, u elementar yuzacha bilan yopiq kontirning har bir nuqtasidan o'tuvchi oqim chiziqlari sistema bilan chegaralangan bo'ladi.

СТРУЯ – *sharracha*; oqimning biror belgisi (tezligi, zichligi, tarkibi va shu kabi)ga qarab cheklangan bo'lagi. *Izoh*: 1. Qovushoqmas suyuqlikda sharrachani cheklovchi sirtida tezlikning urinma komponentasi uziladi. 2. Erkin sirt bilan chegaralangan sharracha «erkin sharracha» deb ataladi.

СУММАРНОЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ – *gidrositatik bosimlar yig'indisi*; qaralayotgan yuzani tashkil etuvchi elementar yuzachalarga muvozanatdagi suyuqlik tomonidan ta'sir qilayotgan gidrostatik kuchlarning geometrik yig'indisi.

СЦЕПЛЕНИЕ – *tutinish*; suyuqlik qo'shni zarrachalarining o'zaro tortishish kuchi.

Т

ТВЕРДЫЙ РАСХОД – *qattiq fazalar sarfi*; kesimdan vaqt birligida oqim olib o'tuvchi jismlar miqdori.

ТЕКУЧЕСТЬ – *oquvchanlik*; suyuqlikning uni saqlab turgan idish shaklini egallash xossasi (elastik deformatsiyalarga noqobillik xossasi), u dunamik qovushoqlik koeffitsiyentiga teskari miqdor. Suyuqlik oquvchanlik chegarasiga (plastik qattiq jismlardagi kabi) ega emas.

ТЕМПЕРАТУРА ЖИДКОСТИ – *suyuqlik harorati*.

ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ – *temperatura o'tkazuvchanlik*; moddaning, xususan suvning, fizik parametri bo'lib, issiqlik uzatish xususiyatiga ko'ra har bir nuqtaning temperaturasi shu vaqt momentiga mos keluvchi barqaror holatga intiladi. Temperatura o'tkazuvchanlikning xarakteristikasi temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $a = \lambda(cp)$, bu yerda λ – issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti. Suvning temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti temperaturadan sust bog'liq, masalan, 0 va 10°C temperaturada u mos ravishda $0,485 \cdot 10^{-3}$ va $0,504 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{soat ga teng}$.

ТЕМПЕРАТУРНОЕ РАСШИРЕНИЕ ЖИДКОСТИ – *suyuqlikning harorat bo'yicha (temperaturaviy) kengayishi*; bosim o'zgarish bo'lganda haroratning 1°C ga oshganida suyuqlik hajmining nisbiy o'zgarishi, ya'ni suyuqlik hajmi elementar orttirmasining harorat elementar orttirmasiga nisbati. U temperaturaviy kengayish koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. Tomchili suyuqliklar uchun bu koeffitsiyentning qiymati juda ham kichik bo'lganligi uchun hisoblashlarda u e'tiborga olinmaydi.

ТЕНЗОР НАПРЯЖЕНИЙ ЖИДКОСТИ – *suyuqlikning kuchlanish tenzori*; x_i ($i=1,2,3$) to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasida o'zaro perpendikulyar uchta tekisliklardagi uchta $\sigma_i = \sigma_{ij}$ normal kuchlanishlarga va, umuman olganda, σ_{ij} ($i \neq j$) urinma kuchlanishlarning shu yuzalardagi oltita proeksiyalariga teng, koordinata va vaqtning funksiyasi bo'lgan σ_{ij} tashkil etuvchilarli $\{\sigma_{ij}\}$ ikkinchi rang tenzor. *Uzoh*: 1. Kuchlanish tenzorining σ_{ij} tashlik etuvchilari – x_j o'qqa perpendikulyar yuzadagi σ_j kuchlanishning x_i o'qdagi proyeksiyasi. Taqsimlangan juftliklar (momentlar) bo'lmagan holda kuchlanish tenzori simmetrik bo'ladi, $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ ya'ni. 2. Chiziqli-qovushoq suyuqlikda (Nyuton suyuqligida) simmetrik kuchlanish tenzori deformatsiyalar tezliklari tenzorida chiziqli bog'langan bo'ladi.

ТЕНЗОР СКОРОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ – *deformatsiya tezliklari tenzori*; x_i ($i=1,2,3$) to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasida qaralayotgan nuqtadan o'tuvchi o'zaro perpendikulyar elementar suyuq chiziqlarning uchta $\dot{\epsilon}_i = \dot{\epsilon}_{ii} = \frac{\partial v_i}{\partial x_i}$ nisbiy cho'zilish tezliklariga va mos

yuzalardagi uchta $\dot{\epsilon}_{ij} = \dot{\epsilon}_{ji} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right)$ siljish tezliklari yarimlariga teng, suyuqlik

zarrachalari deformatsiyalari tezliklarini aniqlovchi, koordinata va vaqtning funksiyasi bo'lgan $\dot{\epsilon}_{ij}$ tashkil etuvchilarli $\{\dot{\epsilon}_{ij}\}$ ikkinchi rang simmetrik tenzor. *Izoh*: Deformatsiya tezliklari tenzori deformatsiya tenzorida vaqt bo'yicha olingan hosilaga teng.

ТЕНЗОР ТУРБУЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ – *turbulent kuchlanishlar tenzori*; tashkil etuvchilari Reynolds kuchlanishlariga teng bo'lgan simmetrik ikkinchi rang tenzor. *Izoh*: Reynolds kuchlanishlari suyuqlik turbulent harakatining pulslangan tezliklari mavjudligi bilan asoslanadi: $\sigma_{ij} = -\rho \langle v_i' v_j' \rangle$, bunda ρ – suyuqlik zichligi.

ТЕОРЕМА ГЕЛЬМГОЛЬЦА – *Gelmgolts teoremasi*; 1-teorema: Suyuqlik zarrachasining harakat tezligi ilgarilanma, aylanma va sof deformatsion harakatdagi tezliklar yig'indisiga teng. 2-teorema (uyurma kuchlanishi yoki uyurma intensivligining o'zgarishligi haqidagi teorema): uyurma shnurining intensivligi yoki uyurma kuchlanishi barcha uyurma naychalari bo'ylab o'zgarish.

ТЕОРЕМА ЛАГРАНЖА – *Lagranj teoremasi*; siqilmaydigan ideal barotrop suyuqlikning uyurmasiz (uyurmali) oqimi saqlanib qoladi.

ТЕОРЕМА СТОКСА – *Stoks teoremasi*; ixtiyoriy kontur bo'ylab sirkulyatsiya shu konturga tortilgan sirt orqali hajm ichiga kirgan uyurmalar intensivligi (kuchlanishi) yig'indisiga teng.

ТЕОРЕМА ТОМСОНА – *Tomson teoremasi (tezlik sirkulyatsiyasining saqlanish qonuni)*; ideal suyuqlik holatida suyuqlikning yopiq konturi bo'ylab sirkulyatsiyasi vaqt bo'yicha o'zgarish.

ТЕОРИЯ ФИЛЬТРАЦИИ – *filtratsiya nazariyasi*; gidromexikaning g'ovakli muhitlarda suyuqlik harakatini o'rganuvchi bo'limi.

ТЕПЛОЕМКОСТЬ – *issiqlik sig'imi*; bu jismning 1°C ga isitilishida yutgan issiqlik miqdori bo'lib, $C = dQ/dt$ yoki $C = Q/\Delta t$, bu yerda dQ — temperaturaning cheksiz kichik dt oshishi natijasida paydo bo'lgan cheksiz kichik issiqlik miqdori; $\Delta t = t_2 - t_1$ — jismga Q issiqlik miqdorining kirib kelishiga mos jism temperaturasining o'zgarishi; t_1 va t_2 — jismning unga issiqlikning kirib kelguncha va undan keyingi temperaturasi.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРОМЕХАНИКА – *texnik gidromexanika*; ko‘proq muhandislik xarakteriga ega masalalarni yechish maqsadida suyuqlikning muvozanati va harakatini o‘rganuvchi amaliy gidromexanika.

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ ИЛИ ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРОМЕХАНИКА – *texnik gidromexanika yoki suyuqliklarning texnik mexanikasi*.

ТРАЕКТОРИЯ – *traektoriya*; suyuqlik zarrachalarining vaqt o‘tishi bilan bosib o‘tgan yo‘lining izi.

ТРАЕКТОРИЯ СТРУИ – *sharracha traektoriyasi yoki sharracha izi*.

ТРЕНИЕ ВНЕШНЕЕ – *tashqi ishqalanish*; yuzaga ta‘sir qiluvchi kuch bo‘lib, ular tashqi elementar kuchlarning geometrik yig‘indisidan iborat bo‘ladi.

ТРЕНИЕ ВНУТРЕННЕЕ – *ichki ishqalanish*; oqim ichida tanlab olingan ixtiyoriy sirtga ta‘sir etuvchi hamma elementar ichki ishqalanish kuchlarning geometrik yig‘indisi.

ТРЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ – *gidravlik ishqalanish*; o‘zanlarda suyuqlik harakati paytida oqimga teskari yo‘nalgan ishqalanish kuchlari.

ТРУБКА ПИТО – *Pito naychasi*; uchi to‘g‘ri burchak ostida qayrilgan kichik diametrli naycha, u oqimga qarshi qo‘yiladi, naychada suyuqlikning ko‘tarilishi tezlik naporini (damini) beradi.

ТРУБКА ТОКА – *oqim naychasi*; bu sodda yopiq konturdan oqib o‘tuvchi suyuqlik oqimi sirti.

ТРУБКА ТОКА ЭЛЕМЕНТАРНАЯ – *elementar oqim naychasi*; cheksiz kichik yuzachani chegaralovchi sirt bo‘lib u oqim chiziqlari sistemasidan tashkil topgan bo‘ladi.

ТРУБОПРОВОД ДЛИННЫЙ – *uzun quvur*; uzoq masofaga gaz, bug‘, suyuqlik uzatiladigan quvur yoki uzun quvurli uzatgich yoki hisob ishlarida napor (dam)ning mahalliy sarfi uzunlik bo‘yicha sarfiga nisbatan cheksiz kichik qiymatga ega bo‘lgan quvur.

ТРУБОПРОВОД ЗАМКНУТЫЙ ИЛИ КОЛЬЦЕВОЙ – *yopiq yoki xalqasimon quvur*; quvurlarning murakkab sistemasi bo‘lib, yon tomonlari odatda asosiy quvur bilan bog‘langan bo‘ladi.

ТРУБОПРОВОД ЗАМКНУТЫЙ ИЛИ ТУПИКОВЫЙ – *yopiq yoki boshi berk quvurli uzatkichlar*; murakkab quvurlar sistemasida tarmoqlangan boshi berk quvurlar.

ТРУБОПРОВОД КОРОТКИЙ – *qisqa quvur*; qisqa quvurli uzatgich yoki hisoblashda naporning ham mahalliy sarfi, ham uzunlik bo‘yicha sarfi hisobga olinishi shart bo‘lgan quvur.

ТРУБОПРОВОД ПРОСТОЙ – *oddiy quvurli uzatkich*; yon tomonlarga tarmoqlari bo‘lmagan quvurli uzatkichlar.

ТРУБОПРОВОД СЛОЖНЫЙ – *murakkab quvurli uzatkichlar*; yon tomonlarga tarmoqlangan quvurlar sistemasiga ega bo‘lgan quvurli uzatkichlar.

ТУРБУЛЕНТНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *turbulent (tartibsiz) harakat*; zarrachalarining tezliklari va boshqa parametrlari tartiblanmagan suyuqlik harakati (*turbulentus* – tartibsiz).

ТУРБУЛЕНТНЫЙ РЕЖИМ – *turbulent tartib*; suyuqlik oqimining qatlan-qatlam bo‘lib oqishi buzilishi.

ТЯЖЕЛАЯ ЖИДКОСТЬ – *og‘ir suyuqlik*; harakati va muvozanati og‘irlik kuchidan yoki inertsiyaning ko‘chirma kuchlaridan bog‘liq bo‘lgan suyuqlik.

У

УДАР ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ – *gidravlik zarba* (Qarang: *гидравлический удар*).

УДАРНАЯ ВОЛНА – *zarba to‘lqini*;

УДЕЛЬНАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ – *solishtirma kinetik energiya*; normal kesim orqali vaqt birligi ichida oqib o‘tayotgan suyuqlik kinetik energiyasining uning massasiga keltirilgan qiymati: $e_k = \alpha v^2 / 2$, bunda α – Koriolis koeffitsiyenti; kesim bo‘yicha tezlikning o‘rta qiymati.

УДЕЛЬНАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ – *turbulentlikning solishtirma kinetik energiyasi*; suyuqlikning turbulent harakatidagi pulslangan tezliklariga mos keluvchi va uning massasiga keltirilgan kinetik energiyasi: $k = (v_1'^2 + v_2'^2 + v_3'^2) / 2$.

УДЕЛЬНАЯ ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ – *solishtirma to'la energiya*; suyuqlik energiyasi bo'lib, u solishtirma kinetik energiya, bosimning solishtirma energiyasi va solishtirma potensial energiyalar yig'indisiga teng: $e = e_k + e_d + e_n = \alpha v^2 / 2 + (p - p_0) / \rho + gz$.

УДЕЛЬНАЯ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ – *solishtirma potensial energiya*; qaralayotgan normal kesimdagi og'ir suyuqlik potensial energiyasining uning massasiga keltirilgan qiymati: $e_n = gz$, bunda g – og'irlik kuchining tezlanishi; z – kesim markazining balandligi.

УДЕЛЬНАЯ СИЛА ИНЕРЦИИ В ТОЧКЕ – *nuqtada solishtirma inersiya kuchi*; u tezlanish vektoriga qarama-qarshi yo'nalgan vektor bo'lib, uning moduli suyuqlikning elementar hajmning og'irlikka nisbati og'irligi nolga intilgandagi limitiga teng.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ДАВЛЕНИЯ – *bosimning solishtirma energiyasi (hajm birligidagi potensial energiya miqdori)*; o'zgarmas bosimli hajm ko'ndalang kesimi orqali suyuqlik oqib chiqishida bosim kuchi ishining suyuqlik massasiga keltirilgan miqdoriga teng: $e_d = (p - p_0) / \rho$, bunda p – bosimning kesim bo'yicha o'rtachasi; ρ – suyuqlik zichligi; p_0 – hajmdagi bosim. *Izoh*: Barotrop harakatdagi siqiluvchan suyuqlik bosimining solishtirma energiyasi quyidagiga

$$\text{teng: } \int_{p_0}^p \rho^{-1}(p) dp.$$

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ СТРУЙКИ, ПОЛНАЯ – *elementar sharrachaning to'la solishtirma energiyasi*; elementar oqimcha uchun to'la solishtirma energiya, ya'ni oqimning to'la solishtirma potensial energiya bilan solishtirma kinetik energiyasi yig'indisi.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ (в случае элементарной струйки) – *elementar sharracha bo'lgan hol uchun solishtirma kinetik energiya*; mahalliy tezlik uchun hisoblangan suyuqlik og'irlik birligining energiyasi miqdori.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ (в случая потока жидкости) – *suyuqlik oqimi bo'lgan hol uchun solishtirma kinetik energiya*; o'rtacha tezlik uchun hisoblangan suyuqlikning og'irlik birligidagi kinetik energiyasi miqdori.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ПОЛОЖЕНИЯ – *holat solishtirma energiyasi*; faqat og'irlik kuchi vektor maydonidagi suyuqlik og'irlik birligi potensial energiyasining miqdori Z .

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПОЛНАЯ – *tola solishtirma potensial energiya*; u miqdor jihatdan holat solishtirma energiyasi bilan bosim solishtirma energiyasining yig'indisiga teng: $Z + P/\gamma$.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ ПОЛНАЯ – *suyuqlik oqimining to'la solishtirma energiyasi*; oqimning to'la solishtirma potensial energiya bilan solishtirma kinetik energiyasi yig'indisi.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ СЕЧЕНИЯ – *kesim solishtirma energiyasi*.

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ЖИДКОСТИ – *suyuqlikning solishtirma og'irligi*; hajm birligidagi suyuqlikning og'irlik miqdori: $\gamma = G/V$, bu yerda $G = mg$ – og'irlik; V – suyuqlikning hajmi.

УКЛОН ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ – *gidlavlik qiyaalik*.

УКЛОН ДНА РУСЛА – *o'zan tubining qiyaaligi*. Bosimsiz oqim o'zani asosi chizig'ining gorizont bilan hosil qilgan burchagi sinusi.

УКЛОН КРИТИЧЕСКИЙ – *kritik qiyaalik*; berilgan sarf va tekis harakatli bosimsiz oqim uchun me'yordagi chuqurligi kritik chuqurlikka teng o'zanlarga berilgan taxminiy qiyaalik.

УКЛОН ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ или **ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ ГРАДИЕНТ** – *pyezometrik qiyaalik yoki pyezometrik gradieynt*.

УКЛОН СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОТОКА – *oqim erkin sirtining qiyaligi; oqim erkin sirti chizig‘i bilan gorizont orasidagi burchak sinusi.*

УПРУГИЕ ВОЛНЫ – *elastik to‘lqinlar;*

УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ ДЛЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ – *barqaror harakat uchun Bernulli tenglamasi; siqilmaydigan suyuqlikning barqaror harakatida o‘sha oqim naychasidagi barcha suyuqlik zarrachalari uchun geometrik, tezlik va pyezometrik balandliklar yig‘indisi o‘zgarmaydi.*

УРАВНЕНИЕ НЕРАЗРЫВНОСТИ – *uzviylik tenglamasi.*

УРАВНЕНИЕ ЭЙЛЕРА – *Eyler tenglamasi.*

УСКОРЕНИЕ – *tezlanish.*

УСТАНОВИВШЕЕСЯ ИЛИ СТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ – *barqaror yoki statsionar harakat; suyuqlik bilan band hajmning ixtiyoriy nuqtasining o‘rtalashtirilgan mahalliy tezliklari vaqt bo‘yicha o‘zgarmaydigan suyuqlik harakati (suyuqlikning tezligi vaqtdan bog‘liq bo‘lmagan holdagi harakati). Bunda suyuqlik har bir nuqtasining harakat tartibi o‘zgarmaydi; tezliklar maydoni, uyurmalar maydoni, gidrodinamik bosimlar maydoni, massaviy kuchlar maydoni o‘zgaras yoki statsionar; oqim chizig‘i suyuqlik zarrachalarining traektoriyasi bilan mos tushadi.*

Ф

ФИЛЬТРАЦИЯ – *filtratsiya; suyuqlik yoki gazlarning g‘ovakli muhitdagi harakati.*

ФОРМУЛА БОРДА – *Bord formulasi; o‘zan keskin kengaygan yerdagi napor (dam) sarfini hisoblash formulasi.*

ФОРМУЛА Н.Э.ЖУКОВСКОГО – *N.E.Jukovskiy formulasi; gidravlik zarbada bosim oshishini hisoblash formulasi: $\Delta P_{zarba} = \rho v_0 c$, bu yerda v_0 – suyuqlik oqimi tezligi; c – zarbali to‘lqin (tovush)ning tarqalish tezligi.*

ФОРМУЛА ДАРСИ–ВЕЙСБАХА – *Darsi–Veysbax formulasi; doiraviy quvurdagi naporli (damli) tekis barqaror harakat uchun napor (dam)ning uzunlik bo‘yicha sarfini hisoblash formulasi.*

ФОРМУЛА ШЕЗИ – *Shezi formulasi; barqaror tekis harakat uchun tezlikni topish formulasi.*

ФУНКЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЫЖКА – *gidravlik sakrash funksiyasi; gidravlik sakrash sohasi tekisligida gidravlik sakrash joylashtirilgan chiziq.*

ФУНКЦИЯ ТОКА – *oqim funksiyasi; suyuqlikning tekis parallel yoki o‘qqa nisbatan simmetrik harakatida ψ funksiya koordinata va vaqtning skalyar funksiyasi bo‘lib, u har bir oqim chizig‘ida ixtiyoriy vaqt momentida o‘zgaras qiymat qabul qiladi, u dastlabki ($\psi=0$) va berilgan oqim sirtlari orasidagi suyuqlik massaviy sarfiga proporsional.*

Ц

ЦЕНТР ВОДОИЗМЕШЕНИЯ ПЛАВАЮЩЕГО ТЕЛА – *suzuvchi jisimning suv ostidagi qismining og‘irlik markazi.*

ЦЕНТР ДАВЛЕНИЯ – *bosim markazi; suyuqlik oqimiga nisbatan oriyentatsiyasi juda kam o‘zgaruvchan suyri jismga ta’sir etayotgan barcha bosim kuchlarining teng ta’sir etuvchisi (agar u mavjud bo‘lsa) qo‘yilgan nuqta.*

ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ (ЦЕНТР МАСС) – *og‘irlik markazi (massalar markazi); har bir jism uchun uni tezlanuvchan ilgarilanma harakatga keltiruvchi kuchlarning ta’sir yo‘nalishlari kesishadigan nuqta.*

ЦИКЛ – *sikl; jarayon tugashi bo‘yicha zarracha yana o‘zining boshlang‘ich holatiga qaytib keladigan yopiq jarayon.*

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ НАСАДОК ВНЕШНИЙ – *kiyigiziluvchi tashqi ulanma; idish devorining tashqi tomoniga o‘rnatilgan dumaloq qisqa quvurcha.*

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ НАСАДОК ВНУТРЕННИЙ – kiygiziluvchi ichki ulanma qisqa silindrik quvurcha; idish devorining ichki tomoniga oʻrnatilgan dumaloq kalta quvurcha.

ЦИРКУЛЯЦИОННОЕ НЕВИХРЕВОЕ ДВИЖЕНИЕ – sirkulyatsion uyurmasiz harakat; koʻp qiymatli tezlik potensialiga ega potensial harakat. *Izoh:* zarrachalari tezlik uyurma vektoriga ega boʻlmagan suyuqlik harakati.

ЦИРКУЛЯЦИОННОЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ – sirkulyatsion potensial harakat; koʻp qiymatli tezlik potensialiga ega boʻlgan potensial harakat.

ЦИРКУЛЯЦИЯ ВЕКТОРА СКОРОСТИ – tezlik vektori sirkulyatsiyasi; harakatlanayotgan suyuqlik ichida oʻtkazilgan l yopiq kontur uchun (x,y,z) nuqtadagi \vec{v} tezlik vektorining shu nuqta $d\vec{r}$ radius-vektoriga skalyar koʻpaytmasidan olingan integrali: $\tilde{A} = \int_l \vec{v} \cdot d\vec{r} =$

$$= \int_l (u dx + v dy + w dz).$$

Ч

ЧАСТИЦА ЖИДКОСТИ – suyuqlik zarrachasi; suyuqlikning qaralayotgan nuqtani oʻz ichiga olgan va limiti nolga intiluvchi elementar hajmi, boshq. aytganda, suyuqlikning qaralayotgan nuqtani oʻrab turuvchi cheksiz kichik hajmi.

ЧИСЛО ВЕРХНЕЕ КРИТИЧЕСКОЕ – yuqori kritik son. Reynolds sonining yuqori kritik qiymati.

ЧИСЛО КАВИТАЦИИ – kavitatsiya soni; oʻlchamsiz son boʻlib, uning qiymati suyuqlikdagi bosim va kaverna orasidagi farqning dinamik bosimga nisbatiga teng: $k=(p-p_0)/p_d$.

ЧИСЛО МАХА – Max soni; siqiluvchan suyuqlikning harakat rejimini xarakterlovchi oʻlchamsiz miqdor boʻlib, u shu masalaga mos jism yoki suyuqlik tezligi (v) miqdorining siqiluvchan suyuqlikdagi tovush tezligi (v_{tov}) ga nisbatiga teng boʻlgan son: $M=v/v_{tov}$.

ЧИСЛО НИЖНЕЕ КРИТИЧЕСКОЕ – pastki kritik son. Reynolds sonining quyi kritik qiymati.

ЧИСЛО РЕЙНОЛЬДСА (Re) – Reynold soni (Re); qovushoq suyuqlik harakati rejimini ifodalovchi oʻlchamsiz miqdor boʻlib, u berilgan masaladagi v oʻrtacha tezlik va l masofa koʻpaytmasining ν kinematik qovushoqlik koeffitsiyentiga nisbatiga teng, yaʼni $Re=vl/\nu$ *Izoh:* 1. Berilgan sharoitda suyuqlikning turbulent harakatidan laminar harakatiga yoki uning laminar harakatidan turbulent harakatiga oʻtish momentini ifodalovchi Reynolds sonining qiymati «Reynoldsning kritik soni» deb ataladi. 2. Agar, zarur boʻlganda, suyuqlikning turbulent harakatidan laminar harakatiga yoki uning laminar harakatidan turbulent harakatiga oʻtishi joyi borligini taʼkidlash lozim boʻlsa, u holda mos ravishda «Reynoldsning kritik sonidan quyi» va «Reynoldsning kritik sonidan yuqori» degan atama qoʻllaniladi.

ЧИСЛО СТРУХАЛЯ – Struxal soni; f chastota va l chiziqli oʻlchov koʻpaytmasining v tezlik miqdoriga nisbatiga teng oʻlchamsiz son: $Sh = fL/v$.

ЧИСЛО ФРУДА – Frud soni; massaviy kuchlar taʼsirini ifodalovchi yoki dinamik oʻxshashlik mezonini xarakterlovchi oʻlchamsiz miqdor boʻlib, u berilgan masaladagi v^2 - oʻrtacha tezlik kvadratining g - ogʻirlik kuchi tezlanishining shu masalaga taalluqli l uzunlikka koʻpatmasiga nisbatiga teng, yaʼni $Fr = v^2/(gl)$. *Izoh:* Reynolds va Frud sonlari suyuqlik harakatining dinamik oʻxshashligi kriteriyalari hisoblanadi.

ЧИСЛО ЭЙЛЕРА – Eyley soni; baʼzi hollarda dinamik oʻxshashlik mezonini sifatida

foydalaniladigan $Eu = \frac{p}{\rho v^2}$ oʻlchamsiz son (ifoda), bunda qaralayotgan oqimga taalluqli p –

bosim (yoki bosim tushishi), ρ va v – mos ravishda suyuqlikning zichligi va tezligi.

Ш

ШЕРОХОВАТОСТЬ РУСЛА (ТРУБЫ) – oʻzanning (quvurning) gʻadur-budirligi.

ШЕРОХОВАТОСТЬ СТЕНКИ РУСЛА ОТНОСИТЕЛЬНАЯ – o‘zan devorining nisbiy g‘adur–budirligi (notekisligi).

ШЕРОХОВАТОСТЬ СТЕНКИ РУСЛА ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ – o‘zan devorining nisbatan ekvivalent g‘adur–budirligi.

ШИРИНА ВОДОСЛИВА – oqavaning kengligi.

Э

ЭКВИВАЛЕНТ ШЕРОХОВАТОСТИ – g‘adur–budirlikning ekvivalenti.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ПЛОШАДКА – *elementar yuzacha*; juda kichik yuzacha va undagi ixtiyoriy koordinatalari bo‘yicha olingan ikki nuqta orasidagi masofa juda kichik deb faraz qilinadi.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ СТРУЙКА – *elementar charracha*.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ТРУБКА ТОКА – oqimning *elementar naychasi*.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ РАСХОД – *elementar sarf*; hajmiy, massaviy yoki vazniy sarfning ushbu

$$Q_V = \frac{dV}{dt}; \quad Q_m = \frac{dm}{dt}; \quad Q_G = \frac{dG}{dt}$$

differensial munosabatlar bilan aniqlanuvchi miqdori.

ЭНЕРГИЯ ДАВЛЕНИЯ УДЕЛЬНАЯ – *bosinning solishtirma energiyasi*.

ЭНЕРГИЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ УДЕЛЬНАЯ – *solishtirma kinetik energiyasi*.

ЭНЕРГИЯ ПОЛНАЯ УДЕЛЬНАЯ – *solishtirma to‘la energiya*.

ЭНЕРГИЯ ПОЛОЖЕНИЯ УДЕЛЬНАЯ – *holatning solishtirma energiyasi*.

ЭНТАЛЬПИЯ (ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ) – *entalpiya* (issiqlik sig‘imi);

ЭНТРОПИЯ – *entropiya*; qaytariluvchan yo‘l bilan zarracha holatining bir nuqtadan ikkinchisiga o‘tishini ifodalovchi holat funksiyasi (muhit birlik massasiga nisbati), *entropiya* (grekcha entropia – burilish, aylanib qolish) deb ataladi;

ЭПЮРА ГИДРОСТАТИЧКОГО ДАВЛЕНИЯ – *gidrostatik bosim epyurasi*.

ЭПЮРА СКОРОСТИ – *tezlik epyurasi*.

ЭФФЕКТ МАГНУСА – *Magnus effekti*; bu havo oqimidagi qattiq jism atrofida havo sirkulyatsiyasi natijasida ko‘taruvchi kuchning paydo bo‘lishi.

FOYDALANILGAN VA TAVSIYA ETILADIGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

Asosiy adabiyotlar

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика – М.: Наука, 1991., I – 600 с., II – 304 с.
2. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. – М.: Мир, 2003. – 758 с.
3. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 295 с.
4. Валуева Е.П., Свиридов В.Г. Введение в механику жидкости: Учебное пособие.– М.: Изд-во МЭИ, 2001.–212 с.
5. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. В 2-х частях. – М.: Физматлит, 1963., II – 612 с.
6. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика: В 10-ти томах. Т. VI. Гидродинамика. - М.: Наука, 1988. - 736 с.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. // Изд. 7-е, испр. - М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
8. Мейз Дж. Теория и задачи по механике сплошных сред. – М.: Мир, 1974. – 734 с.
9. Механика жидкости и газа: Учеб. пособие для вузов / В.С.Швыдкий, Ю.Г.Ярошенко, Я.М.Гордон и др.; Под науч. ред. В.С.Швыдкого. – М.: Академкнига, 2003. – 464 с.
10. Седов Л.И. Механика сплошной среды. В 2-х томах.- М.: Наука, 1994. I – 528 с., II – 560 с.
11. Черный Г.Г. Газовая динамика. - М.: Наука, 1988. – 424 с.
12. Эглит М.И. и др. Механика сплошной среды в задачах. В 2-х томах. – М.: Наука, 2006. I – 396 с., II – 394 с.
13. Xudoynazarov X., Abdirashidov A., Yalg‘ashev B.F. Suyuqlikvagazmexanikasi. Hidrostatika va kinematika. Uslubiy qo‘llanma.– Samarqand: SamDU nashri, 2014.– 159 b.
14. Xudoynazarov X., Abdirashidov A., Yalg‘ashev B.F. Suyuqlik va gaz mexanikasi. Hidrodinamika. Uslubiy qo‘llanma.– Samarqand: SamDU nashri, 2014.– 158 b.
15. Xudoynazarov X., Amirqulova F.A. Tutash muhitlar dinamikasi. Uslubiy qo‘llanma. – Samarqand: SamDU nashri, 2005. – 90 b.
16. Xudoynazarov X., Amirqulova F.A. Tutash muhitlar kinematikasi. Uslubiy qo‘llanma. – Samarqand: SamDU nashri, 2003.–90 b.
17. Xudoynazarov X., Abdirashidov A. Suyuqlik va gaz mexanikasi. O‘quv qo‘llanma.– Samarqand: “Zarafshon” nashriyoti, 2017.– 304 b

Qo‘shimcha adabiyotlar

1. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А. Механика сплошных сред. Часть 1. Основы и классические модели жидкостей. - М.: Наука, Физматлит, 2000. - 256 с.

2. Дроздова Ю.А., Эглит М.Э. Механика сплошных сред. Теория и задачи: Учеб. пособие. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2010. – 288 с.
3. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. – М.: Наука, 1986. – 448 с.
4. Умаров А.Ю. Гидравлика. – Т.: «Ўзбекистон» нашри, 2002. – 462 б.
5. Фабер Т.Е. Гидроаэродинамика. – Постмаркет: Физматлит, 2001. – 560 с.
6. Черноусов А.А. Основы механики жидкости и газа. Конспект лекций. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 2010. – 233 с.
7. Abdirashidov A. Suyuqlik va gaz mexanikasi. Dinamika. Uslubiy qo‘llanma. – Samarqand: SamDU nashri, 2006. – 114 b.
8. Abdirashidov A. Suyuqlikvagazmexanikasi. Kinematika. Uslubiy qo‘llanma. – Samarqand: SamDU nashri, 2005. – 154 b.
9. Abdirashidov A. Suyuqlikvagazmexanikasidanamaliymashg‘u-lotlar. Uslubiy qo‘llanma. – Samarqand: SamDU nashri, 2007. – 114 b.
10. Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch. Fundamentals of Fluid Mechanics. 6th ed. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2009. – 783 p.
11. Evett, Jack B., Cheng Liu. 2500 solved problems in fluid mechanics and hydraulics. USA, The University of North Carolina at Charlotte, 1988. – 807 p.
12. Frank M. White. Fluid Mechanics. 7th ed. New York, 2011. – 885 p.
13. Joseph H. Spurk, Nuri Aksel. Fluid Mechanics. 2th ed. Germany, 2008. – 534 p.
14. Nakayama Y., Boucher R.F. Introduction to Fluid Mechanics. Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 2000. – 322 p.
15. Robert W. Fox, Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard. Introduction to Fluid Mechanics. 6th ed. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2004. – 802 p.
16. Sedat Biringen, Chuen-Yen Chow. An introduction to computational fluid mechanics by example. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2011. – 319 p.
17. Zucker R.D., Biblarz O. Fundamentals of Gas Dynamics. – John Wiley & Sons, Inc., 2002. – 493 p.
18. Hisoblash gidrodinamikasining universal paketlari:
www.fluent.com/software/fluent/
www.flowvision.ru/
www.flow3d.com/Parallel.htm
www.cfd.ru/
www.sigmaflow.ru
<http://window.edu.ru/resource/637/37637/files/CFDinEducation.pdf>
19. Elektron kitoblar manbai:
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm>
<http://www.booksgid.com/humanities/1820-lojjcanskijj-l.g.-mekhanika-zhidkosti.html>
http://www.newlibrary.ru/genre/nauka/fizika/mehanika_zhidkosti_i_gaza/
http://www.ph4s.ru/book_ph_gidro.html

1-Ilova

MAYDON NAZARIYASINING ASOSIY MUNOSABATLARI

Ushbu ilovada vektor funksiyalar ustida bajariladigan operatsiyalar va operatorlarning xossalarini tavsiflovchi formulalar keltirilgan. Bu xossalar suyuqlik va gazlarning asosiy modellari tenglamalarini chiqarishda keng qo'llaniladi.

1. Skalyar va vektor ko'paytmalarning xossalari

Asosiy munosabatlar:

$$\begin{aligned}\vec{u} \times \vec{v} &= -\vec{v} \times \vec{u}; \quad \vec{u} \times \vec{u} \equiv 0; \\ \vec{u} \times (\vec{v} \pm \vec{w}) &= (\vec{u} \times \vec{v}) \pm (\vec{u} \times \vec{w}); \\ (\vec{u} \pm \vec{v}) \times \vec{w} &= (\vec{u} \times \vec{w}) \pm (\vec{v} \times \vec{w}).\end{aligned}$$

Yakob ayniyati:

$$(\vec{u} \times \vec{v}) \times \vec{w} + (\vec{v} \times \vec{w}) \times \vec{u} + (\vec{w} \times \vec{u}) \times \vec{v} \equiv 0.$$

Ikki marta ko'paytma:

$$(\vec{u} \times \vec{v}) \times \vec{w} = (\vec{u} \cdot \vec{w})\vec{v} - (\vec{v} \cdot \vec{w})\vec{u}.$$

Aralash ko'paytma:

$$(\vec{u} \times \vec{v}) \cdot \vec{w} = (\vec{v} \times \vec{w}) \cdot \vec{u} = (\vec{w} \times \vec{u}) \cdot \vec{v} = -(\vec{v} \times \vec{u}) \cdot \vec{w} = -(\vec{w} \times \vec{v}) \cdot \vec{u} = -(\vec{u} \times \vec{w}) \cdot \vec{v}.$$

2. Gradiyentning xossalari

Gradiyent operatori uchun quyidagi munosabatlar o'rinli ($c = \text{const}$):

$$\begin{aligned}\text{grad}(u \pm v) &= \text{grad } u \pm \text{grad } v; \\ \text{grad}(cu) &= c \text{ grad } u; \\ \text{grad}(uv) &= v \text{ grad } u + u \text{ grad } v; \\ \text{grad}\left(\frac{u}{v}\right) &= \frac{v \text{ grad } u - u \text{ grad } v}{v^2}; \\ \text{grad } f(u) &= f'(u) \text{ grad } u.\end{aligned}$$

Ba'zi hollarda grad belgilash o'rniga ∇ (nabla) belgilash ham ishlatiladi:

$$\text{div } \vec{u} = \nabla \cdot \vec{u}; \quad \text{grad } \varphi = \nabla \varphi.$$

3. Divergensiyaning xossalari

Divergensiya operatori uchun quyidagi munosabatlar o'rinli ($c = \text{const}$, $\vec{c} = \text{const}$):

$$\begin{aligned}\text{div}(\vec{u} \pm \vec{v}) &= \text{div } \vec{u} \pm \text{div } \vec{v}; \\ \text{div}(c\vec{u}) &= c \text{ div } \vec{u}; \\ \text{div}(f\vec{u}) &= f \text{ div } \vec{u} + \vec{u} \cdot \text{grad } f; \\ \text{div}(f\vec{c}) &= \vec{c} \cdot \text{grad } f.\end{aligned}$$

3. Rotorning xossalari

Rotor operatori uchun quyidagi munosabatlar o'rinli:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}(\vec{u} \pm \vec{v}) &= \operatorname{rot} \vec{u} \pm \operatorname{rot} \vec{v}; \\ \operatorname{rot}(f \vec{u}) &= f \operatorname{rot} \vec{u} + (\operatorname{grad} f) \times \vec{u}; \\ \vec{v} \cdot \operatorname{rot} \vec{u} - \vec{u} \cdot \operatorname{rot} \vec{v} &= \operatorname{div}(\vec{u} \times \vec{v}). \end{aligned}$$

4. Ikkinchi tartibli differensial operatsiyalar

Laplas operatori (laplasian) deb quyidagi differensial operatorga aytiladi (Δ - delta; ∇ - nabla):

$$\Delta f = \nabla^2 f = \operatorname{div} \operatorname{grad} f.$$

Aynan nolga keluvchi operatsiyalar:

$$\operatorname{rot} \operatorname{grad} f \equiv 0; \quad \operatorname{div} \operatorname{rot} \vec{u} \equiv 0.$$

Ikkilangan rotorning divergensiya va gradiyent bilan bog'lanishi:

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{u} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{u} - (\vec{i} \Delta u_x + \vec{j} \Delta u_y + \vec{k} \Delta u_z).$$

Vektor funksiya uchun Laplas operatori:

$$\Delta \vec{u} = \vec{i} \Delta u_x + \vec{j} \Delta u_y + \vec{k} \Delta u_z = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{u} - \operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{u}.$$

5. Grinning vektorli teoremlari

Grinning birinchi teoremasi:

$$\int_{\Omega} [p(\operatorname{rot} \vec{u} \cdot \operatorname{rot} \vec{v}) - \vec{u} \cdot \operatorname{rot}(p \operatorname{rot} \vec{v})] d\Omega = \int_{\partial\Omega} p[(\vec{u} \times \operatorname{rot} \vec{v}) \cdot \vec{n}] dS.$$

Grinning ikkinchi teoremasi:

$$\int_{\Omega} [\vec{v} \cdot \operatorname{rot}(p \operatorname{rot} \vec{u}) - \vec{u} \cdot \operatorname{rot}(p \operatorname{rot} \vec{v})] d\Omega = \int_{\partial\Omega} p[(\vec{u} \times \operatorname{rot} \vec{v} - \vec{v} \times \operatorname{rot} \vec{u}) \cdot \vec{n}] dS.$$

6. Stoksning umumiy teoremasi natijalari

Stoks formulasi (S – bu R^3 fazoda yopiq bo'lmagan silliq sirt):

$$\int_S (\vec{n} \cdot \operatorname{rot} \vec{u}) dS = \int_{\partial S} \vec{u} \cdot d\vec{r}.$$

Gauss–Ostrogradskiy formulasi:

$$\int_{\Omega} \operatorname{div} \vec{u} d\Omega = \int_{\partial\Omega} (\vec{u} \cdot \vec{n}) dS.$$

2-ILOVA

KO'P QO'LLANILADIGAN BA'ZI MA'LUMOTLAR

1. Ba'zi ma'lumotlar

1) Suvning zichligi (ρ) va kinematik qovushoqligi (ν)

$t, ^\circ\text{C}$	+10	+20	+30	+40	+50
$\rho, \text{kg/m}^3$	999.73	998.23	995.67	992.24	988.07
$\nu, \text{sm}^2/\text{s}$	0.01306	0.01006	0.00805	0.00659	0.00556

2) Ba'zi amaliy o'zgarmlar

Erkin tushish tezlanishi: $g = 9.80665 \approx 10 \text{ m/s}^2$.

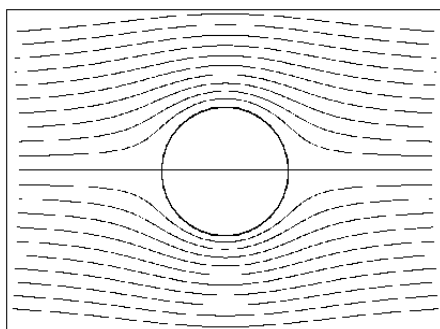
Atmosfera bosimi (dengiz sathida): $p_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} \approx 100000 \text{ Pa} \approx 0.1 \text{ MPa}$.

Universal (molyar) gaz doimiysi: $R_g = 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

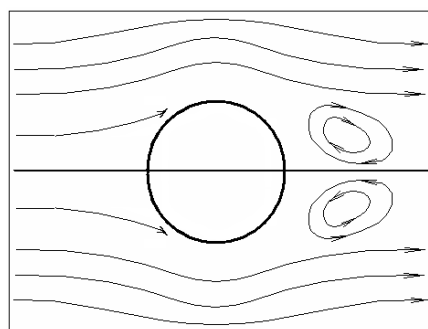
3) Miqdorlarning har hil sistemalardagi o'lchamlari:

Miqdorlar	SI	Boshqa birliklarga o'tkazish
Uzunlik	m	1 m = 100 sm = 1000 mm
Yuza	m ²	1 m ² = 10 ⁴ sm ² = 10 ⁶ mm ²
Hajm	m ³	1 m ³ = 10 ⁶ sm ³ = 1000 l
Massa	kg	1 kg = 1000 g
Kuch, og'irlik	N	10 N \approx 1 kg·k
Zichlik	kg/m ³	1000 kg/m ³ = 1 g/sm ³
Solishtirma og'irlik	N/m ³	10 ⁴ N/m ³ = 1 t · k /m ³
Dinamik qovushoqlik	Pa·s	1 Pa·s = 1 N · s / m ² = 10 Pz
Kinematik qovushoqlik	m ² /s	1 m ² /s = 10 ⁴ sm ² /s = 10 ⁴ St (Stoks)
Standart atmosfera bosimi	Pa = =N/m ²	101300 Pa \approx 1 atm \approx 1 bar = = 1,33 kg · k/sm ² = 10,33 m suv ustuni = = 760 mm simob ustuni

2. Suyri jismlar uchun oqim chiziqlaridan namunalar

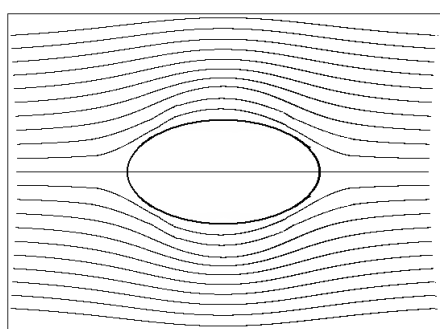


a)

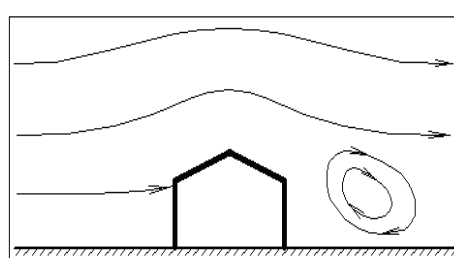


b)

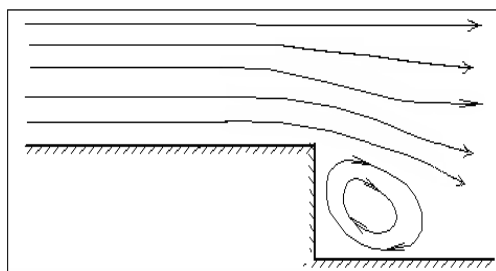
II.1-rasm. Suyuqlik oqimidagi shar (yoki silindr) ning laminar (a) va turbulent (b) suyriligi sxemasi.



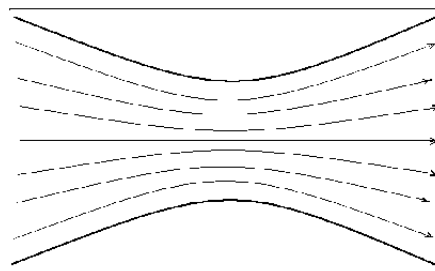
II.2-rasm. Suyuqlik oqimidagi ellipsoid (yoki ellips kesimli silindr) ning laminar suyriligi sxemasi.



II.3-rasm. Havo oqimidagi binoning turbulent suyriligi sxemasi.



II.4-rasm. Suyuqlikning pillapoyadan oqib o'tishida oqim chiziqlari sxemasi.



II.5-rasm. Quvurning toraygan qismida oqim chiziqlari sxemasi

3. Ba'zi o'lchamsiz sonlar

Nomi	Bel-gisi	Ta'rifi	Tavsifi
Atvud soni	A	$\Delta\rho / (\rho_1 + \rho_2)$	Zichliklar farqining zichliklar yig'indisiga nisbati
Kapilyarlik	Cp	$\mu v / \sigma$	Qovushoqlik kuchining sirt taranglik kuchiga nisbati
Singdiruvchanlik	Cr	$\mu \lambda / (\sigma l \rho c_p)$	Diffuziya va sirt tarangligi parametrlarining nisbati
Eyler soni	Eu	$P / (\rho v^2)$	Bosimning inertsiya kuchiga nisbati
Frud soni	Fr	$v^2 / (l g)$	Kinetik energiyaning tortishish energiyasiga nisbati
Max soni	M	v / c_s	Siqiluvchanlik ta'sirini xarakterlovchi miqdor
Nyuton soni	Nt	$F / (\rho l^2 v^2)$	Tashqi kuchning inertsiya kuchiga nisbati
Puazeyl soni	Po	$L \Delta p / (\mu v)$	Bosim kuchining qovushoqlik kuchiga nisbati
Prandtl soni	Pr	$c_p \mu / \lambda$	Qovushoqlik va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisientlari nisbati
Reynolds soni	Re	$lv\rho / \mu$	Inertsiya kuchining qovushoqlik kuchiga nisbati
Stoks soni	S	$\mu / (\rho v l^2)$	Qovushoq so'nish tezligining tebranish chastotasiga nisbati
Struxal soni	Sr	$v l / \nu$	Tebranish tezligining konvektiv oqim tezligiga nisbati
Veber soni	W	$\rho l v^2 / \sigma$	Inertsiya kuchining sirt taranglik kuchiga nisbati
Grasgof soni	Gr	$g\rho^2 l^3 \beta \Delta T / \mu^2$	Ko'tarish kuchining qovushoqlik kuchiga nisbati

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1. SUYUQLIKNING ASOSIY FIZIK XOSSALARI VA PARAMETRLARI. KUHLAR VA KUHLANISHLAR.....	15
1.1. Real suyuqlikning asosiy fizik xossalari.....	15
1.2. Kuchlar klassifikatsiyasi. Kuchlanish tenzori.....	42
2. GIDROSTATIKA.....	52
2.1. Hidrostatik bosim va uning xossalari. Hidrostatikaning asosiy tenglamalari.....	52
2.2. Bosim taqsimotining gidrostatik qonuni va Paskal qonunining tadbiqlari.....	60
2.3. Bosim o'Ichagich asboblar.....	62
2.4. Suyuqlikning jism sirtiga ta'sir etuvchi bosim kuchini aniqlash. Arximed qonuni.....	76
2.5. Suyuqlikning tekis sirtga bosim kuchi.....	86
2.6. Suyuqlikda jismning suzish qonuni. Suyuqlikda suzayotgan jismning ustivorligi.....	96
2.7. Suyuqlikning nisbiy sokinligi.....	100
2.8. Harakatlanayotgan idishlardagi suyuqlik muvozanatining xususiy hollari.....	103
3. SUYUQLIK VA GAZ KINEMATIKASI.....	110
3.1. Suyuqlik zarrachasi harakatining tahlili.....	110
3.2. Suyuqlik zarrachasining deformatsiyalanishi.....	122
3.3. Uzviylik tenglamasi.....	130
3.4. Suyuqlikning uyurmali harakati.....	138
4. SUYUQLIKNING POTENSIAL HARAATI.....	146
4.1. Tezlik potentsiali va oqim funksiyasi.....	146
4.2. Tadbiqiy masalalar.....	156
Test.....	172
Glossariy.....	178
FOYDALANILGAN VA TAVSIYA ETILADIGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	208
ILOVALAR.....	210
1-ilova. Maydon nazariyasining asosiy munosabatlari.....	210
2-ilova. Ko'p qo'llaniladigan ba'zi ma'lumotlar.....	212

**Xudoynazarov X., Abdirashidov A.,
Kasimova F.U., Isroilov Sh.N.**

SUYUQLIK VA GAZ MEXANIKASI

(Gidrostatika va kinematika)

Oliy o‘quv yurtlarining «5140300 – Mexanika va matematik modellashtirish» ta’lim yo‘nalishi bakalavr talabalari uchun o‘quv qo‘llanma sifatida tavsiya etilgan

Muharrir
Musahhah
Texnik muharrir

X. Rahimova
N. Isroilov
B. Egamberdiyev

ISBN – 978-9943-6426-3-8

2020 yil 10 aprelda tahririy-nashriyot bo‘limiga qabul qilindi.
2020 yil 15 aprelda original-maketdan bosishga ruxsat etildi.
Qog‘oz bichimi 60x84_{1/16}. “Times New Roman” garniturasini.

Offset qog‘ozini. Shartli bosma tabog‘i – 10,5.

Adadi 50 nusxa. Buyurtma № 466

SamDU tahririy-nashriyot bo‘limida chop etildi.
140104, Samarqand sh., Universitet xiyoboni, 15.

