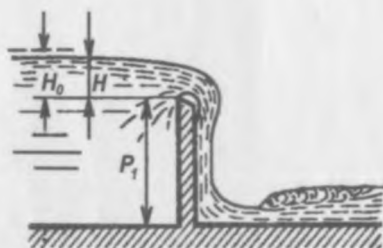
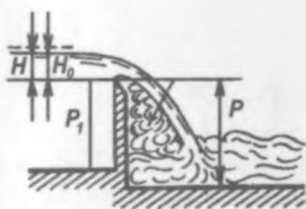


Д.Р. Бозоров, Р.К. Каримов,
Ж.С. Казбеков, С.Х. Хидиров

ГИДРАВЛИКА



$$Q = \int_{\omega} u d\omega = v\omega \quad \Pi(h_i) = \frac{Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2$$

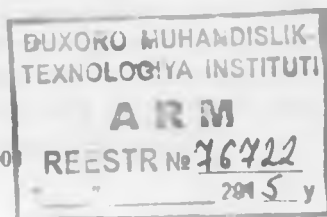
6 21.2
T-46

Д. Р. Бозоров, Р. М. Каримов,
Ж. С. Казбеков, С. Қ. Хидиров

ГИДРАВЛИКА

*Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги
олий ва ўрта махсус ўқув юртлари талабалари учун
ўқув қўлланма сифатида тавсия этган*

ТОШКЕНТ — БИЛИМ — 2000



Тақризчилар: **М. Р. Бакиев** — «Гидротехника иншоотлари» кафедраси мудири, т. ф. д., профессор;
Б. Ф. Қамбаров — В. Д. Журинов номидаги Ўрта Осиё ирригация илмий-ишлаб чиқариш бирлашмасининг «Суғориш техникаси» бўлими бошлиғи, т. ф. д., профессор.

Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш инженерлари институтининг 2001 йил 31 октябрдаги 2-сонли Илмий кенгашида тасдиқланган.

Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги Ўрта махсус, касб-ҳунар таълими марказининг 2003 йил 22 апрелдаги 2-сонли Илмий-услубий кенгашида тасдиқланиб, ўқув қўлланма сифатида нашрга этиш тавсия этилган.

Ушбу ўқув қўлланма Гидравлика фанини урганувчи олий ўқув юрти ва коллеж талабалари учун мўлжалланган бўлиб, ундан оби-ҳаёт қонуниятлари ҳақидаги билим доирасини кенгайтиришга интилувчи барча китобхонлар фойдаланишлари мумкин.

МУҚАДДИМА

Азиз ўқувчи, қўлингиздаги ушбу қўлланма она табииатимизнинг энг олий неъматларидан бири — суюқлик деб аталувчи физик жисм ҳақида, унинг ҳозиргача маълум қонуниятлари ҳақида маълумот беради.

Улуғ рус математиги Н. И. Лобачевский (1793—1886 йиллар) ўз даврида ажойиб бир фикрни шундай ифодалаган: «Бир ақли инсондан бутун донишмандликни ўрганиш учун беҳуда уринманг. Бутун ҳаётимиз қонунларини фақат она табиятдан сўранг. У биз учун номаълум бўлган сирларни тўлалигича ўзида сақлайди ва Сизни қизиқтирган барча саволларингизга албатта тўлиқ жавоб беради».

Модомики, биз ушбу қўлланмада ўрганадиган билимларимиз табииатимизнинг асосини ташкил этувчи физик жисмлар (суюқликлар) қонуниятига бағишланган экан, бу билимлар инсоннинг онгли фаолияти учун фақат фойдадан холи бўлмайди, албатта.

Ҳозирги даврда ҳаётимизда суюқликнинг нисбий тинч ва ҳаракат қонуниятларини ўрганувчи фаннинг қўлланилиш соҳаси кенгайиб бораётганлиги ва бу маълумотга эга бўлганимиздагина улардан самарали ва тежамкор фойдаланиш мумкинлиги яққол сезилимда.

1992 йил 8 декабрда қабул қилинган асосий Қомусимизнинг 55-моддасида «Ер, ер ости бойликлари, сув, ўсимлик ва ҳайвонот дунёси ҳамда бошқа табиий захиралар умуммиллий бойликдир, улардан оқилона фойдаланиш зарур ва улар давлат муҳофазасидадир» — деб бежиз айтилмаган. Сув ҳам мана шу табиий бойликларимиз қаторига кириб, суюқлик деб аталувчи физик жисм эканлиги бизга маълум.

Юқорида келтирилган фикрларимизнинг давоми сифатида шуни таъкидлаш мумкинки, мамлакатимиз иссиқ регионда жойлашганлиги ва агросаноат мажмуаси иқтисодиётнинг асосий шакллантирувчи манбаларидан бири эканлигини эътиборга олиб, сув ҳўжалигининг янада ривожланаётганлиги, бу соҳада керакли гидротехник ва суғориш иншоотларини қуриш, мавжудларини эса замонавий талабларга мос келувчи шаклларда қайта таъмирлаш биздан юқори савиядаги муҳандислик ҳисобларни сифатли бажаришни талаб қилади.

Юртимиз истиқлолга эришган кунлардан бошлаб мамлакатимизда халқ ҳўжалигининг барча соҳаларида туб ўзгаришлар юз бермоқда. Хусусан сув ҳўжалиги соҳасида ҳам ислохотлар изчил олиб боришмоқда.

Мамлакатимиз иқтисодиётида агромажмуа тармоғи муҳим урин эгаллаши ва бу соҳа маҳсулотлари асосан суғориладиган ерларда етиштирилишини эътироф этадиган бўлсак, сув оқими ҳаракатини ўрганиш ва ундан оқилона фойдаланиш бўйича керакли маълумотларга эга бўлиш келгусида тайёрланадиган агромажмуа соҳаси мутахассисларига қай даражада зарурлигини тасаввур қилишимиз мумкин.

Айниқса, 4,5 млн. гектарга яқин суғориладиган ерларга оби-ҳаёт етказадиган гидротехник иншоотлар (сув олиш иншоотлари, туғонлар, сув омборлари, шох каналлар, хўжаликлараро каналлар, ички суғориш системалари) узоқ йиллар давомида ишлатилиши натижасида бугунги талаб даражасида эмаслиги ва буларни самарали, тежамкор ишлайдиган қўринишда қайта таъмирлаш зарурияти пайдо бўлиши — келажакда бу машаққатли, лекин шарафли муаммони ҳал қилувчи бўлғуси мутахассислар пухта билим олишларини давримизнинг ўзи талаб этмоқда. Бунинг учун эса бўлғуси соҳа мутахассисларини бугунги кун талабларига жавоб берадиган адабиётлар билан таъминлаш керак. Шуларни инобатга олиб, муаллифлар мамлакатимизда сув хўжалигини ривожлантиришда гидравлика фанининг ўрни беқиёслигини эътироф этган ҳолда ушбу ўқув қўлланмани яратишга киришган эдилар. Албатта, қўлланманинг сифати ва қулайлигини баҳолаш ўқувчилар ҳукмига ҳавола.

Қўлланма асосан сув хўжалиги йўналишидаги мутахассислик бўйича таълим олаётган талабаларга мўлжалланган бўлиб, ундан Гидравлика фанини ўрганишни ўз олдига мақсад қилиб қўйган ҳар бир қизиқувчи фойдаланиши мумкин.

Қўлланмани тайёрлашда ўз маслаҳатлари ва таклифлари билан Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаштириш инженерлари институтининг «Гидравлика» кафедраси профессор-ўқитувчилари ҳамда «Гидротехника иншоотлари» кафедраси мудири, т. ф. д., профессор М. Р. Бакиев ва В. Д. Журин номидаги Ўрта Осиё ирригация илмий-ишлаб чиқариш бирлашмасининг «Суғориш техникаси» бўлими бошлиғи, т. ф. д., профессор Б. Ф. Камбаровлар фаол қатнашиб, қўлланма сифатини сезиларли даражада оширишга беқиёс қўмаклашганликлари учун муаллифлар уларга ўз миннатдорчиликларини билдирадилар.

Мазкур қўлланманинг тузилиши ва мазмуни бўйича ўз фикр-мулоҳазаларингизни билдирганингиз учун Сизга самимий миннатдорчилигимизни олдиндан изҳор этамиз ва уни Қори Ниёзий кўчаси 39-уй, «Гидравлика» кафедраси ва АҚШнинг Халқаро Ривожланиш Агентлиги (USAID) билан ҳамкорликда ташкил этилган «Гидроинформатика ва сув ресурслари» ўқув маркази манзилига юборишингизни сўраймиз.

Муаллифлар

1.1. ГИДРАВЛИКА ФАНИНИНГ АСОСИЙ МАҚСАДИ

Инсоният ўзининг иш фаолиятида учрайдиган ҳаётий муаммоларни ҳал қилишда, қупинча, ҳар хил суюқликларнинг ҳаракати ҳамда уларнинг қаттиқ жисмларга бўлган таъсирини ўрганади.

Агар инсон организмда қоннинг ҳаракати унинг тириклигини белгиласа, она Заминимизда суюқликлар ҳаракати туфайли ҳаёт мавжудлигини таъкидлаш мумкин.

Юқорида қайд этилган муаммоларни ўрганиш ва тадқиқ қилиш натижасида “Суюқ жисмлар механикаси” ёки “Суюқликлар механикаси” деб номланувчи кенг қамровли фан юзага келган. Бу фан грек тилидаги атама билан “Гидромеханика” деб юритила бошланди.

Гидромеханика суюқликлар статикаси — «Гидростатика» ва суюқликлар динамикаси — «Гидродинамика» бўлимларга бўлиниб, иккинчи бўлим ўз навбатида “Суюқликлар кинематикаси” ни ҳам ўз ичига олади.

Гидростатика — суюқликларнинг нисбий тинч ҳолат қонуниятларини ўрганиб, уларни амалиётда қўллаш учун услубиятлар яратади.

Гидродинамика — суюқлик ҳаракатининг қонуниятларини ва унинг пайдо бўлиш сабаблари ҳамда структурасини ўрганади.

Бу фаннинг юзага келиши анча узоқ бўлиб, бир неча минг йиллик тарихни ўз ичига олади. Умуман, инсоният суюқликлар билан маълум маънода муносабат ўрнатиши билан суюқликлар ҳақидаги қонуниятларни ўрганишга киришган.

Гидравлика фани тарихида дастлабки илмий асар Архимед томонидан ёзилган (эрамыздан аввалги 287—212 йиллар) «Сузувчи жисмлар» тракти ҳисобланади. Архимеддан кейинги 17 аср мобайнида Гидравлика фани тараққиётида сезиларли ютуқлар бўлмаган.

XV—XVI асрларда Леонардо да Винчи (1452—1519 йиллар) “Сувнинг ҳаракати ва ўлчаниши” асарини ёзди, аммо бу асар 400 йилдан кейин нашр этилди. С. Стевен (1548—1620 йиллар) “Бошланғич гидростатика”, Галилео Галилей (1564—1642 йиллар) 1612 йилда “Сувдаги жисмлар тушунчаси ва уларнинг ҳаракати” мақоласини ёзди, Е. Торричелли (1608—1647 йиллар) кичик тешикдан оқаётган ёпишқоқ бўлмаган суюқликнинг тезлигини аниқлади, Б. Паскал (1623—1662 йиллар) суюқликларда босимнинг тарқалиш қонунини яратди, И. Ньютон

(1643—1727 йиллар) суюқликлардаги ички ишқаланиш тушунчасини берди.

Назарий жиҳатдан, Гидравлика фани Петербург академиясининг ҳақиқий аъзолари Д. Бернулли (1700—1782 йиллар), Л. Эйлер (1707—1783 йиллар) ва М. В. Ломоносов (1711—1765 йиллар) томонидан ривожлантирилди. Гидравлика фани ривожига катта ҳисса қўшган олимлардан Д. Полени (1685—1761 йиллар), А. Шези (1718—1798 йиллар), П. Дюбуа (1734—1809 йиллар), Д. Вентури (1746—1822 йиллар), Ю. Вейсбах (1806—1871 йиллар), О. Рейнольдс (1842—1912 йиллар) ва бошқаларни келтириш мумкин.

«Суюқликлар механикаси» фанининг энг ривожланган даври сифатида XIX—XX асрларни кўрсатиш мумкин. Бу даврнинг машҳур тадқиқотчилари Ф. Форхгеймер (1852—1933 йиллар), М. Вебер (1871—1951 йиллар), Прандтль (1875—1953 йиллар), М. А. Великанов, (1879—1964 йиллар), Б. А. Бахметов (1880—1951 йиллар), Н. Н. Павловский (1886—1937 йиллар), Н. М. Бернадский (1882—1935 йиллар), Ребок (1864—1950 йиллар), Кох (1852—1923 йиллар) ва бошқалардир.

Гидравлика фани, асосан, икки йўналишда ривожланган:

1. Назарий йўналиш — назария асосларини математик қонуниятлар асосида ўрганиш.

2. Техник йўналиш, яъни суюқликларнинг нисбий тинч ҳолати ва ҳаракат қонуниятларини амалиётда қўллашга доир тадқиқотларни ўтказиш ва ўрганиш.

Техник йўналиш — суюқликларнинг техник атамаси, яъни “Гидравлика” деб атала бошлаган. Амалиётдаги муаммоларни ечишни енгиллаштириш учун айрим чекланишлар ва тахминларга йўл қўйилади. Кўпгина ҳолларда суюқликлар билан боғлиқ физик жараёнларни ўрганишда маълум масштабдаги тадқиқот ва экспериментлар ўтказилиб, улар натижасида, асосан, эмпирик ва ярим эмпирик формулалар олинади ҳамда ҳисоб-китоб ва лойиҳалаштиришда улардан кенг фойдаланилади.

Гидравлика сўзи грекча “хюдор” ва “ауликос” сўзлари бирикмасидан олинган бўлиб, “сув” ва “қувур” деган маъноларни билдиради.

Гидравлика қонунлари техниканинг барча соҳаларида қўлланилганлиги учун бу фanning амалий аҳамияти бениҳоя каттадир. Гидравлика фанининг қўлланиш соҳалари — гидротехника, сув ҳўжалиги ва мелиорация, гидроэнергетикани сув билан таъминлаш ва канализация, машинасозлик, авиация ва ҳўказо.

Кўп йиллик археологик тадқиқотлар Ер шарининг кўп қисмида катта-катта гидротехник иншоотлар бизнинг эрамиздан анча илгари қурилганлигини кўрсатади. Қадим замонларда, тажриба ва кузатишларга асосан кўплаб гидротехник иншоотлар Марказий Осиё, Хитой, Миср, Вавилон, Рим ва Грецияда қурилган. Ашхободдаги (Ан-

нау) нураб кетган инженерлик иншооти қадимда қурувчилар катта суғориш тизимларини қуришни билганликларидан далолат беради. Масалан, жуда қадимий, ҳозирда ҳам ишлаётган суғориш тизими — «Шохруд» минг йиллар илгари Урта Осиёда қурилгани бизни ҳайратта солади. 861 йилда Абул Аббос Аҳмад ибн Муҳаммад ибн ал-Фарғоний (тахминан 797—865 йиллар) Қоҳира яқинидаги Равзо оролида нилометрни, яъни Нил дарёси суви сатҳини белгиловчи ускунани ясаган. Ўзбек давлатчилиги асосчиларидан бири Амир Темур саройида қурилган фаввора иншооти кўпчилик европалик элчиларни ҳайратга солганлиги тарихий манбаларда таъкидланган. Фикри-мизнинг исботи сифатида француз ёзувчиси Люсьен Кэрэн ўзининг «Амир Темур салтанати» асарида Испания ҳукмдори Ҳенри III нинг Ватанимизга жўнатган элчиси Руи Гонсалес де Клавихонинг кундалигида 1404 йил 8 сентябрдаги улуғ Амир Темур билан Самарқанд шаҳри ташқарисидаги учрашувини қуйидагича таърифлаган: ҳукмдор (Амир Темур) ҳашаматли уй олдидаги шоҳсупа устида ўтирарди. Унинг ёнидаги фаввора сувлари анча баландга отилиб, ҳовузга қайтиб тушар, ҳовузда эса қизил олмалар сузиб юрарди. Бу маълумотлар суюқлик ва суюқлик оқимини ўрганиш ва ундан фойдаланиш бизнинг Ватанимизда қадимдан бошланганлиги ҳақида сўз юритишимизга асос бўлади.

Суюқлик ва суюқлик оқими муаммоларини ўрганувчи Гидравлика фани физика ва назарий механика қонунларига асосланган. Гидравлика фанида учрайдиган мураккаб масалаларни ҳамма вақт ҳам назария асосида ечиб бўлмайди. Нима учун? Чунки, рўй бераётган жараёнларни математик дифференциал тенгламалар ёрдамида тавсифлаш мумкинлигини биламиз. Бу физик жараён математик дифференциал тенгламалар ёрдамида ёзилганда система таркибидаги тенгламалар сони ва бу тенгламага кирувчи номаълум параметрлар орасида номутаносиблик мавжуд бўлади ҳамда бу номутаносибликни ҳозирги тафаккуримиз доирасида фақат амалий тажрибалар натижасига асосланиб, талқин қилиш мумкин. Шунинг учун гидравликада амалий тажрибадан кенг фойдаланилади, яъни илмий тажриба кенг қўлланилади. Гидравликада амалий тажриба йўли билан биринчидан, назарий формулаларга кирувчи коэффицентлар ва тузатишлар, иккинчидан, тажрибага асосланган янги формулалар кашф этилади. Назария билан амалий тажрибанинг ўзаро алоқаси ва илмий-текшириш ишларини кенг ташкил этилиши Гидравлика фанининг янада ривожланишига, халқ ҳўжалигида муҳим масалаларнинг ечимини топишда амалий имконият яратadi.

Шундай қилиб, Гидравлика фанига қисқача қуйидагича таъриф бериш мумкин: Гидравлика — табиий фанлардан бири бўлиб, суюқликнинг нисбий тинч ҳолат ва ҳаракат қонуниятларини ўрганadi ва

бу қонуниятларни кишилар жамиятининг меҳнат фаолиятида қўллаш учун услублар яратади.

Умуман, фан, ўзининг урганилиш жараёнида ўзига хос йўналишларга бўлинади. Масалан, қурилиш мутахассисликларида гидравлик иншоотлар қурилишига ва эксплуатациясига боғлиқ бўлган муаммолар билан шуғулланади ёки машинасозлик, авиасозлик мутахассисликларида — бу соҳаларга боғлиқ бўлган физик ҳодисаларни лойиҳалаштириш ва эксплуатация жараёнини урганади.

Гидравлика фанининг ривожланиши билан ҳозирда мазкур фанининг урганиладиган объекти сифатида нафақат сувни, балки, табиатда мавжуд бўлган барча суюқликлар қабул қилинган. Булғуси шифокорларнинг ҳам физиология фанини Гидравлика билан қўшиб урганиши фойдадан ҳоли эмас. Фикримизнинг далили сифатида Белгиянинг Гент университети «Гидравлика» кафедраси олимлари томонидан яратилган сунъий инсон юраги моделидан сунъий клапанлар синовида кенг фойдаланаётганлигини келтириш мумкин. Бу йўналишда ҳозирда кафедрамиз олимлари ва уларнинг шогирдлари томонидан изланишлар олиб борилаётганлигини алоҳида таъкидлаш мумкин.

1.2. СУЮҚЛИК ВА УЛАРНИНГ ФИЗИК ХОССАЛАРИ

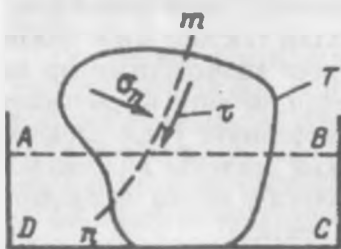
Бизга маълумки, табиатда моддалар уч хил ҳолатда: қаттиқ, суюқ ва газ ёки плазма кўринишда бўлади. Ҳарорат ва босимнинг ўзгариши натижасида суюқ жисм қаттиқ ёки газсимон ҳолатга ўтиши мумкин. Масалан, юқори босим остида сув муз кристали ҳолатга ўтади ёки, аксинча, паст босим остида газсимон ҳолатни қабул қилади.

Суюқликка қуйидагича таъриф бериш мумкин: ташқи босим ва ҳарорат таъсири остида ўз ҳажмини ўзгартирмайдиган ва оқувчанлик хусусиятига эга бўлган физик жисм *суюқлик* деб аталади.

Суюқликнинг оқувчанлик хусусияти моҳиятини тушуниш учун қуйидаги ҳисоблаш схемасидан фойдаланамиз (1.1-расм). *T* қаттиқ

жисм суюқликка ботирилган оғирлик кучи ҳисобига маълум кучланишлар пайдо бўлади.

Агар жисмда *mn* ихтиёрий кесимни оладиган бўлсак, унда нормал кучланишдан ташқари уринма кучланишлар ҳам мавжуд бўлади. Фараз қилайлик, *T* жисм тинч ҳолатда уринма кучланиш таъсирига бардош беролмай, емирила бошлайди ва идишнинг шаклини қабул қилади. Бошқача қилиб айтганда, суюқлик қат-



1.1-расм. Суюқлик оқувчанлигини урганиш схемаси

тиқ жисмдан фарқли улароқ, нисбий тинч ҳолатда турганида урин-
ма кучланишга эга бўлмайди.

Суюқликлар томчи ва газларга бўлинади. Гидравлика курсида биз
асосан томчисимон суюқликларнинг қонуниятларини ўрганамиз.

Томчисимон суюқлик деб, оқувчанлик хусусиятига эга бўлган ва
бирор идишга қуйилганда шу идишнинг шаклини эгаллайдиган,
амалда сиқилмайдиган физик моддага айтилади.

Суюқлик қаттиқ жисмлардан молекулалари орасидаги тортишиш
кучининг анча кичиклиги ва оқувчанлиги (силжувчанлиги) билан
фарқланади. Шунингдек, суюқлик, амалда ўз ҳажмини ўзгартирмай-
ди, ташқи кучлар таъсирида ва ҳароратнинг ўзгариши билан сезил-
мас даражада ўзгаради. Газлар ҳам оқувчанлик хусусиятига эга бўлиш
билан бир қаторда, ўз ҳажмларини ташқи кучлар таъсирида ўзгари-
радилар. Томчили суюқликларга сув, бензин, керосин, спирт ва бош-
қалар киради.

Курсимиз давомида «суюқлик» деганда, мелиорация ва гидротех-
ника соҳаларини қамраб олган сув кўзда тутилади. Суюқликлар маъ-
лум физик хусусиятлари билан бир-биридан фарқланади. Гидравли-
ка фанини ўрганишда ушбу хусусиятлардан асосийлари қуйидаги-
лар ҳисобланади:

Суюқликнинг зичлиги — ҳажм бирлигидаги суюқлик массаси ёки
суюқлик массасининг унинг ҳажмига бўлган нисбати:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1.1)$$

бунда M — суюқлик массаси;

V — суюқлик ҳажми.

$$M = \rho V \quad (1.1')$$

Солиштирма оғирлик:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1.2)$$

Ҳажм бирлигидаги суюқлик оғирлиги ёки суюқлик оғирлигининг
унинг ҳажмига бўлган нисбати солиштирма оғирлик ёки ҳажмий оғир-
лик деб аталади. (1.2) дан

$$G = \gamma V \quad (1.2')$$

Бизга маълумки,

$$G = g M \quad (1.3)$$

бунда g — жисмнинг эркин тушиш тезланиши.

(1.3)ни (1.1') ва (1.2')га қўйсак,

$$\gamma V = g \rho V \quad (1.4)$$

бундан қуйидаги ифодага эга бўлишимиз мумкин:

$$\rho = \frac{\gamma}{g}; \quad \gamma = \rho g. \quad (1.5)$$

ρ ва γ ўлчов бирликлари:

$$\rho = \left[\frac{M}{L^3} \right]; \quad \gamma = \left[\frac{F}{L^3} \right] = \left[\frac{M}{T^2 L^2} \right] \quad (1.6)$$

бунда M , L , F , T — масса, узунлик, куч ва вақт.

$$M \rightarrow \kappa g = \frac{H \kappa^2}{m}; \quad L \rightarrow m; \quad F \rightarrow H, \quad \kappa H; \quad T \rightarrow c.$$

Демак,

$$\gamma = \frac{H}{m^3} = \frac{\kappa g}{m^2 c^2}.$$

1.1-жадвал

Дистилланган тоза сув zichligining ҳароратга боғлиқ равишда ўзгариши

t, °C	0	2	4	6	8	10	20	30	40	60
ρ , кг/м ³	999,87	999,97	1000	999,97	999,88	999,70	998,20	995,70	992,20	983,20

Сиқилувчанлик — суюқликнинг ташқи кучлар таъсирида ҳажмининг кичрайиши. Бу ҳолат сиқилувчанлик коэффиценти β_c (m^2/H) билан белгиланади.

$$\beta_c = -\frac{1}{W} \frac{dw}{dp}. \quad (1.7)$$

Формуладаги манфий ишора босимнинг ортиши билан суюқлик ҳажмининг камайишини кўрсатади.

Суюқлик массаси ўзгармаган ҳолда

$$\beta_c = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dp} \quad (1.8)$$

Ҳажмий сиқилувчанлик коэффиценти β_c га тескари катталиқ суюқликларнинг эластиклик модули — E_x билан белгиланади.

$$E_x = \frac{1}{\beta_c}. \quad (1.9)$$

(1.8) формулани ҳисобга олсак, (1.9) ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$E_x = \rho \frac{dp}{d\rho}, \quad (1.10)$$

бундан

$$\frac{dp}{\rho} = \frac{dp}{E_6} \quad (1.11)$$

(1.10) ифода Гук қонунини ифодалайди ва у ҳарорат 0° дан 20° гача ўзгарганда ва босим 20 атмосфера бўлганда чучук сув (дистилланган сув)нинг ўртача ҳажмий сиқилиш коэффициентига тенг. Суюқликларнинг сиқилиш имконияти жуда кичик бўлганлиги сабабли гидравликанинг амалий масалалари ечилганда улар ҳисобга олинмайди ва уларни амалда сиқилмайдиган деб қаралади.

Суюқликларнинг ёпишқоқлиги деб, суюқлик бир қатламининг иккинчи қатламга нисбатан силжиганда юзага келадиган қаршиликка айтилади. Ёки суюқлик ҳаракатида қатламлардаги ишқаланиш кучи ёпишқоқлик кучи деб аталади.

И. Ньютон 1687 йилда қуйидаги гипотезани айтади, яъни суюқлик қатламлари ҳаракат давомида ишқаланганда ички ишқаланиш кучи ҳосил бўлади:

$$T = \mu \omega \frac{du}{dh}, \quad (1.12)$$

бунда T — қатламлараро ишқаланиш кучи;

ω — қатламнинг ишқаланиш юзаси;

$\frac{du}{dh}$ — тезлик градиенти, сирпаниш тезлиги;

μ — ишқаланишдаги динамик ёпишқоқлик коэффициенти.

Н. П. Петров 1876—1920 йилларда Ньютон гипотезасини тасдиқлади.

(1.12) формуладан динамик қовушоқлик коэффициенти μ қуйидагича аниқланади.

$$\mu = \frac{T}{\omega \frac{du}{dh}} = \frac{\tau}{\frac{du}{dh}} \quad (1.13)$$

бунда τ — ишқаланиш кучланиши.

μ нинг ўлчов бирлиги қуйидагича:

$$\mu = \frac{M}{LT}, \quad \frac{Hc}{M^2}, \quad \frac{kg}{mc} \quad \text{ёки} \quad \frac{c}{cmc} = \text{пуаз}$$

1.2-жадвал

Ҳар хил ҳароратдаги сув учун μ қийматлари

$t, ^\circ C$	0	10	20	30
$\mu, 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$	17,92	13,04	10,01	8,00

Гидравлика фанини ўрганишда динамик қовушоқлик коэффи-
циенти билан бир қаторда *кинематик қовушоқлик* коэффицентидан
ҳам фойдаланилади:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.14)$$

Бу катталиқнинг ўлчов бирлиги: $[\nu] = \frac{L^2}{T}; \frac{м^2}{с}; \frac{см^2}{с} = \text{стокс}$.

Амалий тажрибалар кўрсатишича, суюқликнинг қовушоқлиги
суюқлик турига ва унинг ҳароратига боғлиқ. Ҳарорат кўтарилиши
билан суюқликларнинг қовушоқлиги камаяди. Суюқликларнинг ки-
нематик қовушоқлик коэффициенти қийматлари 1.3- ва 1.4-жад-
валларда келтирилган.

1.3-жадвал

t, °C	$\nu, 10^4 \text{ м}^2 \cdot \text{с}$	t, °C	$\nu, 10^4 \text{ м}^2 \cdot \text{с}$
0	0,0179	18	0,0106
2	0,0167	20	0,0101
4	0,0157	25	0,0090
6	0,0147	30	0,0080
8	0,0139	35	0,0072
10	0,0131	40	0,0065
12	0,0124	45	0,0060
14	0,0118	50	0,0055
16	0,0112	60	0,0048

1.4-жадвал

Суюқлик	t, °C	$\nu, 10^4 \text{ м}^2 \cdot \text{с}$	Суюқлик	t, °C	$\nu, 10^4 \text{ м}^2 \cdot \text{с}$
Сифатли сут	20	0,0174	АМГ – 10 мойи	50	0,1
Сув	18	600	Нефть:		
Керосин	15	0,027	енгил	18	0,25
Мазут	18	20,0	оғир	18	1,40
	20	11,89	Симоб	15	0,0011

Суюқликларнинг қовушоқлик коэффициенти *вискозиметр* ёрда-
мида ўлчанади.

Суюқликларнинг майдонни ўзлуксиз тула эгаллаш модели. Биз ўрга-
надиган суюқликлар бир жинсли суюқликлар бўлиб, уларни ўз май-
донларини ўзлуксиз тула эгаллайди, деб қараймиз. Ҳақиқатда эса,
молекулалар оралиғи мавжуд бўлиб, ўзлукли бўлса-да, математик
усулда гидромеханиканинг мураккаб масалаларини ечишда кўрса-
тилган суюқликларнинг майдонни ўзлуксиз тула эгаллаши қўл кела-
ди. Ўзлуксиз тула майдон лотинча «*continuum*» деб аталади. Амали-

ётда суюқликларнинг майдонни узлуксиз тўла эгаллаш модели тасдиқланган.

Реал ва идеал суюқликлар. Суюқликларнинг ҳаракат қонуниятларини ўрганишда қовушоқлик, ички ишқаланиш кучлари асосий роль уйнайди. Идеал суюқликлар табиатда учрамайди, уларни абсолют сиқилувчан эмас ва кўндаланг кучланишларни қабул қилмайди, қовушоқликка эга эмас деб ҳисобланади. Бундай ҳолатда, математик қонуниятларни келтириб чиқаришда суюқликлар ҳаракати билан боғлиқ бўлган қийматлар бизга қўл келади. Реал суюқлик заррачалари ҳаракатчан деб қаралса-да, улар ҳўзилиш ва силжиш кучларига қаршилик кўрсатадилар. Кўндаланг кучланишлар суюқликлар ҳаракатида асосий масалалардан бири ҳисобланади.

Идеал суюқликлар суюқликларнинг мувозанат ва ҳаракат қонуниятларини математик келтириб чиқаришда асосий омиллардан бири ҳисобланади. Ҳақиқий суюқликларга тажрибага асосан топилган коэффициентлар ёки кучланишларнинг ўзгаришини билган ҳолда ўтилади. Шундай қилиб, амалиёт назария билан боғланади.

Суюқликларнинг мувозанат (тинч) ва ҳаракати давомида таъсир этувчи кучлар. Суюқликларга таъсир этувчи кучларни икки турга бўлиш мумкин:

Масса кучлари — суюқликлар томчиси (зарраси) массасига пропорционал кучлар. Бир жинсли суюқликларда масса кучларини ҳажмга пропорционал кучлар деб аташ мумкин. Бундай кучларга оғирлик кучи, инерция кучи ва бошқалар киради.

$$F = mA \quad (1.15)$$

бунда m — W ҳажмдаги суюқликнинг массаси;

A — нисбий (солиштирма) масса бирлигидаги куч, яъни тезланиш.

Ташқи юзага таъсир этувчи кучлар — суюқликнинг ташқи юзасига пропорционал бўлган кучлар. Бу кучлар туркумига — сиртга нормал йўналган сиқувчи босим кучи ва кўндаланг ишқаланиш кучлари киради. Масалан:

$$P = P\omega = \sigma\omega; \quad (1.16)$$

$$T = \tau\omega \quad (1.17)$$

бунда P — босим кучи;

T — ишқаланиш кучи;

σ — суюқликлар ҳаракатидаги сиқувчи нормал кучланиш;

τ — суюқликлар ҳаракатидаги кўндаланг ички кучланиш;

ω — куч таъсир этаётган юза.

Юқорида зикр этилган кучлар ташқи кучлар туркумига киради. Ички кучлар эса суюқлик зарраларининг бир-бирига таъсирини кўрсатади ва берилган ҳажмда жуфт кучлар бўлганлигидан уларнинг йиғиндиси доимо нолга тенг бўлади.

Текшириш учун саволлар

1. Фанни ўрганишдан асосий мақсад.
2. Суюқлик қаттиқ жисм ва газлардан қандай фарқ қилади?
3. Суюқлик қандай физик хоссаларга эга?
4. Идеал ва реал суюқликлар орасида қандай фарқ бор?

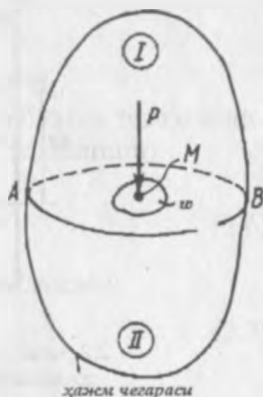
II БОБ ГИДРОСТАТИКА

2.1. ГИДРОСТАТИК БОСИМ ВА УНИНГ АСОСИЙ ХОССАЛАРИ

Суюқликлар ўзларининг физик хоссаларига кўра қундаланг ва чўзилувчан кучланишларни қабул қилмайди. Шу сабабли суюқликлар фақат нормал йўналган сиқилувчан кучланишлар « σ », яъни гидростатик босим p таъсирида бўлади.

Суюқлик ичида бирор ҳажми ажратиб оламиз ва унинг мувозанат ҳолатини кузатамиз (2.1-расм). Ушбу ҳажмдаги суюқликни ҳаёлан AB кесма орқали икки қисмга ажратамиз. II қисм устига, мувозанатни сақлаб туриш учун, ташқи куч P ни қўямиз. Бу куч ω юзага таъсир этади ва ўртача гидростатик босимни ҳосил қилади, яъни

$$p = \frac{P}{\omega} = \frac{\Delta P}{\Delta \omega} \quad (2.1)$$



2.1-расм. Барқарор суюқлик ҳажми

Юза ω нолга интилганда ўртача гидростатик босим *нуқтадаги гидростатик босим* деб аталади:

$$p = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{P}{\omega} = \lim_{\Delta \omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta \omega} \quad (2.2)$$

Гидростатик босимнинг ўлчов бирликлари: $\frac{H}{m^2} = Pa$ ёки $\frac{kg}{mc^2}$; техник атмосфера босими $P_{ат} = 98100 \frac{H}{m^2} = 98100 Pa = 98,1 KPa$ ёки суюқлик баландлигида $h = \frac{P}{\rho g}$; сув устунисида атмосфера босими $h_{B_0} = 10$ м га, симоб устуниси баландлигида эса $h_{сим} = 735$ мм га тенг.

Гидростатик босим иккита асосий хоссага эга:

— доим ички нормал бўйича, суюқликларда ички сиқилиш кучланиши бўлганлиги сабабли ўзи таъсир этаётган юзага тик (перпендикуляр) йўналган бўлади;

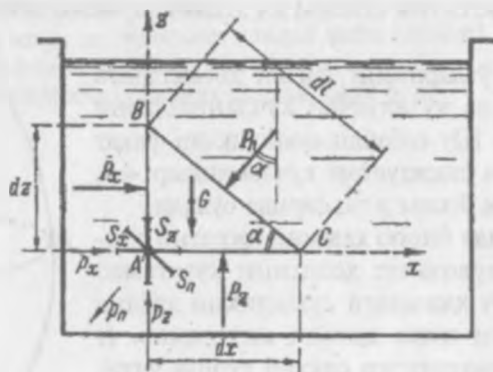
— миқдори эса берилган нуқтада шу нуқта атрофида юзанинг ўзгариши билан ўзгармайди.

Берилган суюқлик ичида олинган нуқтада гидростатик босим ҳамма томондан шу нуқтага бир хил миқдорда таъсир этади, яъни:

$$P_x = P_y = P_z = P_n$$

бунда P_x , P_y , P_z ва P_n — координата ўқларига нисбатан Ox , Oy , Oz ва ихтиёрий йуналишдаги «пп»га нисбатан гидростатик босим.

Ушбу хоссани тасдиқлаш учун суюқлик ичидан тетраэдр шаклидаги кичик ҳажм ажратиб оламиз. Унинг томонлари dx , dy , dz бўлсин, массаси эса $\rho \frac{1}{6} dx, dy, dz$ га тенг (2.2-расм).



2.2-расм. А нуқтадаги p босим миқдорининг S юзанинг жойлашишига боғлиқ эмаслигини исботлашга доир

Мувозанат тенгламасига асосан:

$$\left. \begin{aligned} \sum P_x &= 0 \\ \sum P_y &= 0 \\ \sum P_z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Ox ўқи бўйича мувозанат тенгламасида, таъсир этувчи кучлар ташқи босим кучлари, ABO юза томонидан

$$P_x = P_x \frac{1}{2} dx, dz, \quad (2.4)$$

бунда P_x — ABO юзага таъсир этувчи ўртача гидростатик босим. $\frac{1}{2} dy, dz$ — юзага таъсир этиб, Ox ўқи бўйича йуналган, демак тенгламага мусбат қиймат билан киради;

dP_y ва dP_z — босим кучлари.

BOC ва AOC юзаларга таъсир этувчи Oy ва Oz ўқлар ўзаро параллел бўлгани боис уларнинг Ox ўқиغا проекцияси нолга тенг. ABC юзага таъсир этаётган dP_n босим кучи $dP_n = P_n d\omega$ га тенг (бунда P_n — ABC юзадаги ўртача гидростатик босим). Бу кучнинг Ox ўқиға проекцияси $dP_n \cos(n^x) = P_n d\omega \cos(n^x)$, ушбу катталиқ мувозанатлик

тенгламасига манфий қиймат билан киради. $d\omega \cos(n^x)$ юза ABC уч-бурчакнинг $0z$ текислигидаги проекцияси, у қуйидагига тенг:

$$d\omega \cos(n^x) = \frac{1}{2} dy, dz.$$

Демак,

$$dP_n \cos(n^x) = P_n \frac{1}{2} dy dz. \quad (2.5)$$

Тетраэдрга таъсир этаётган кучлар тенг таъсир этувчиси dF_x нинг $0x$ ўқига проекцияси қуйидагига тенг:

$$dF_x = dm F_x$$

бунда dm - тетраэдрнинг массаси, яъни $\rho \frac{1}{6} dx dy dz$.

F_x — шу dm массадаги суюқликнинг $0x$ ўқига бўлган тезланишининг проекцияси (хусусий ҳолда эркин тушиш тезланиши).

Демак, масса кучининг проекцияси:

$$dF_x = dm F_x = \rho \frac{1}{6} dx dy dz F_x \quad (2.6)$$

Шундай қилиб, $0x$ ўқи бўйича мувозанат тенгламаси:

$$ePx = dP_x - dP_n \cos x + dF_x = 0 \quad (2.7)$$

ёки

$$P_x \frac{1}{2} dy dz - P_n \frac{1}{2} dy dz + \rho \frac{1}{6} dx dy dz F_x = 0.$$

Ушбу тенглама $\frac{1}{2} dy dz$ га қисқартирилгандан сунг

$$P_x - P_n + \rho \frac{1}{3} dx F_x = 0$$

ифодага эга бўламиз. $dx \rightarrow 0$ бўлганда 0 нуқтада:

$$P_x - P_n = 0,$$

$$P_x = P_n$$

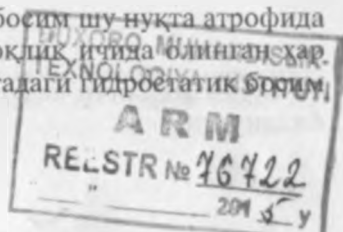
Худди шундай, $0y$ ва $0z$ ўқлари бўйича аниқласак,

$$P_y = P_n$$

Демак,

$$P_x = P_y = P_z = P_n \quad (2.8)$$

Шундай қилиб, нуқтадаги гидростатик босим шу нуқта атрофида юзанинг ўзгариши билан ўзгармайди. Суюқлик ичига олинган ҳар хил нуқталарда босим ҳар хил бўлади. Нуқтадаги гидростатик босим координата ўқларининг функцияси:



$$p = f(x, y, z) \quad (2.9)$$

Умумий ҳолда, у вақтнинг ҳам функцияси бўлади:

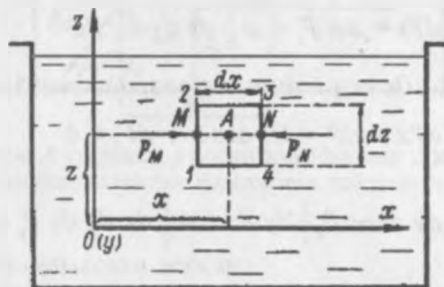
$$p = f(x, y, z, t) \quad (2.9')$$

2.2. ТИНЧ ҲОЛАТДАГИ СУЮҚЛИКНИНГ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Ташқи ҳажмий куч таъсир этаётган тинч ҳолатдаги суюқликни куриб чиқамиз. Айтайлик, суюқликнинг бирлик массасига ϕ миқдордаги ҳажмий куч таъсир этаётган бўлсин (2.3-расм), унинг $0x$, $0y$, $0z$ ўқлардаги проекцияларини мос равишда ϕ_x , ϕ_y , ϕ_z деб белгилаймиз.

Умуман, суюқликнинг ихтиёрий нуқталаридаги босим (p) ни қуйидагича ифодалаймиз:

$$p = f(x, y, z). \quad (2.10)$$



2.3-расм. 2.16-ифодага доир схема

Энди, бу катталиклар орасидаги боғлиқликни аниқлаймиз. Координаталар системасида $0x$ ва $0z$ ўқларининг йўналишини белгилаб олиб, ниҳоятда кичик параллелепипед кўринишидаги 1—2—3—4 суюқлик ҳажмини кўриб чиқамиз.

Параллелепипеднинг томонлари dx , dz , dy ларни чексиз кичик деб қабул қиламиз. Параллелепипеднинг марказида x , y , z координаталардан A нуқтани танлаб олиб, ундаги босимни p нуқта орқали MN чизигини $0x$ ўққа параллел қилиб ўтказамиз ҳамда гидростатик босим шу чизик бўйлаб ўзгаради деб қабул қиламиз. Бу ўзгаришни $\frac{\partial p}{\partial x}$ кўринишида қабул қилиш мумкин. M ва N нуқталардаги босимнинг ўзгаришини ифодалаймиз.

$$\left. \begin{aligned} p_M &= p - \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x} \\ p_N &= p + \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Бунда иккинчи ҳад p босимнинг $\frac{1}{2} dx$ оралиқдаги ўзгаришини билдиради.

Энди қуйидагича мулоҳаза юритамиз:

а) авваламбор, элементар параллелепипедга таъсир этувчи барча кучларни аниқлаймиз;

б) параллелепипед тинч ҳолатда булганлиги учун бу кучларнинг Ox уққа проекцияларини олиб, уларни нолга тенглаймиз. Натижада биринчи дифференциал тенгламага эга буламиз;

в) иккинчи ва учинчи дифференциал тенгламаларни ҳосил қилиш учун мазкур кучларнинг мос равишда Oy ва Oz уқларга проекцияларини олиб, уларни нолга тенглаймиз.

Юқоридаги мулоҳазаларга асосан, фақат биринчи тенгламани келтириб чиқарамиз.

Параллелепипед (1—2—3—4) га таъсир этувчи кучларни аниқлаймиз.

Ҳажмий кучлар, яъни

$$\phi(dx dy dz) \rho \quad (2.12)$$

Параллелепипеддаги суюқлик массасининг Ox уққа проекцияси

$$\phi_x(dx dy dz) \rho \quad (2.13)$$

Ташқи кучлар. Элементар параллелепипеднинг 1—4 ва 2—3 қирраларига таъсир этувчи кучлар фарқи нолга тенг. 1—2 ва 3—4 қирраларга таъсир этувчи кучлар фарқи эса қуйидагига тенг:

$$\begin{aligned} P_M - P_N &= p_M(dzdy) - p_N(dzdy) = \\ &= \left(p - \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x}\right) dydz - \left(p + \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x}\right) dydz = -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \end{aligned} \quad (2.14)$$

Ҳамма кучлар йиғиндисини топамиз:

$$\phi_x(dx dy dz) \rho - \frac{\partial p}{\partial x}(dx dy dz) = 0. \quad (2.15)$$

Худди шундай тарзда қолган тенгламаларни ҳосил қиламиз.

$$\begin{cases} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (2.16)$$

Бу тенглама 1755 йили Л. Эйлер томонидан ёзилганлиги сабабли Эйлер тенгламаси* деб аталади.

* Л. Эйлер — Петербург фанлар академиясининг академиги, буюк математик, механик ва физик. Базель (Швейцария) шаҳрида тугилган. 1727—1741 ва 1766—1783 йилларда С. Петербургда яшаб ижод қилган.

2.3. СУЮҚЛИКНИНГ ТИНЧ ҲОЛАТИ УЧУН ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАНИ ИНТЕГРАЛЛАШ

(2.16) тенгламалар системасини мос равишда dx , dy , dz ларга кўпайтириб, чап ва ўнг томонларини қўшамиз:

$$\bar{a}_x dx + \bar{a}_y dy + \bar{a}_z dz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = 0 \quad (2.17)$$

Нуктага таъсир этувчи p босим координаталарга боғлиқ бўлган функция эканлигини ҳисобга олсак,

$$p = f(x, y, z) \quad (2.18)$$

(2.17) тенгламадаги қавс ичидаги ифода p нинг тўлиқ дифференциали деб олсак:

$$dp = \rho (\phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz), \quad (2.19)$$

у ҳолда (2.19) тенгламанинг чап томони бир функциянинг тўлиқ дифференциали экан, иккинчи томонини ҳам функциянинг тўлиқ дифференциали деб қабул қилиш мумкин. $\rho = \text{const}$ бўлганлиги учун

$$dp = \rho dU, \quad (2.20)$$

бунда

$$dU = \phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz \quad (2.21)$$

Умуман, dU дифференциални бошқача ифодалаш ҳам мумкин:

$$dU = \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz \quad (2.22)$$

(2.21) ни (2.22) га қўйиб ёзиш мумкин:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = f_x; \quad \frac{\partial U}{\partial y} = f_y; \quad \frac{\partial U}{\partial z} = f_z \quad (2.23)$$

Юқоридаги мулоҳазадан кўриниб турибдики, U координаталарга боғлиқ бўлган функция бўлиб, унинг хусусий ҳосилалари бирлик ҳажмдаги оғирлик кучининг проекцияларини (ϕ_x ; ϕ_y ; ϕ_z) ифодалайди.

Демак, ϕ куч маълум потенциалга эга бўлган куч бўлиб, суюқликлар шундай куч таъсири остида тинч ҳолатда бўлиши мумкин.

(2.20) тенгламани интеграллаб,

$$p = \rho U + C \quad (2.26)$$

ифодага эга бўламиз. Бунда C — ўзгармас катталиқ (интеграл доимийси).

Бу катталиқни аниқлаш учун ихтиёрий нуқтадаги маълум

$$p = p_0 \text{ ва } U = U_0. \quad (2.25)$$

катталикларни қабул қиламиз. Бу нуқта учун (2.24) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$p_0 = \tau U_0 + C, \quad (2.26)$$

бундан

$$C = p_0 - \tau U_0. \quad (2.27)$$

(2.27) ни (2.24) га қўйиб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$p = \rho U + p_0 - \rho U_0. \quad (2.28)$$

ёки

$$p = p_0 + \rho (U - U_0). \quad (2.29)$$

2.4. ОҒИРЛИК КУЧИ ТАЪСИРИДАГИ СУЮҚЛИККА ТАЪСИР ЭТУВЧИ ГИДРОСТАТИК БОСИМ КУЧИ

Бундан кейин суюқликка фақат битта ҳажмий куч — оғирлик кучи таъсир этипти деб қабул қиламиз. Ёпиқ идишга солинган суюқлик сатҳига p_0 ташқи куч таъсир этаётган ҳолатни қабул қилиб, унинг ихтиёрий h чуқурликдаги нуқтаси (m) атрофида бирлик массани ажратиб оламиз (2.4-расм).

Фараз қилайлик, бу массага ϕ куч таъсир этмоқда. Юқорида таъкидланган ҳолат учун

$$\phi_x = 0, \quad \phi_y = 0, \quad \phi_z = -g, \quad (2.30)$$

бунда g — оғирлик кучи таъсиридаги тезланиш;

ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z — ϕ куч проекциялари.

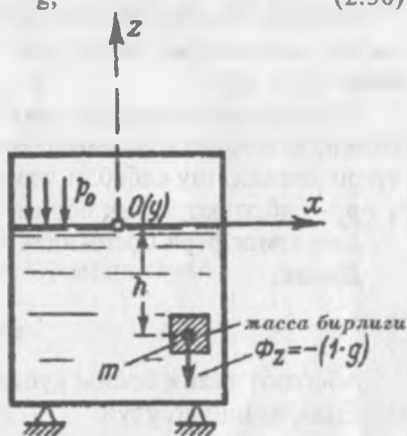
Бизнинг ҳолат учун

$$dU = \phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz = -g dz. \quad (2.31)$$

(2.31) ни (2.20) га қўйиб,

$$dp = -\rho g dz \quad (2.32)$$

ифодани оламиз. Бу ифодани интегралласак,



2.4-расм. Оғирлик кучи таъсиридаги суюқликка p босим таъсири

$$p = -\rho g z + C \quad (2.33)$$

ёки

$$p = -\gamma z + C. \quad (2.34)$$

Бошланғич функция доимийси C ни топиш учун сатҳдаги нуқта-ни куриб чиқамиз:

$$z = 0; \quad p = p_o; \quad (2.35)$$

$$C = p_o. \quad (2.36)$$

Натижада қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$p = p_o - \gamma z. \quad (2.37)$$

Бунда чуқурликни

$$h = -z \quad (2.38)$$

деб қабул қилсак,

$$p = p_o + \gamma h, \quad (2.39)$$

бунда p — нуқтага таъсир этувчи тулиқ абсолют босим;

p_o — ташқи босим.

$$\gamma h = p_o \quad (2.40)$$

Курилайтган нуқтадан юқоридаги суюқлик қатламини нуқтага бўлган босими *оғирлик босими* деб аталади.

Агар идишнинг қопқоғи очиқ булса,

$$p_o = p_a \quad (2.41)$$

деб қабул қилинади. Бунда, p_a — атмосфера босими.

Нуқтага таъсир этаётган босимларнинг фарқи ($p_o - p_a$) айрим ҳол-ларда *манометрик босим* деб аталади (агар бу фарқ мусбат булса, яъни ($p_o > p_a$)).

Купгина ҳолатларда амалиётда тулиқ (абсолют) босим билан эмас, балки, атмосфера босимидан юқори булган босим билан ишлашга тўғри келади, шу сабабли уларни аниқ белгилаб оламиз.

p_A — абсолют тулиқ босим;

p — атмосфера босимидан юқори булган босим.

Демак,

$$p = p_w - p_v. \quad (2.42)$$

Абсолют тулиқ босим қуйидагича аниқланади:

Ёпиқ идишлар учун:

$$p_A = p_o + \gamma h = p_o + p_{or} = p_a + p \quad (2.43)$$

Очиқ идишлар учун:

$$p_A = p_a + \gamma h = p_a + p_o, = p_a + p \quad (2.44)$$

бунда p_o — оғирлик босими.

Юқоридаги мулоҳазадан қуриниб турибдики, очиқ идишлар учун, атмосфера босимидан юқори бўлган катталиқ ва оғирлик босими деган тушунчалар бир-бирига мос келади. Ёпиқ идишлар учун улар ҳар хил қийматга эга.

$$p = p_o + (p_o - p_a). \quad (2.45)$$

Худди шундай, гидростатик босим кучи ҳақида ҳам аниқлик кiritиб оламиз.

$$p_M = p - p_A$$

p_A — абсолют тўлиқ гидростатик босим кучи;

p_M — атмосфера босимидан юқори бўлган монометрик босим.

2.5. ПЬЕЗОМЕТРИК БАЛАНДЛИК

«Пьезометр» грек сўзлари қушилмасидан олинган бўлиб, «босим», «ўлчов» деган маъноларни англатади. Қопқоғи беркитилган идишга суюқлик солинган бўлиб, унга оғзи кавшарланган ва ичидан ҳавоси сўрилган P_o ва оғзи очиқ P найчалар m нуқта сатҳига ўрнатилган (2.5-расм). Бу ҳолат учун қуйидаги ифодаларни ёзиш мумкин:

а) идишдаги суюқлик томонидан m нуқтага таъсир этувчи босим

$$p_A = p_o + \gamma h; \quad (2.46)$$

б) найчадаги суюқлик томонидан m нуқтага таъсир этувчи босим

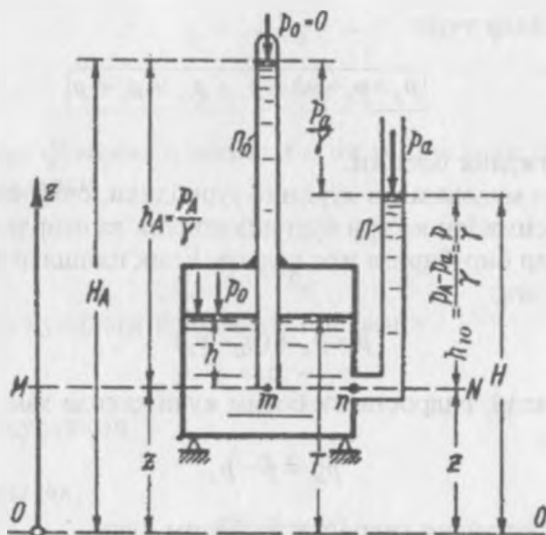
$$0 + \gamma h_A. \quad (2.47)$$

Бу иккала ифода бир-бирига тенг бўлиши керак

$$p_A = \gamma h_w \quad (2.48)$$

бундан,

$$h_A = \frac{p_A}{\gamma} \quad (2.49)$$



2.5-расм. Пъезометрик баландлик ва потенциал напор

Демак, суюқликнинг уз оғирлиги ҳисобига абсолют тўлиқ босим-ни ҳосил қилувчи найчадаги кутарилиш баландлиги тўлиқ пъезо-метрик баландлик дейилади. Бу катталиқ узунлик ўлчов бирлигида ўлчанганлиги сабабли тўлиқ босим ҳам узунлик ўлчов бирликларида ўлчаниши мумкин. Масалан, м сув уст., мм сим. уст., ат.

$$\begin{aligned} 1 \text{ ат} &= 1 \text{ кгк/см}^2 = 10 \text{ тк/м}^2 = 98100 \text{ Н/м}^2 = \\ &= 10 \text{ м сув уст} = 735 \text{ мм сим устуни} \end{aligned}$$

Энди n нуқтага найчадаги ва идишдаги суюқликлар томонидан таъсир этувчи босимларни аниқлаймиз:

$$p_A = p_a + \gamma h; \quad (2.50)$$

$$p_A + \gamma h_n. \quad (2.51)$$

Буларни бир-бирига тенглаб, бизга керакли катталиқни топамиз.

$$p_A = p_a + \gamma h_n, \quad (2.52)$$

$$h_n = \frac{p_A - p_a}{\gamma} = \frac{p}{\gamma}, \quad (2.53)$$

бунда h_n — атмосфера босимидан юқори бўлган босимга мос келув-чи *пъезометрик баландлик* деб аталади.

2.6. ВАКУУМ

Ҳозиргача бўлган вазиятларда доимо тулиқ босим (p_w) атмосфера босими (p_a) дан катта бўлган ҳолатни кўрдик. Агар $p_a < p_w$ бўлса, бунда босим тескари пьезометр ёки вакуумметр ёрдамида ўлчанади.

m нуқтага идишдаги ва найчадаги суюқликлар томонидан таъсир этаётган босимни аниқлаймиз (2.6-расм).

— идишдаги суюқлик томонидан

$$p_w = p_a + \gamma h, \quad (2.54)$$

V -симон шаклидаги найчада жойлашган суюқлик томонидан

$$p_a - \gamma h_{\text{вак}}. \quad (2.55)$$

Иккаласини бир-бирига тенглаб, $h_{\text{вак}}$ катталигини аниқлаймиз.

$$h_{\text{вак}} = \frac{p_w - p_a}{\gamma} = -\frac{p}{\gamma}. \quad (2.56)$$

Демак, босимлар фарқига мос келувчи муҳит вакуум деб аталиб, бунга мос келувчи баландлик эса *вакуумметрик баландлик* дейилади. Таъкидлаш керакки, атмосфера босимидан кичик қийматдаги босимга эга бўлган муҳит вакуум дейилади.

2.7. СУЮҚЛИКНИНГ ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГИЯСИ. ПОТЕНЦИАЛ НАПОР*

Айтайлик, 2.5-расмда 00 таққослаш текислигини ўтказамиз. m нуқтада G оғирликка эга бўлган суюқлик P найча орқали h_m баландликка кутарилади. Демак, кўрилатган ҳажмдаги суюқлик маълум ишни бажариши мумкин.

* Напор — суюқлиқли муҳитнинг маълум чуқурлигида жойлашган ихтиёрин нуқтадаги босим таъсири остида унинг кўтарилиш баландлиги бўлиб, узунлик бирлигида ўлчанадиган катталиқдир. Шу сабабли, бу катталиқни нотўғри талқин қилмаслик мақсадида муаллифлар бу тушунчани таржимасиз ўз ҳолида қолдиришди.

Ўзининг тушиши ҳисобига z баландликдан то таққослаш текислигигача бажарган иши қуйидагича аниқланади:

$$(ПЭ)_z = zG. \quad (2.57)$$

Ўз оғирлиги ҳисобига h_m баландликдан тушишда бажарган иши:

$$(ПЭ)_p = h_m G \quad (2.58)$$

Тулиқ бажарилган иш:

$$(ПЭ) = (ПЭ)_z + (ПЭ)_p = zG + h_m G. \quad (2.59)$$

Оғирлигига нисбатан солиштирма энергия:

$$(СПЭ) = \frac{(ПЭ)}{G} = z + h_m = H \quad (2.60)$$

Бу катталиқ *потенциал напор* деб аталади.

Суюқликнинг бирлик оғирлигига мос келувчи баландлик *напор* деб аталади. Бу катталиқ асосан геометрик (z) ва (p) босим напорларига бўлинади.

Тинч ҳолатдаги суюқлик учун қуйидаги тенгламаларни ёзамиз:

$$\begin{aligned} H &= z + \frac{p}{\gamma} = z + \frac{p_A - p_a}{\gamma} = z + \frac{(p_0 + \gamma h) - p_a}{\gamma} = \\ &= (z + h) + \frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_a}{\gamma} = T + \frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_a}{\gamma} = \text{const} \end{aligned} \quad (2.61)$$

$T = \text{const}$ — таққослаш текислигидан юқори сатҳ баландлиги.

Тулиқ потенциал напор деганда эса, атмосфера босимининг таъсири мавжуд бўлмаган муҳитда суюқлик кутариладиган баландлик тушунилади ва H_A ҳарфи билан белгиланади.

2.3. БОСИМ ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИ

Гидростатик босимни ўлчаш учун ишлатиладиган асбобларни икки гуруҳга — суюқликли ва механик асбобларга ажратиш мумкин.

1. Суюқликли асбоблар.

1. Пьезометр (2.7-расм). Пьезометр диаметри унча катта бўлмаган ($d > 5\text{мм}$) ва суюқликнинг капиллярлик хоссаси инобатга олиниб тайёрланадиган шиша найчадир. Найчанинг бир учи очиқ бўлиб, иккинчиси эса босим ўлчанадиган идиш билан туташган бўлади.

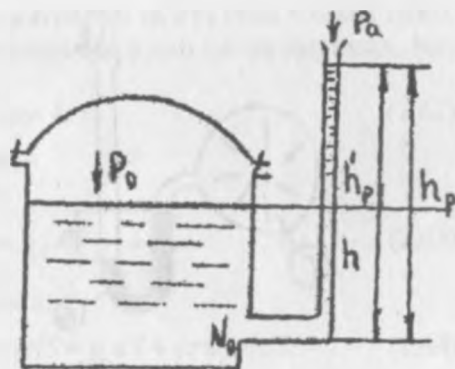
Суюқликдаги босим катталиги шу устун баландлиги билан ўлчанади.

$$\begin{aligned} P_m &= P_0 + \gamma(h'_p + h) = P_0 + \gamma h'_p \\ P_0 &= P_m + \gamma h'_p \end{aligned}$$

бунда h , — пьезометрик баландлик, яъни суюқликнинг уз оғирлиги ҳисобига кутариладиган баландлиги.

Пьезометрлар ёрдамида $0.4 \div 0.5$ ат гача бўлган босимлар ўлчанади.

2. Суюқликли манометрлар (2.8-расм). Пьезометрлардан фарқли улароқ, суюқликли манометрда босим узга суюқлик билан ўлчанади, бу суюқлик одатда босим ўлчанаётган идишдаги



2.7-расм

суюқликка қараганда юқори ҳажмий оғирликка эга бўлади. Бундай суюқлик сифатида, одатда, симобдан фойдаланилади.

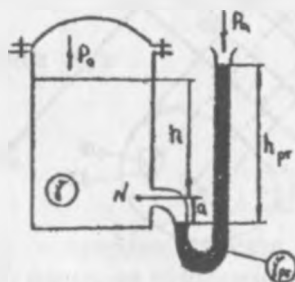
3. Батареясимон манометр (2.9-расм).

4. Дифференциал манометр (2.10-расм). Бу асбоб иккита идишдаги ёки бир идишнинг нуқтасидаги босимни ўлчаш учун ишлатилади. Ўта аниқ ўлчов натижасини олиш учун ёки босим жуда кичик бўлганда микроманометрлар ҳам ишлатилади.

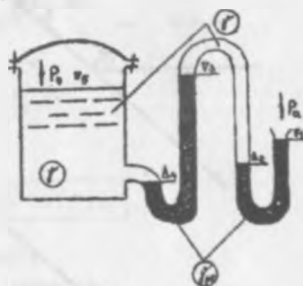
Шуни айтиш керакки, агарда босими ўлчанаётган идишда вакуум бўлса, унда босимни ўлчаш учун вакуумметр ишлатилади.

Одатда, суюқликли асбоб босим юқори бўлмаган ҳолларда қўлланилади, аксарият лабораторияда ишлатилади. Катта босимларни ўлчашда механик манометрлар ишлатилади.

II. Механик асбоблар (2.11-расм).

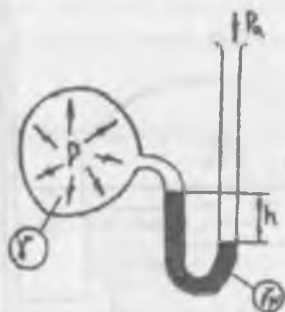


2.8-расм



2.9-расм

Бундай босимни ўлчаш асбобларидан амалиётда пружинали манометрлар кенг ишлатилади. Бу асбоб ичи ковак юпқа мис найчадан иборат бўлиб, унинг бир учи кавшарланган, иккинчи учи эса босими ўлчанаётган суюқликка туширилган бўлади. Босим таъсирида пружина узаяди ва тишли механизм ёрдамида стрелкани ҳаракатта келтиради. Унинг ҳаракатига қараб босимнинг катталиги аниқланади.



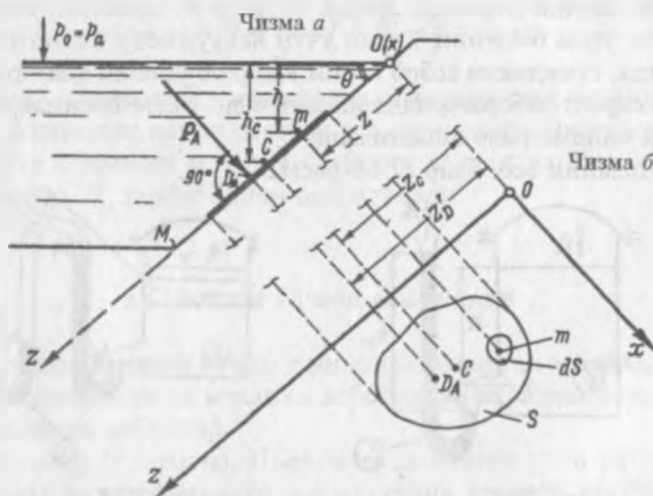
2.10-расм



2.11-расм

2.9. ТЕКИС СИРТГА ТАЪСИР ЭТУВЧИ ГИДРОСТАТИК БОСИМ КУЧИ

Фараз қилайлик, маълум қияликка эга бўлган текис сиртли, деворли ($ОМ$) очик идиш суюқлик билан тўлдирилган (2.12-расм, *a*). Ox ва Oy координаталар системасининг ўқларини белгилаб оламиз. Ox ўқини расм текислигига тик йўналишда (2.12-расм, *b*) қабул қиламиз.



2.12-расм. Ясси қия сиртга таъсир қилувчи суюқлик босими

$ОМ$ деворда ихтиёрий қурилишга эга бўлган S юзани танлаб оламиз. Гидростатик босимнинг биринчи хоссасига асосан, бу юзага таъсир этувчи босимлар унга тик йўналган бўлади, демак, ихтиёрий қурилишдаги S юзага эга бўлган шаклга таъсир этувчи тулиқ гидростатик босим кучи G_A ҳам бу юзага тик йўналган бўлади. Бу кучнинг

катталигини топиш учун шаклда ихтиёрый m нуқтани танлаб олиб, унинг чуқурлиги h ва координатасини эса u деб қабул қиламиз. Бинобарин,

$$h = z \sin \theta, \quad (2.62)$$

бунда θ — идиш ён девори қиялиги.

m нуқта атрофидаги dS юзага

$$d g_A = p_A dS \quad (2.63)$$

куч таъсир этади ёки (2.44) га асосан:

$$dP_A = (p_a + \gamma h) dS = p_a dS + \gamma h dS = p_a dS + \gamma z \sin \theta dS. \quad (2.64)$$

Бу ифодани бутун S юза бўйлаб интеграллаймиз.

$$P_A = p_a \int_S dS + \gamma \sin \theta \int_S z dS. \quad (2.65)$$

Бундан:

$$\int_S dS = S; \quad \int_S z dS = (St)_{\alpha} = z_c S, \quad (2.66)$$

бунда $(St)_{\alpha}$ — текис шаклнинг Ox ўққа нисбатан статик моменти;

z_c — шаклнинг оғирлик маркази координатаси.

(2.66) ифодани ҳисобга олиб, (2.65) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$P_A = p_a S + \gamma S z_c \sin \theta \quad (2.67)$$

ёки

$$z_c \sin \theta = h_c \quad (2.68)$$

бўлганлиги учун

$$P_A = P_a S + \gamma h_c S \quad (2.69)$$

ёки

$$\boxed{P_A = (p_a + \gamma h_c) S = S(p_A)_c}, \quad (2.70)$$

бунда h_c — оғирлик маркази чуқурлиги.

(2.69) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$P_A = P_a + P, \quad (2.71)$$

бунда P_a — атмосфера босими таъсиридаги гидростатик босим кучи.

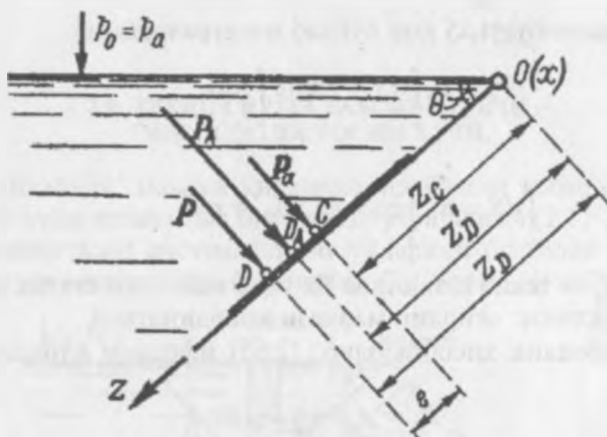
$$P_a = p_a S, \quad (2.72)$$

P — атмосфера босимидан юқори бўлган (оғирлик) босим ҳисобига пайдо бўладиган гидростатик босим кучи.

$$P = \gamma h_c S = p_c S. \quad (2.73)$$

Энди бу кучнинг қўйилиш нуқтасини аниқлаймиз.

Гидростатик босим кучи P нинг қўйилиш нуқтаси шакlining оғирлик маркази билан устма-уст тушади. P кучники эса, ундан пастда, айтийлик, D нуқтада бўлади. P_4 кучнинг қўйилиш нуқтаси эса бу иккаласининг ўртасида бўлади (2.13-расм). D нуқтани топиш учун P ва P кучларнинг геометрик йиғиндисини топамиз.



Шундан кейин D_4 нуқтани топишга имконият яралади. Бунинг учун қуйидаги қоидадан фойдаланамиз. pds кучларнинг $0x$ ўққа нисбатан моментлар йиғиндиси P кучнинг шу ўққа нисбатан моментлар йиғиндисига тенг, яъни

еки

Тұлық ифодаласак,

Бундан

$$z_D = \frac{\int z^2 dS}{S z_C} = \frac{I_{0x}}{(S I)_{0x}} \quad (2.77)$$

Бунда Ox ўққа нисбатан текис шаклнинг инерция моменти:

$$I_{0x} = \int_S z^2 dS; \quad (2.78)$$

$$(S I)_{0x} = S z_C. \quad (2.79)$$

Текис шаклнинг статик моментини, яъни (2.77) тенгламани қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$z_D = \frac{I_{0x}}{(S I)_{0x}} = \frac{I_C + S z_C^2}{S z_C} = z_C + \frac{I_C}{S z_C} \quad (2.80)$$

ёки

$$e = \frac{I_C}{(S I)_{0x}} = \frac{I_C}{S z_C} \quad (2.81)$$

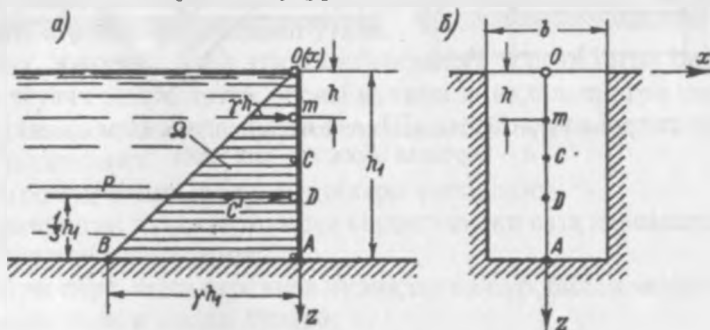
бунда e — эксцентриситет дейилади.

Кучнинг қўйилиш координатаси қуйидаги қўринишга эга:

$$z_D = z_C + e \quad (2.82)$$

2.10. Тўғрибурчак қўринишдаги текис шаклларга таъсир этувчи гидростатик босим кучини аниқлашнинг графоаналитик усули

Бунинг учун OA қўринишдаги b кенгликка эга бўлган шаклни қабул қиламиз (2.14-расм, б). Бунда атмосфера босими ҳисобига пайдо бўладиган гидростатик босим кучини ҳисобга олмасак, фақат оғирлик ҳисобига таъсир этувчи гидростатик босим кучини қарашга тўғри келади. Ихтиёрий m чуқурликда



2.14-расм. Тўғри бурчакли вертикал сирти текис жисмга бир томонлама гидростатик босим таъсири

$$p = gh \quad (2.83)$$

босим мавжуд бўлади.

0 нуқтада эса бу босим

$$p = 0 \quad (2.84)$$

га тенг бўлади. h чуқурликда эса

$$p = \gamma h \quad (2.85)$$

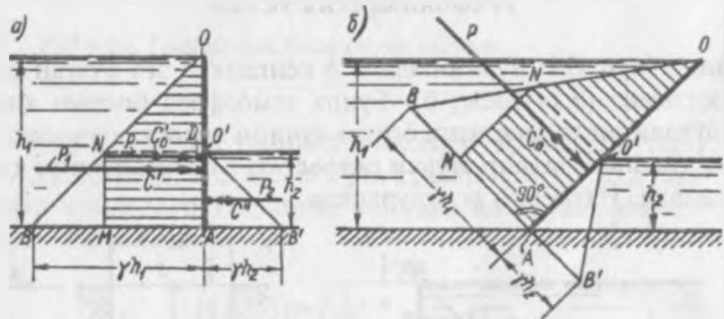
га тенг бўлади.

γh катталикини OA деворга тик йўналишда қўйсак (2.14-расм, б), B нуқта пайдо бўлади, буни O нуқта билан туташтирсак, OAB учбурчак пайдо бўлади. Натижада олинган бу учбурчак *гидростатик босим эпюраси* деб аталади. Бу эпюра гидростатик босимнинг чуқурлик ўзгариши билан ўзгаришини кўрсатади.

Шу учбурчак юзасининг b кенгликка кўпайтмаси бизга P куч катталигини беради.

$$P = \Omega b = \frac{1}{2} h^2 \gamma b \quad (2.86)$$

P куч OA деворга тик йўналган бўлиб, гидростатик босим эпюраси оғирлик марказидан ўтади. Агар тўсиқнинг иккала томонида суюқлик мавжуд бўлса, гидростатик босимлар фарқи аниқланиб, уларнинг оғирлик марказидан гидростатик босим кучининг тенг таъсир этувчиси ўтади. 2.15-расмда $OAMN$ трапециянинг оғирлик марказидан ўтади.



2.15-расм. Тугри бурчакли текис шаклларнинг босим эпюраси:
а — вертикал шакл; б — қия шакл

2.11. ЭГРИ СИРТЛАРГА ТАЪСИР ЭТУВЧИ ГИДРОСТАТИК БОСИМ КУЧИ

Эгри сирт кўринишидаги юзага таъсир этувчи гидростатик босим кучи икки таъсир этувчидан иборат:

— горизонтал ташкил этувчиси P_x — шу сиртнинг ўзига тик бўлган вертикал текисликка таъсир этувчи гидростатик босим кучига қий-
мат жиҳатдан тенг:

$$P_x = p_c \omega = \Omega_{\text{ср}} = \frac{\gamma h^2}{2} b; \quad (2.87)$$

— вертикал ташкил этувчиси P_z — шу сиртнинг босим танасида-
ги суюқлик оғирлигига тенг:

$$P_z = G_{\text{см}} = \gamma W_{\text{см}} = \gamma S_{\text{см}} b, \quad (2.88)$$

бу ерда γ — суюқликнинг ҳажмий оғирлиги;

h — чуқурлик;

$W_{\text{см}}$ — босим танасининг ҳажми;

$S_{\text{см}}$ — босим танасининг юзаси.

Босим танаси деб, эгри сирт ва унинг туташ чизиқларидан сув сатҳига туширилган вертикал текисликлар ҳамда сув сатҳи билан чегараланган ҳажмга айтилади.

Эгри сиртга таъсир этувчи гидростатик босим кучи бу иккала ташкил этувчиларнинг геометрик йиғиндисидан иборат:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}. \quad (2.89)$$

Кучнинг горизонтал ўққа нисбатан қиялиги қуйидаги ифода ёр-
дамида аниқланади:

$$\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x}. \quad (2.90)$$

Эгри сиртга таъсир этувчи горизонтал босим кучининг таъсир чизиғи унинг иккала ташкил этувчиларининг кесишиш нуқтаси ва сиртнинг эгрилик нуқтасидан ўтади.

Демак, юқорида баён этилган фикрларга асосан, эгри сиртларга таъсир этувчи гидростатик босим кучини аниқлашда эгри сиртнинг босим танаси муҳим аҳамиятга эга. Шу сабабли уни қуриш қондаси билан танишамиз.

— эгри сиртнинг туташ нуқталари топилади;

— танланган нуқталардан сув сатҳигача ёки сатҳ давомигача вер-
тикал чизиқлар ўтказамиз;

— эгри сирт, яъни вертикал чизиқлар ва сатҳ билан чегараланган
юза босим танаси юзаси бўлади;

— агар босим танасида сув мавжуд бўлса, у *мусбат босим танаси*
дейилади ва вертикал ташкил этувчи гидростатик босим кучи пастга

йўналган бўлади, акс ҳолда, *манфий босим танаси* дейилади ҳамда куч юқорига йўналган бўлади;

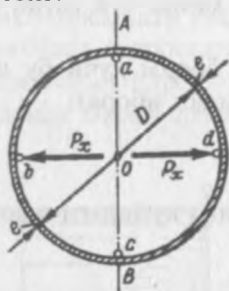
— гидростатик босим кучининг вертикал ташкил этувчиси шу сирт босим танасининг оғирлик танасидан ўтади.

2.12. АЙЛАНА ШАКЛДАГИ ҚУВУР ИЧИДАН ТАЪСИР ЭТУВЧИ ГИДРОСТАТИК БОСИМ КУЧИ

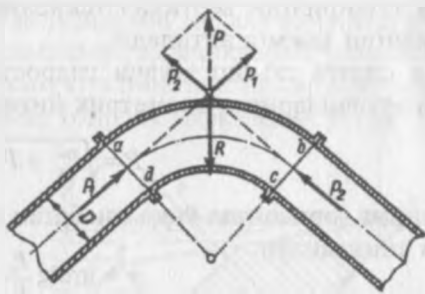
Думалоқ шаклдаги қувурлардаги суюқликларнинг қувур деворларига бўлган гидростатик босим кучини ўрганамиз. 2.16-расмда суюқлик билан тўлдирилган горизонтал қувурнинг кўндаланг кесими кўрсатилган.

Агар $\frac{D}{2}$ у нинг p га нисбатан нихоятда кичиклигини ҳисобга олсак, бутун кесим бўйлаб босимни $p = \text{const}$ деб қабул қилиш мумкин.

Бу босим таъсирида AB ўқ бўйлаб қувур бўлинади деб фараз қилсак, бунда мустаҳкамликни таъминловчи P_x кучга эга бўлишимиз керак. Бу куч abc ёки adc цилиндрик шаклдаги сиртга таъсир этувчи кучга тенг.



2.16-расм. Ички гидростатик босим (P_x)



2.17-расм. Қувурнинг эгилган нуқтасига таъсир этувчи гидростатик босим

$$P_x = Dlp, \quad (2.91)$$

бунда l — қувур узунлиги. P_x куч иккига бўлиниб, йўналганлиги учун қувур қалинлиги аниқланаётганда $\frac{P_x}{2}$ куч қабул қилиниб, ҳисоб олиб борилади.

Бундан ташқари, қувур эгилган ҳолатда ҳам бўлиши мумкин. Масалан, $abcd$ қувур (2.17-расм). Бу шаклдаги қувур P куч йўналишида букилишга интилади. Гидростатик босим кучи икки гидростатик босим кучи айирмаси билан аниқланади. ab йўналишига таъсир этувчи P_1 ва cd йўналишига таъсир этувчи P_2 кучлар. Демак, қувурнинг бу қисми

$$P_1 = \frac{\pi D^2}{4} p \text{ ва } P_2 = \frac{\pi D^2}{4} p \quad (2.92)$$

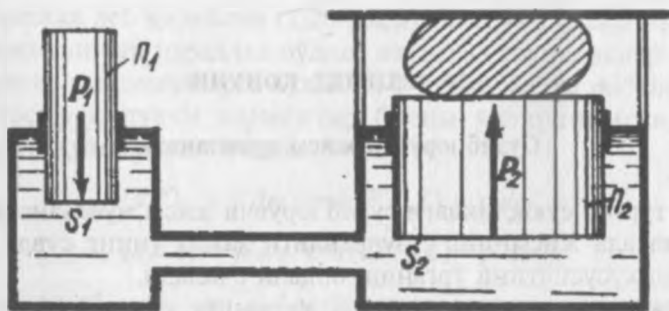
ва реакция кучлари ($/R/=/P/$) таъсири остида мувозанат ҳолатида бўлади. P_1 ва P_2 кучларнинг геометрик йиғиндисидан, асосан, анкер таянчларини жойлаштириш вазиятларини аниқлашда фойдаланилади.

2.13. ЭНГ ОДДИЙ ГИДРАВЛИК МАШИНАЛАР

Машинасозлик амалиётида босимни узатишда аксарият ҳолларда суюқликлардан фойдаланилади. Бундай принципда ишлатиладиган ускуналар *гидравлик машиналар* дейлади. Гидравлик пресслар, мультипликаторлар, гидравлик машиналар бошқарув системалари, кутаргичлар, домкратлар шулар жумласига киради.

Ҳар хил конструкцияга эга бўлган ва турли йўналишларда ишлатиладиган бу машиналарда, асосан, бир хил ифодага асосланган қонуниятдан фойдаланилади. Суюқликнинг ихтиёрий нуқтасига берилган ташқи босим унинг бошқа ҳамма нуқталарига ўзгаришсиз узатилади.

Юқорида қайд этилган машиналарнинг айримлари билан танишамиз.



2.18-расм. Гидравлик пресс

2.18-расмда гидравлик пресс тасвирланган. Юқоридаги қоидага асосан S_1 юзали Π_1 поршенга P_1 куч қўйилса, S_2 юзали Π_2 поршень куйидаги куч билан юқорига таъсир этади.

$$P_2 = P_1 \frac{S_2}{S_1}, \quad (2.93)$$

чунки,

$$\frac{P_1}{S_1} = \frac{P_2}{S_2} = p. \quad (2.94)$$



2.19-расм. Мультипликатор

Бу асбоб ёрдамида P_1 куч ($S_2 : S_1$) марта оширилади. Амалий ҳисобларда қурилманинг ҳаракатланувчи қисмлари ишқаланиши ҳам ҳисобга олинади.

2.19-расмда эса мультипликатор тасвирланган, агар A камерада p_1 бўлса, B камердаги p_2 босим ажратилса, қуйидаги шарт бажарилиши керак:

$$p_2 S_2 = p_1 S_1, \quad (2.95)$$

бунга асосан

$$p_2 = p_1 \frac{S_1}{S_2}. \quad (2.96)$$

Мазкур қурилма ёрдамида босим ($S_1 : S_2$) мартаба оширилади.

2.14. АРХИМЕД ҚОНУНИ

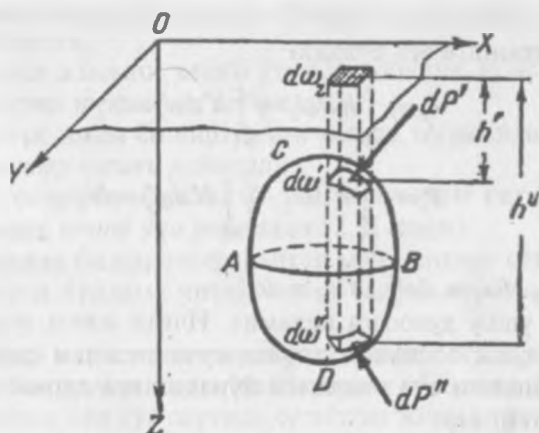
Сузиб юривчи жисм мувозанати

Тинч турган суёқликдаги сузиб юривчи жисм мувозанати туғри-сидаги масала жисмнинг сузувчанлиги ҳамда унинг сувда ботмай тура олиш хусусиятини ўрганиш орқали ечилади.

1. Маълум куч таъсири остида жисмнинг сузиши унинг сузувчанлигини билдиради. Масалан, кемалар сузувчанлик захирасига эга бўлиши керак. Сузувчанлик захираси деганда, кеманинг сув устидаги қисми ҳажмидаги сув оғирлигига тенг бўлган қўшимча оғирлик тушунилади.

2. Эгилувчанлик, яъни жисмнинг суёқликда эгилгандан кейин дастлабки ҳолатига қайтиш хусусияти тушунилади.

Архимед қонунини қўллашга боғлиқ бўлган бу саволлар асосан, Эйлер, адмирал С. О. Макаров (1848—1904 йиллар), академик А. Н. Крылов (1863—1945) ва бошқаларнинг кемалар назариясига бағишланган ишларида ўз аксини топган. Архимед қонуни суёқлик ичидаги жисм сиртига суёқликнинг босим кучини аниқлашда қўлланилади.



2.20-расм

Азиз ўқувчи, Архимед қонуни ўрта мактаб курсида қуйидагича келтирилади: ҳар қандай қаттиқ жисм суюқликка ботирилганда ўзининг оғирлигига тенг миқдорда суюқликни сиқиб чиқаради.

Жисмнинг сирти ихтиёрий тўғри чизиқнинг фақат икки нуқта-сида кесишади деб қарайлик (2.20-расм). Жисмнинг сиртини координата текислигига параллел бўлган вертикал текислиқлар ёрдамида элементар майдончаларга бўламиз. У ҳолда $d\omega'$ ва $d\omega''$ майдончаларга таъсир қилувчи элементар босим ўқларининг вертикал проекцияси қуйидагича бўлади:

$$(dP')_z = p' d\omega' \cos(dP', Z) = p' d\omega'_z; \quad (2.97)$$

$$(dP'')_z = p'' d\omega'' \cos(dP'', Z) = p'' d\omega''_z, \quad (2.98)$$

бу ерда p' ва p'' — $d\omega'$ ва $d\omega''$ майдонлар оғирлик марказларидаги босим.

$$p' = \gamma h' \text{ ва } p'' = \gamma h'', \quad (2.99)$$

бундан

$$dP'_z = \gamma h' d\omega'_z; \quad dP''_z = -\gamma h'' d\omega''_z. \quad (2.100)$$

Бинобарин, жисм сиртидаги босимнинг Oz ўқидаги проекцияси

$$P_z = \gamma \int_{\omega'_z} h' d\omega'_z - \gamma \int_{\omega''_z} h'' d\omega''_z = -\gamma(W'' - W') = -\gamma W. \quad (2.101)$$

бунда W — жисм сиқиб чиқарган суюқлик ҳажми,
 W' ва W'' — призмаларнинг ҳажми,
 P_z — кутариш кучи.

Элементар босимнинг қолган иккита ўқлардаги проекциялари қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$P_x = \gamma \int \dot{h}' d\omega'_x - \gamma \int \dot{h}'' d\omega''_x = 0; \quad (2.102)$$

$$P_y = \gamma \int \dot{h}' d\omega'_y - \gamma \int \dot{h}'' d\omega''_y = 0, \quad (2.103)$$

бунда $h' = h''$, $d\omega'_x = d\omega''_x$, $d\omega'_y = d\omega''_y$

Натижада ушбу хулосага келамиз. Ичига жисм туширилган суюқликка суюқлик босими кутариш кучи — жисм сиқиб чиқарган суюқлик ҳажмидаги сув оғирлиги йўналишига қарама-қарши миқдори бўйича тенгдир:

$$P = \gamma W, \quad (2.104)$$

бу ерда γ — суюқликнинг ҳажмий оғирлиги,

W — сиқиб чиқарилган суюқлик ҳажми.

Жисмнинг сузувчанлиги

Агар суюқлик ичига туширилган жисм оғирлиги кутариш кучидан кичик, яъни $G < P$ бўлса, у ҳолда жисм қалқиб чиқади. Агар $G > P$ бўлса, жисм чуқади.

Агар

$$G = P = \gamma W \quad (2.105)$$

бўлса, жисм суюқлик ичида муаллақ ҳолда сузиб юради.

Агар жисм суюқлик сиртида сузиб юрса, бунда сув юзасида сузиш дейилади. Аксинча бўлса сув остида сузиш дейилади. Бунда ҳар иккала ҳолатда ҳам кутариш кучи P жисм оғирлигига тенг бўлиши керак.

$$P = G. \quad (2.106)$$

Агар жисм бутун ҳажм бўйича W_1 бир жинсли (масалан, ғўла), ҳажмий оғирлиги γ_1 бўлиб, суюқликда γ ҳажмий оғирлик билан сузиб юрса, сув устида сузиши учун

$$\gamma_1 W_1 = \gamma W, \quad (2.107)$$

бундан

$$\frac{W}{W_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma}. \quad (2.108)$$

Сув устида сузиши учун эса $W_1 = W$ чунончи $\gamma_1 = \gamma$.

Бир жинсли жисмларнинг сув сиртида сузиб юриш ҳолати жисмнинг чуқишини аниқлашда қўлланилади. Сузиб юрувчи жисмларнинг

чўкиши деганда жисм намланган сиртининг энг қуйи нуқтасининг ботиши тушунилади.

Сузиб юрувчи жисмни кесиб ўтувчи суюқлик юзасининг эркин сирти *сузиш сирти текислиги* дейилади.

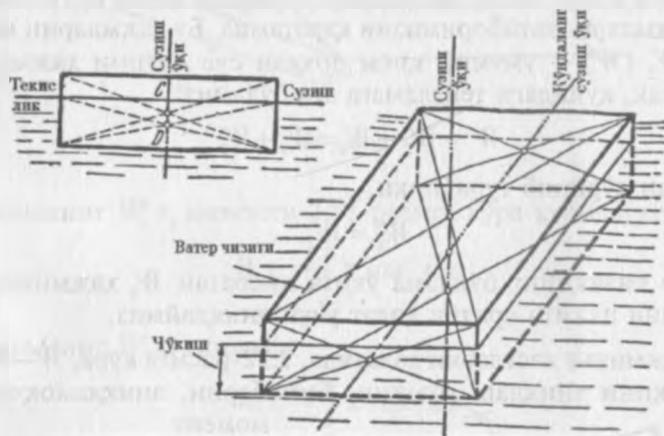
Сузиб юрувчи жисм ён сиртининг сузиш текислиги билан кесишиш чизиғи *ватер чизиғи* дейилади.

Жисмнинг оғирлик маркази C дан ва сувнинг сиғим маркази D дан ўтувчи чизиқ *сузиш ўқи* дейилади (2.21-расм).

Ватер чизиқлар билан чегараланган майдоннинг оғирлик маркази орқали ўтувчи бўйлама чизиқ *ватер чизиғи майдонининг бўйлама ўқи* дейилади.

Бўйлама ўққа перпендикуляр йўналишдаги шу нуқтадан ўтувчи горизонтал чизиқ *ватер чизиғи майдонининг кундаланг ўқи* дейилади.

Агар сув остида ёки сув сиртида сузаётган жисм мувозанатда бўлса, у ҳолда сузиш ёки вертикал ҳолатда бўлиши керак. Келгусида фақат симметрик жисмларнинг сузишини кўриб чиқамиз.



2.21-расм.

Метацентр ва метацентриқ радиус қийматини топиш

Жисм сув юзасида сузиб юрган ҳолатни куриб чиқамиз. Жисм мувозанат ҳолатидан сиртининг бўйлама ўқи атрофида α бурчак остида бурилади. Бунда сувнинг сиғим ҳажми ўзининг олдинги симметрик шакли ва сув сиғим марказини узгартиради, демак, жисм сирти ўқида ётмай янги ҳолатдаги кўтариш кучи P ўтувчи D нуқтага сурилади.

α бурчак нолгача камайганда сузиш ўқининг P кўтариш кучи таъсир чизиғи билан кесишадиган M нуқтага интилувчи M_0 нуқтаси *метацентр* дейилади (*meta* — лот. чегара).

Эгилишнинг кичик бурчакларида ($\alpha < 15^\circ$) M нуқтаси M_0 нуқта билан устма-уст тушади. Демак, D , сувнинг сифими маркази D дан метацинтр (M_0 нуқтага)ча бўлган масофа ρ да эгрилик радиуси чизигига сурилади.

Сув сифим маркази D ва метацинтр орасидаги масофа ρ метацинтрик радиус дейилади:

$$\rho = DM_0. \quad (2.109)$$

M нуқта ва эгрилик радиуси ρ сузиш сиртининг бўйлама ўқи бўйлаб эгилишларда аниқлангани учун уларни қўндаланг метацинтр ва қўндаланг метацинтрик радиус деб атаимиз. Худди шу йўл билан бўйлама метацинтр ва бўйлама метацинтрик радиус аниқланади.

Жисмнинг сувда ботмай туриш хусусиятнинг статик ҳисобларида метацинтрик радиус катталиги муҳим аҳамиятга эга. Шундай қилиб, метацинтрик радиус катталигини аниқлашга ўтамиз.

Иккита ватер чизиқ майдонлари орасида ҳосил булувчи A_1OA ва B_1OB ҳажмларга эътиборимизни қаратамиз. Бу ҳажмларни мос ҳолда W_1 ва W_2 (W_0 — умумий қисм орқали сув сифими ҳажми) тарзда белгиласак, қуйидаги тенгламага эга бўламиз:

$$W = W_0 + W_1 = W_0 + W_2 \quad (2.110)$$

Бундан кўриниб турибдики,

$$W_1 = W_2 \quad (2.111)$$

Ватер чизиқнинг бўйлама ўқига нисбатан W_0 ҳажмнинг статик моментини иккита оралиқ ҳолат учун аниқлаймиз.

W_0 ҳажмнинг дастлабки ҳолатида, 2.22-расмга кўра, $W - W_1$ ҳажмлар фарқини аниқлаш мумкин. Бинобарин, аниқламоқчи бўлган момент

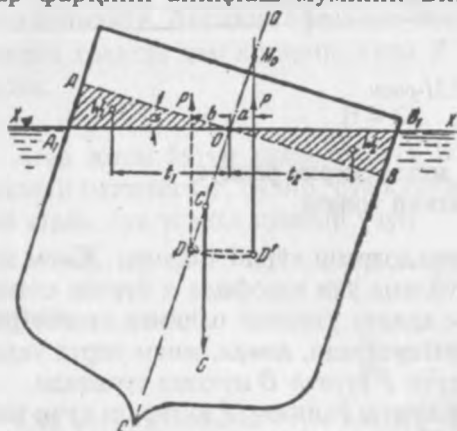
$$W(-b) - W_1(-t_1) \quad (2.112)$$

W_0 ҳажмнинг иккинчи ҳолатида $W - W_1$ фарқни ҳамда изланаётган моментни аниқлаш мумкин:

$$Wa = W_2t_2, \quad (2.113)$$

бунда a, b, t_1, t_2 — тегишли ҳажмларнинг оғирлик маркази координаталари.

Битта ўққа нисбатан W_0 ҳажмда статик момент ифодаси ўзаро тенг.



2.22-расм

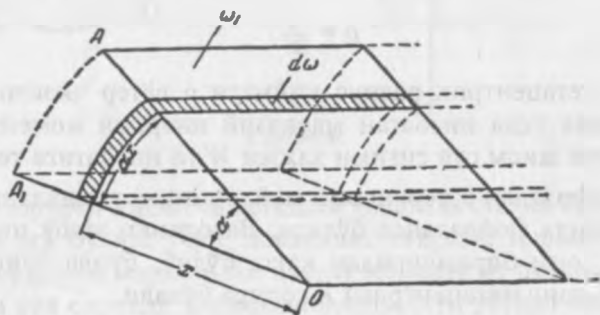
$$W(-b) - W_1(-l_1) = Wa = W_2 l_2 \quad (2.114)$$

бунда $W - W_1$, демак бир хил ҳажмларни W_1 орқали белгиласак, айрим ўзгаришлардан кейин қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$W(a+b) = W_1(l_1 + l_2). \quad (2.115)$$

$(a+b)$ ҳади 2.22-расмга биноан $\rho \sin \alpha$ га тенг, шунинг учун

$$W \rho \sin \alpha = W_1(l_1 + l_2). \quad (2.116)$$



2.23-расм.

W_1 ҳажмнинг $W_1 l_1$ моменти 2.23-расмга кўра қуйидагига тенг:

$$W_1 l_1 = \int_{\omega_1} x \cdot \alpha x \cdot d\omega_1. \quad (2.117)$$

W_2 ҳажмнинг $W_1 l_2$ моменти

$$W_1 l_2 = \int_{\omega_2} x \cdot \alpha x \cdot d\omega_2. \quad (2.118)$$

Шунга асосан

$$W(l_1 + l_2) = \alpha \left(\int_{\omega_1} x^2 d\omega_1 + \int_{\omega_2} x^2 d\omega_2 \right) = \alpha \int x^2 d\omega,$$

бунда ω — ватер чизиқнинг бутун юзаси.

Тенгламанинг ўнг томонидаги интеграл ватер чизиқ майдонининг бўйлама ўққа нисбатан инерция моментидир:

$$\int x^2 d\omega = J_0. \quad (2.119)$$

Шунингдек,

$$W \rho \sin \alpha = \alpha J_0. \quad (2.120)$$

Бундан излаётган метацентрик радиусни топамиз:

$$\rho = \frac{J_0}{W_0} \frac{\alpha}{\sin \alpha}. \quad (2.121)$$

Эгилиш бурчаги α нинг қиймати жуда кичиклигини ҳисобга оладиган бўлсак,

$$\frac{\alpha}{\sin \alpha} = 1, \quad (2.122)$$

у ҳолда

$$\rho = \frac{J_0}{W} \quad (2.123)$$

Демак, метацентрик радиус қиймати ρ ватер чизиги майдонининг бўйлама ўққа нисбатан марказий инерция моменти J_0 нинг сузиб юрувчи жисм сув сифими ҳажми W га нисбатига тенг.

$\rho = \frac{J_0}{W}$ ифодадан ватер чизиги майдонининг кўндаланг ўқи атрофида эгилишда фойдаланса бўлади. Ваҳоланки ушбу инерция моменти ҳар доим биринчисидан катта бўлиб, бунда бўйлама метацентр кўндаланг метацентрдан юқорида бўлади.

Сузувчи жисмнинг сувда ботмай туришининг статик шарт-шаронтлари

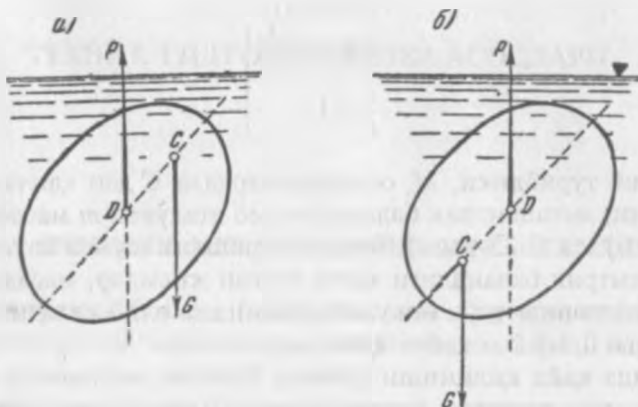
Тинч сувда сузиб юрувчи жисмнинг ўз ҳолатини бироз ўзгартириб яна дастлабки белгиланган ҳолатига қайтиши унинг статик ботмай туриш хусусияти дейилади.

Масалан, кема берилган ҳолатда тўғри бўлиб, бунда симметрия юзаси вертикал ҳолатда бўлади.

Ботмай туриш шартлари қуйидагиларга асосланади (2.33-расм).

Жисм вазни G ва эгилишда жисмга суюқлик томонидан таъсир қилувчи кутариш кучи P эгилишни қайтармоқчи бўлса, у ҳолда жисмнинг берилган ҳолати ботмай турадиган, аксинча, яъни юқорида айтилган икки куч (G , P) эгилишни яна букмоқчи бўлса, жисм берилган ҳолатда ботувчан бўлади. Сузиб юрувчи жисм мувозанатининг икки ҳолатини кўриб чиқамиз.

1. Жисм сув остида ҳаракатланаяпти (сув остида сузиш). Жисмнинг оғирлик маркази C сузиш ўқидаги сув сифим марказидан юқорида ётса (2.24-расм, а), G ва P кучлари эгилишни қатталаштиришга ҳаракат қилувчи жуфтликни ҳосил қилади; агар жисмнинг оғирлик маркази C сув сифими маркази D дан пастда ётса (2.24-расм, б), G ва P кучлари жуфтлиги эгилишни йўқотиб, жисм дастлабки ҳолатга қайтишга ҳаракат қилади. Шундай қилиб, биз сув остида сузганда ботмай туришнинг қуйидаги шартига эга бўлдик:



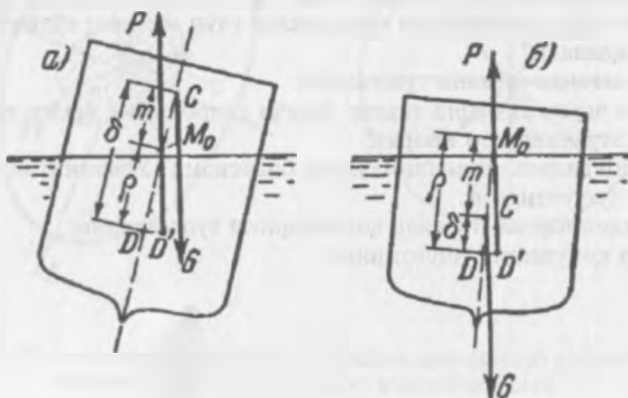
2.24-расм.

— сузиб юривчи жисм сув остидаги ҳолатида статик ботмай туриш хусусиятига эга бўлиш учун, жисмнинг оғирлик маркази C сузиш ўқидаги сув сиғими марказидан пастда жойлашган бўлиши керак.

2. Жисм сув сиртида ҳаракатланаяпти (сув устида сузиш). Агар бундай ҳолатда ҳам юқорида қайд қилинган шартлар бажарилса, у ҳолда жисм шубҳасиз ботмай тура олади.

2.25-расмдан кўриниб турибдики, жисмнинг оғирлик маркази сув сиғими маркази D дан юқорида ётади, лекин M_0 метацентрдан юқорида эмас, чунки охириги ҳолатдагина G ва P кучлари эгилишни оширувчи жувтликни ҳосил қилади (2.25-расм, а). Агар C нуқта D ва M_0 оралиғида ётса, G ва P кучлари эгилишни йўқотишга интилади.

Шундай қилиб, сув сиртида сузиб юривчи жисмнинг ботмай туришини таъминлаш учун оғирлик маркази ва сув сиғими марказлари орасидаги масофа δ метацентрик радиус узунлигидан ρ кичик бўлиши керак.



2.25-расм.

ёки

$$\left. \begin{aligned} \delta < \rho = \frac{J_g}{W} \\ \frac{\delta}{\rho} < 1 \end{aligned} \right\} \quad (2.124)$$

Кўриниб турибдики, M_0 оғирлик маркази C дан қанча юқорида бўлса, яъни, метацентрик баландлик деб аталувчи m масофа қанчалик катта бўлса (2.25-расм), ботмай туришлик шунча катта бўлади.

Метацентрик баландлиги катта бўлган жисмлар, масалан, кемаларни одам ташиш учун ноқулай кўринишга олиб келади. Кўпинча m катталиги 0,3-1,2 м қабул қилинади.

Юқорида қайд қилиниши буйича, буйлама метацентр ҳар доим кўндаланг метацентрдан юқори бўлади. Шунинг учун қачонки, сузиб юривчи жисмнинг кўндаланг ботмай туриши таъминланса, буйлама ботмай туриши шубҳасиз таъминланган бўлади ва буни текшириб кўришга эҳтиёж қолмайди.

Яна бир бор таъкидлаб ўтишимиз жоизки, юқорида олинган ифодалар жисмнинг сувга ботиб турган ҳажмини ўзгартирмайдиган кичик эгилиш бурчаклари учун тааллуқлидир.

Текшириш учун саволлар

1. Гидростатик босим нима? У қандай хоссаларга эга?
2. Гидростатик босим қандай бирликларда ўлчанади? Атмосфера босими нимага тенг?
3. Монометрик ва вакуумметрик босим деганда нимани тушунасиш?
4. Пьезометрик баландлик нима? Унинг физик моҳиятига таъриф беринг. Напор нима?
5. Гидростатик напор ва пьезометрик баландлик тушунчалари ўртасидаги фарқни тушунтириб беринг.
6. Эйлер тенгламасининг маъноси қандай талқин қилиниши мумкин?
7. Очиқ ва ёпиқ идишлардаги суюқликлар учун абсолют тўлиқ босим қандай аниқланади?
8. Вакуум деганда нимани тушунасиш?
9. Текис ва эгри сиртларга таъсир этувчи гидростатик босим кучи қандай ташкил этувчилардан иборат?
10. Энг оддий гидравлик машиналарни биласизми? Уларнинг ишлаш принципини тушунтиринг.
11. Туташ идишлар ва Паскаль қонунларини тушунтиринг.
12. Архимед қонунини тушунтиринг.

III БОБ

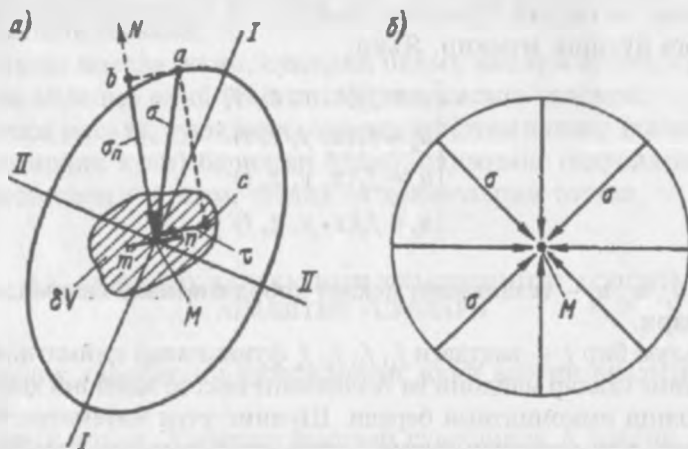
ТЕХНИК ГИДРОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

3.1. ГИДРОДИНАМИК ВА ГИДРОМЕХАНИК БОСИМЛАР

«Гидродинамик босим» (яъни фазонинг бирор нуқтасидаги босим) тушунчаси гидродинамикада асосий тушунчалардан бири ҳисобланади.

Гидродинамик босим. Бизга маълумки, суюқлик ҳаракатланиши натижасида унда τ уринма кучланишларни ҳосил қилувчи ишқаланиш кучлари пайдо бўлади. Шунинг учун ҳаракатланаётган суюқликнинг M нуқтасидаги кучланганлик ҳолати эллипсоид шаклида бўлса, гидростатикадаги «шар шаклидаги кучланиш» (3.1-расм, б) кўринишида эмас, балки уч ўлчамли ҳолатда, икки ўлчамли ҳолатда эса эллипс шаклидаги кучланганлик кўринишида (3.1-расм, а) ифодаланади.

Шу мулоҳазага асосан таъкидлаш мумкинки, σ_n — кучланишнинг тик ташкил этувчиси катталиги реал ҳолатдаги ҳаракат вақтида таъсир этаётган йўналишига ҳам боғлиқдир.



3.1-расм. Тўлиқ муҳитда берилган m нуқтадаги кучланиш а) кучланишлар эллипси; б) кучланишларнинг шарсимон юзаси

Демак, гидродинамикада таъсир майдонига қараб, бу катталиқ қиймати ҳар хил бўлади. Шу билан бирга, гидродинамикада масалалар ечимини соддалаштириш мақсадида, “нуқтадаги гидродинамик босим” — p деган тушунча киритилган. Шартли равишда нуқтадаги гидродинамик босим скаляр деб ҳисобланиб, таъсир этаётган майдон жойлашишига боғлиқ эмас деб қабул қилинади ва уч ўлчамли:

$$p = \frac{1}{3}(|\sigma_1| + |\sigma_2| + |\sigma_3|); \quad (3.1')$$

икки ўлчамли текислик

$$p = \frac{1}{2}(|\sigma_1| + |\sigma_2|) \quad (3.1'')$$

кўринишда аниқланади.

Бунда $|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|$ — кучланишлар модулининг тегишли катталиклари.

Юқоридагига асосланиб, таъкидлаш мумкинки, гидродинамик босим гидростатик босимдан фарқли ўлароқ, ҳаракатланаётган суюқлик босимининг ўртача тақрибий қийматини кўрсатади.

Техник гидродинамика масаласининг умумий қўйилиши. Суюқлик оқимининг асосий гидродинамик характеристикаси сифатида p — гидродинамик босимнинг скаляр катталиги ва заррачанинг ҳаракат тезлигининг (u) вектор катталигини кўрсатиш мумкин. Суюқлик ҳаракатланаётган муҳитнинг турли қўзғалмас нуқталарида босим турли қийматларга эга бўлиши билан биргаликда, вақтнинг турли қийматларида ихтиёрий қўзғалмас нуқтада бу катталиқ турли қийматларга эга бўлиши мумкин. Яъни:

$$\begin{cases} p = f_1(x, y, z, t) \\ u_x = f_2(x, y, z, t) \\ u_y = f_3(x, y, z, t) \\ u_z = f_4(x, y, z, t) \end{cases} \quad (3.2)$$

бунда, u_x, u_y, u_z — тезликнинг декарт координаталар тизимидаги проекциялари.

Маълум бир t_1 — вақтдаги f_1, f_2, f_3, f_4 функциялар қийматини билиш босимнинг скаляр майдони ва тезликнинг вектор майдони ҳақида маълумот олиш имкониятини беради. Шунинг учун математик гидродинамикада p ва u катталиқларни билиш асосий масала ҳисобланади.

Масаланинг бундай қўйилишида f_1, f_2, f_3, f_4 функциялар қийматини ҳисоблаш шу даражада қийин вазифаки, ҳатто реал суюқликни идеал суюқлик деб фараз қилинганда ҳам, масалани ҳал қилиб бўлмайди. Қолаверса, амалиётда бу масалани ниҳоятда аниқ дара-

жада ҳисоблашга эҳтиёж бўлмайди. Шу сабабли техник гидродинамикада (3.2) ифодадан фойдаланилмасдан, гидравлик усулдан кенг фойдаланилади. Гидравлик усул ёрдамида ҳаракатланаётган суюқлик жойлашган муҳитнинг ихтиёрий қўзғалмас нуқтасидаги босимни ва тезликни аниқлаш оқимнинг айрим ўртача ва интеграл характеристикаларига асосланган. Шу усулга асосланиб тузилган асосий тенгламалар қуйидагилардир:

— суюқликнинг сиқилмаслик ва узлуксизлик гидравлик тенгламаси;

— реал ҳолатдаги «бутун оқим» учун кинетик энергиянинг (Бернулли тенгламаси) гидравлик тенгламаси;

— реал ҳолатдаги суюқлик учун ҳаракатлар сони гидравлик тенгламаси;

— суюқликнинг ҳаракатида пайдо бўладиган ишқаланиш кучларининг миқдорини баҳолаш учун эмпирик ва ярим эмпирик ифодалар (Дарси ва Вейсбах ифодалари).

Тенгламаларнинг ҳадларини аниқлаб, уларнинг ёрдамида гидравлик ҳодисаларни таҳлил қилиш натижасида суюқликлар механикасига оид ниҳоятда қийин амалий муаммоларни ҳал қилиш мумкин бўлган техник назарияни яратиш мумкин. Лекин айрим масалаларнинг ечимини топишда бу усуллари суюқликларнинг математик механикаси билан биргаликда қўлланилишини ҳам таъкидлашимиз керак.

Гидродинамиканинг икки хил масаласи. Суюқликнинг ҳаракати билан танишганда, асосан, икки хил масаланинг ечимини топишга тўғри келиши мумкин:

— ташқи масала, яъни, суюқлик оқими маълум бўлиб, суюқликнинг ўзи айланиб оқиб ўтаётган қаттиқ жисмга таъсири;

— ички масала, суюқликка таъсир этаётган кучлар (ҳажмий, масалан, оғирлик кучи) берилган бўлиб, оқимнинг гидродинамик характеристикаси — босим, тезлик ва ҳоказоларни топиш.

3.2. СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИ КУЗАТИШНИНГ АСОСИЙ АНАЛИТИК УСУЛЛАРИ

Суюқлик ҳаракатини кузатишнинг икки асосий аналитик усули мавжуд:

Лагранж усули. Ҳаракатланаётган суюқликда K соҳани ажратиб олиб (3.2-расм), қўзғалмас Ox ва Oz координата ўқларини белгилаймиз. Бошланғич вақтда кириш чегарасидан M_1 , M_2 , M_3 ҳаракатланаётган заррачаларни кўриб чиқамиз. Уларнинг бошланғич координаталарини x_0 ва z_0 деб белгилаб оламиз.

Демак,

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(x_0, z_0, t) \\ z &= f_2(x_0, z_0, t) \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Бу ифодалар ёрдамида ҳар қандай белгиланган заррача траекториясини аниқлашимиз мумкин. Энди заррачанинг dt вақтда босиб ўтган ds масофасини топиб олишимиз мумкин. Бундан ихтиёрий нуқтадаги тезликни топишимиз мумкин. Белгилаб олинган соҳани босиб ўтаётган заррачани босиб ўтиш учун сарфланаётган t вақт давомида кузатишимиз мумкин.

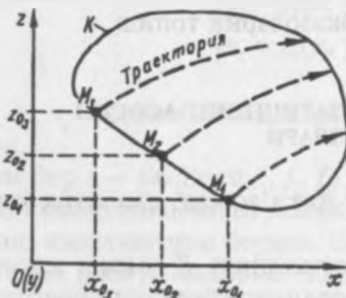
Лагранж фикрига асосан, заррачалар траекторияларининг умумлашган кўриниши орқали оқимни ўрганиш мумкин. Таъкидлаш керакки, x ва z лар суюқлик заррачасининг ўзгарувчан координаталари бўлиб, dx ва dz катталиклар ds катталик проекциялари сифатида қаралиши мумкин.

Демак,

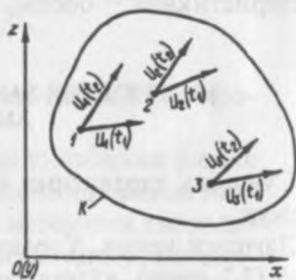
$$u_x = \frac{dx}{dt}; \quad u_z = \frac{dz}{dt}; \quad (3.4)$$

Эйлер усули. Фараз қилайлик, ҳаракатланаётган суюқлик билан муҳитнинг бир бўлагини ажратиб олиш мумкин. Бу бўлакни декарт координаталар тизимига жойлаштириб, унда 1, 2, 3, ... нуқталарни танлаб оламиз. Бунда, x, z — Лагранж усулидаги каби, заррача координаталари эмас, балки, муҳитнинг қўзғалмас нуқталаридир (3.3-расм). t_1 вақт оралиғини кузатадиган бўлсак, 1 нуқтада $u_1(t_1)$, 2 нуқтада $u_2(t_1)$ ва ҳоказо тезликларга эга бўлган заррачалар мавжуд бўлади.

Кўриниб турибдики, t_1 вақтда оқим — тезлик вектори майдонлари кўринишида ифодаланиб, ҳар қайси векторга маълум қўзғалмас нуқта мос келади. Иккинчи бошқа вақт оралиғида 1, 2, 3, ... нуқталар учун $u_1(t_2)$, $u_2(t_2)$, $u_3(t_2)$ ва ҳоказо тезликлар майдонига эга бўламиз.



3.2-расм. Лагранж усулининг
 M_1, M_2, M_3 — суюқлик
заррачалари



3.3-расм. Эйлер усулининг тасвири
1, 2, 3, ... — муҳитнинг қўзғалмас
нуқталари

Умуман, ҳулоса қилиб айтишимиз мумкинки, оқим маълум вақт оралиғида муҳитнинг қўзғалмас нуқталаридаги заррачаларининг тезлик майдонлари билан ифодаланади. t_1 ва t_2 вақт оралиқларига мос келувчи тезлик майдонларини ўзаро таққослаш билан айтиш мумкинки, оқим вақт ўтиши билан ўзгаради.

Юқорида таъкидланганидек, x ва z координаталар, Эйлер усулига асосан, муҳитнинг қўзғалмас нуқталари бўлганлиги сабабли, dx ва dz катталикларни ds катталикларнинг проекциялари сифатида қараш мумкин эмас, балки, оддий эркин вазиятлар сифатида қабул қилиниши мумкин. Шу сабабли (3.4) ифодани мазкур вазият учун қўллаб бўлмайди.

Суюқлик ҳаракатини тадқиқ қилишнинг гидравликада қўлланиладиган усули. Лагранж усули ўзига хос мурраккаблиги сабабли амалиётда кенг қўлланилмайди. Бундан кейин, асосан, Эйлер усулидан фойдаланамиз. Бунда, биз, суюқлик заррачаси ҳаракатини кўрилатган нуқтадан ўтгунга қадар бўлган dt вақт давомида кузатамиз. Масалани бундай қўйилишида муҳитнинг ҳар қандай нуқтасида жойлашган заррача dt вақт давомида ташкил этувчилари dx ва dz бўлган ds масофани босиб ўтади, деб қабул қилишимиз мумкин. Шу сабабли, u_x ва u_z тезлик ташкил этувчиларини аниқлаш учун (3.4) ифодадан фойдаланиш мумкин.

3.3. ИДЕАЛ ҲОЛАТДАГИ СУЮҚЛИКЛАР ҲАРАКАТИНИНГ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ (ЭЙЛЕР ТЕНГЛАМАСИ)

Гидростатика бўлимини ўрганиш жараёнида бирлик массага нисбатан олинган суюқликнинг нисбий тинч ҳолати учун дифференциал тенглама билан танишган эдик. Агар бу тенгламага, Даламбер таълимотига асосан, суюқликнинг бирлик массасига нисбатан олинган инерция кучини ифодаловчи ҳадни киритсак, идеал суюқлик ҳаракатининг дифференциал тенгламасини олишимиз мумкин. Инерция кучининг бирлик массага нисбатан қийматини I деб, ташкил этувчиларини эса I_x, I_y, I_z деб белгилаб оламиз.

$$I_x = -1 \frac{du_x}{dt}; \quad I_y = -1 \frac{du_y}{dt}; \quad I_z = -1 \frac{du_z}{dt}; \quad (3.5)$$

бунда $\frac{du_x}{dt}, \frac{du_y}{dt}, \frac{du_z}{dt}$ катталиклар – тезланишнинг ташкил этувчилари.

Инерция кучи тезланишга нисбатан тескари йўналганлиги сабабли (3.5) ифодалар олдида манфий ишора қатнашмоқда. (2.15) тенгламага суюқ параллелепипеднинг инерция кучининг $0x, 0y, 0z$ ўқларга нисбатан проекцияларини $(\rho, dx, dy, dz) I_x, (\rho, dx, dy, dz) I_y, (\rho, dx, dy, dz) I_z$ кўринишларда (2.16) тенгламага қўйсак, қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{du_x}{dt} \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{du_y}{dt} \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{du_z}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Бу тенгламалар Эйлер тенгламаси дейилади.

(3.2) ифодани ҳисобга олиб қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \frac{dz}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial t} \quad (3.7)$$

Эйлер усули учун (3.2) ифодани ҳисобга олиб ва (3.4) ифодани назарда тутиб, Эйлер тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t} \\ \frac{du_y}{dt} &= u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_y}{\partial t} \\ \frac{du_z}{dt} &= u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

(3.8) системага кирувчи тезлик проекцияларининг хусусий ҳосилаларидан қуйидагилари тўғри ёки бўйлама ҳисобланади:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x}; \quad \frac{\partial u_y}{\partial y}; \quad \frac{\partial u_z}{\partial z}.$$

қолганлари эса эгри ёки кўндаланг хусусий ҳосилалар ҳисобланади.

Эгри ёки кўндаланг хусусий ҳосилаларнинг физик маънолари билан танишамиз. $\frac{\partial u_x}{\partial x}$ хусусий ҳосилани кўриб чиқамиз.

х ўқда ab бўлакни оламиз, (3.4-расм) бу бўлак a ва b суюқлик заррачаларини бирлаштириб, улар орасидаги масофа dx га тенг. Бу бўлак dt вақтда $a'b'$ масофага қўчиб ўтади, шу билан биргаликда a заррача aa' масофани ҳам босиб ўтади:

$$\overline{aa'} = u_z dt \quad (3.9)$$

b заррача эса bb' масофани босиб ўтади:

$$\overline{bb'} = u'_z dt = (u_z + \frac{\partial u_z}{\partial x} dx) dt, \quad (3.10)$$

бунда u_z , u'_z — заррачаларнинг z ўқи бўйлаб ҳаракати.

$$u'_z = u_z + \frac{\partial u_z}{\partial x} dx \quad (3.11)$$

Демак, $\overline{aa'} \neq \overline{bb'}$ бўлганлиги сабабли, dt вақтда ab бўлак нафақат илгариланма, балки, ўз ўқи атрофида айланма ҳаракат ҳам қилади.

Демак,

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(d\alpha) &= \frac{\overline{a'b'}}{a'c} = \frac{u'_z dt - u_z dt}{dx} = \\ &= \frac{\frac{\partial u_z}{\partial x} dx dt}{dx} = \frac{\partial u_z}{\partial x} dt \end{aligned} \quad (3.12)$$

бунда $d\alpha$ ниҳоятда кичик бўлганлиги учун, $d\alpha = \operatorname{tg} d\alpha$ деб қабул қилинади:

$$d\alpha = \frac{\partial u_z}{\partial x} dt \quad (3.13)$$

ёки

$$\frac{\partial u_z}{\partial x} = \frac{d\alpha}{dt} \quad (3.14)$$

Бундан хулоса қилиш мумкинки, кўрилатган хусусий ҳосила ab бўлакнинг u ўқи атрофида айланиш тезлигини беради. Қуйидаги олти хусусий ҳосила ҳақида ҳам худди шундай мулоҳаза юритиш мумкин:

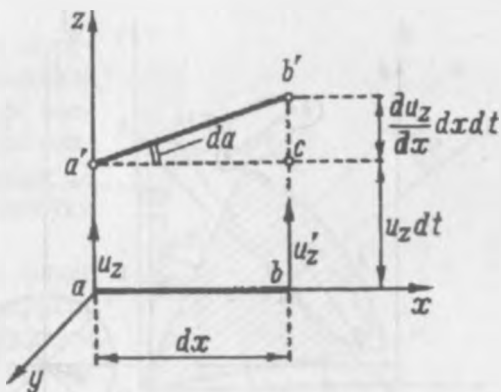
$$\frac{\partial u_x}{\partial y}; \quad \frac{\partial u_y}{\partial x}; \quad \frac{\partial u_y}{\partial z}; \quad \frac{\partial u_z}{\partial y}; \quad \frac{\partial u_z}{\partial x}; \quad \frac{\partial u_x}{\partial z} \quad (3.15)$$

Бунда биринчи икки ҳад u_x текисликда (z ўққа нисбатан) бурчак тезликни англатса, кейинги иккитаси u_z текисликда x ўққа нисбатан бурчак тезликни, кейинги иккитаси эса xz текисликда y ўққа нисбатан бурчак тезлигини беради.

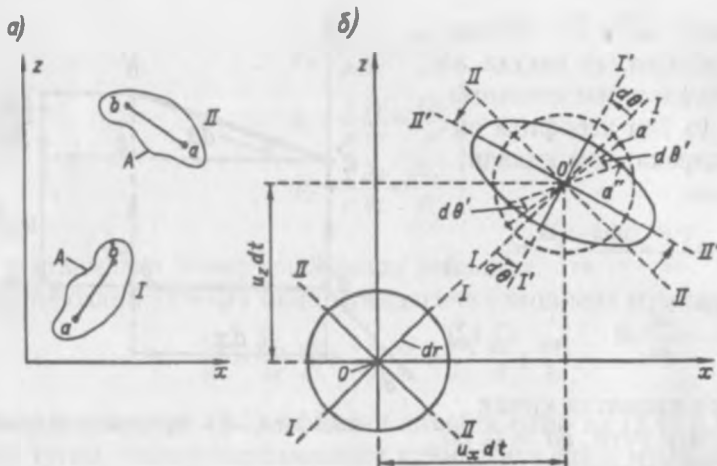
3.4. СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИНГ АСОСИЙ УЧ КЎРИНИШИ. БУРАМА (ВИХРЛИ) ВА НОБУРАМА (ВИХРСИЗ) ҲАРАКАТЛАР ҲАҚИДА ТУШУНЧА

А қаттиқ жисмни олиб, унинг ихтиёрий a ва b нуқталарини танлаб оламиз (3.5-расм, a) ва уларни тўғри чизик орқали бирлаштирамиз. Ҳаракат давомида чизик ўз узунлигини ўзгартирмайди, шу сабабли ҳар қандай қаттиқ жисмнинг ҳаракатини икки хил ҳаракат йиғиндисидан иборат деб қабул қилиш мумкин:

- илгариланма ҳаракат, ab чизик ўз йўналишини сақлаб қолади.
- айланма ҳаракат, ab чизик a нуқтага нисбатан айланади.



3.4-расм. ab — бўлакнинг айланиши



3.5-расм. Ҳажмли суюқлик ҳаракатининг турлари. а) қаттиқ jisм ҳаракатининг икки тури; б) суюқлик элементар ҳажми ҳаракатининг уч тури

Суюқлик ҳаракатланаётганда эса ab чизик узунлиги ўзгарувчан бўлади. Ҳаракатланаётган суюқлик шакли ҳам ўзгарувчан бўлади. Худди шу ҳолатлар суюқлик ҳаракатини анча мураккаблаштиради. Умуман, элементар ҳажмдаги суюқлик ҳаракатини уч хил ҳаракат йиғиндиси шаклида қараш мумкин:

- илгариланма;
- айланма;
- деформацион ҳаракатлар.

3.5-расм, б да ифодаланган dr радиусдаги элементар ҳажмнинг dt вақт ичида 0 нуқтадан 0' нуқтагача ҳаракатини куриб, урта ҳаракатни кузатишимиз мумкин.

— илгариланма ҳаракат ёрдамида 0 нуқта 0' нуқтага dt вақтда ўтади;

— айланма ҳаракат ёрдамида I—I ва II—II деформация ўқлари ab бўлак узунлиги ўзгармаган ҳолда $d\theta$ бурчакка бурилади;

— деформацион ҳаракатда эса бу ўқлар қўшимча $d\theta'$ бурчакка бурилиши билан биргаликда узунлигини ҳам ўзгартиради (қисқаради ва узаяди) (3.5-расм, б).

Суюқликнинг бундай уч томонлама ҳаракати Гельмгольц томонидан биринчи бўлиб тадқиқ этилган. Умуман, суюқлик ҳаракатини шартли равишда илгариланма, айланма ва ўз шаклини вақт давомида ўзгартириб турувчи заррачалар тўпламидан иборат деб қабул қилиш мумкин. Айланма ҳаракатни ўрганишга чуқурроқ тўхталамиз. Оний ўқ атрофида заррача ҳаракатининг бурчак тезлигини W ва унинг ташкил этувчиларини Ω_x , Ω_y , Ω_z деб белгилаб оламиз. Энди бу таш-

кил этувчиларга мос келувчи шартларни белгилаб оламиз. Шу мақсадда, туғри призма шаклидаги abc элементар ҳажми (3.6-расм) танлаб оламиз, cab бурчак биссектрисасини aA деб, abc ҳажми бош деформация уқи деб белгилаймиз.

Илгариланма ҳаракат йўқ, фақат айланма ва деформацион ҳаракат мавжуд деб фараз қиламиз. abc ҳажм ҳаракатланганда a нуқта ўзининг бошланғич вазиятини ўзгартирмасдан dt вақтда қуйидаги ўзгаришлар бўлиши мумкин:

— aA биссектриса $d\theta$ бурчакка бурилиб aA' вазиятга эга бўлиб, abc ҳажм $ab'c'$ га ўзгаради;

— деформация натижасида $ab''c''$ ҳажми қабул қилади. Бунда, яъни деформация жараёнида aA' биссектриса ўз йуналишини сақлаб қолади, бурилмайди.

Бунни ҳисобга олган ҳолда қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} d\theta_1' &= d\theta_2'; \\ d\alpha_1 - d\theta &= d\alpha_2 - d\theta; \\ d\theta &= \frac{1}{2}(d\alpha_1 - d\alpha_2), \end{aligned} \quad (3.16)$$

бунда $d\alpha_1$ ва $d\alpha_2$ — ab ва ac бўлакларнинг бурилиш бурчаклари (3.6-расм).

(3.16) системадаги учинчи тенгламани dt вақтга бўлиб, $\left(\frac{d\theta}{dt}\right) abc$ элементар суюқлик ҳажмининг aA бош деформация уқи атрофида у нуқтага нисбатан ўртача бурчак тезлигини аниқлаймиз.

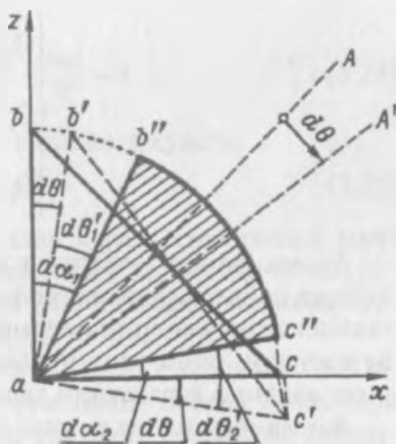
$$\frac{d\theta}{dt} = \Omega_i; \quad (3.17)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{d\alpha_1}{dt} - \frac{d\alpha_2}{dt} \right); \quad (3.18)$$

бунда

$$\frac{d\alpha_2}{dt} = \frac{\partial u_z}{\partial x} \quad \text{ва} \quad \frac{d\alpha_1}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial z} \quad (3.19)$$

(3.18) ва (3.19) ифодаларни (3.17) га қўйиб, Ω_i нинг охириги кўринишига эга бўламиз, қолган ташкил этувчиларни ҳам шу тарзда оламиз:



3.6-расм. Элементар ҳажми суюқликнинг айланиши ва деформацияланиши

$$\begin{cases} \Omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \\ \Omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \\ \Omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \end{cases} \quad (3.20)$$

Бурчак тезлик — (Ω) нинг индекслари x, y, z — шу ўқлар ёки шу ўқларга параллел ўқлар атрофидаги айланишни кўрсатади. $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$ ташкил этувчиларининг геометрик йиғиндиси Ω катталикини бериб, бу катталик оний ўққа нисбатан қўрилатган элементар суюқликнинг айланма ҳаракатини характерлайди.

Вихрли (бурама) ва вихрсиз (нобурама) ҳаракатлар. Тезликлар компонентларидан хусусий ҳосилани ҳисоблаб, (3.20) ифодага қўйиб, бурчак тезлик ташкил этувчиларининг нолга тенглигини кўрамиз. Бундай хусусий ҳолат — илгариланма ва деформацион ҳаракатлар мажмуи билан характерланади. Бунда, суюқликнинг элементар ҳажми чексиз кичик масофани босиб ўтганда, ўзининг оний ўқиға нисбатан ҳаракатланмайди. Шу сабабли, икки хил ҳаракат бўлиши мумкин:

— элементар ҳажмнинг бош деформацион ўқи ниҳоятда чексиз кичик масофада фақат илгариланма ҳаракат қилса, бундай ҳаракат вихрсиз ҳаракат дейилади.

— агар ҳаракатда $\Omega \neq 0$ бўлса, яъни бош деформацион ўқ, чексиз кичик масофаға ўтишда айланса, вихрли ҳаракат дейилади.

3.5. ТЕЗЛИК ПОТЕНЦИАЛИ. СУЮҚЛИКНИНГ ПОТЕНЦИАЛ ҲАРАКАТИ

Юқорида таъкидлаганимиздек, ҳаракатланаётган суюқлик жойлашган муҳитни тезлик векторлари майдони сифатида қараш мумкин. Бу майдон потенциал, яъни, $\varphi(x, y, z)$ функцияға мос келувчи ва қуйидаги хоссаға эга бўлган хусусий ҳолат билан танишамиз.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = u_x; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = u_y; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial z} = u_z \quad (3.21)$$

Биринчи тенгламани y га нисбатан, иккинчисини x га нисбатан дифференциаллаймиз:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = \frac{\partial u_x}{\partial y}; \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = \frac{\partial u_y}{\partial x}; \quad (3.22)$$

бу ифодаларни ўзаро айирсак:

$$\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} = 0 \quad (3.23)$$

Худди шу тарзда:

$$\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} = 0 \quad (3.24)$$

(3.23) ва (3.24) ифодаларни (3.20) тенгламага қўйсақ:

$$\Omega_x = \Omega_y = \Omega_z = 0. \quad (3.25)$$

Бундан хулоса қилиш мумкинки, агар қаралаётган тезлик майдонлари потенциал функцияга эга бўлса, яъни потенциал бўлса, суюқлик заррачаларининг деформацион бош ўқининг айланиш бурчак тезликлари нолга тенг бўлиб, вихрсиз тезлик бўлади.

Демак, суюқликнинг вихрсиз ҳаракати доимо потенциалдир. Потенциал ҳаракат бўлган ҳолатда (3.25) функцияга ташкил этувчилари мос келувчи ва маълум бошланғич ҳамда чегаравий шартларни қаноатлантирувчи φ функцияни топишга тўғри келади. Агар вихрли ҳаракат ўрганилганда бундан ташқари вақт ва координатага боғлиқ яна икки функцияни топишга тўғри келишини ҳисобга олсак, вихрсиз ҳаракат нисбатан анча осонроқ масалалигига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

3.6. СУЮҚЛИКНИНГ БАРҚАРОР ВА БЕҚАРОР ҲАРАКАТЛАРИ

Бундай ҳаракат турлари ҳақида тушунча ҳосил қилишимиз учун 3.7-расмда ифодаланган a_1 , b_1 ва a_2 , b_2 чизиклар билан чегараланган суюқлик оқими билан танишамиз. Расмда ифодаланган муҳитда 1 қўзғалмас нуқта танлаб, бу нуқта орқали бир неча суюқлик заррачалари (M)нинг ҳаракатини кузатамиз.

Бу қўзғалмас нуқтадан t' вақтда M' заррача, t'' вақтда M'' заррача ва ҳоказолар мос равишда u' , u'' , ... тезликлар билан ўтади. Агар суюқлик ҳаракатланаётганда муҳитнинг бирор нуқтасидаги тезлик вақт давомида ўзгариб турса, бундай ҳаракат беқарор ҳаракат дейилади.

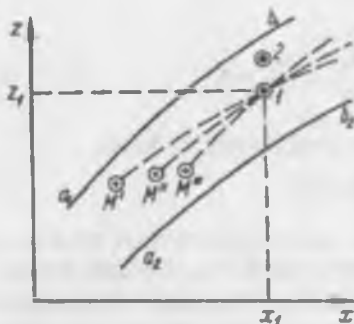
$$u = f_1(x, y, z, t). \quad (3.26)$$

Суюқлик ҳаракати давомида, у ҳаракатланаётган муҳитнинг ҳар бир нуқтасида тезлик вақт ўтиши билан ўзгармаса, бундай ҳаракат барқарор ҳаракат дейилади.

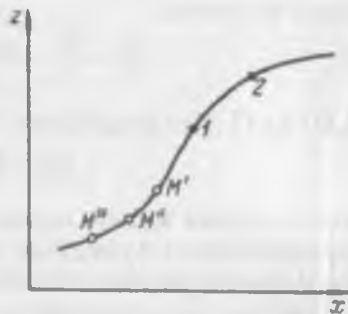
Бир қўзғалмас нуқтадан ўтаётган M заррачаларнинг ҳаракат траекториялари устма-уст тушади (3.8-расм) ва вақт давомида улар ўзгаради.

Беқарор ҳаракатда икки хил ҳолат бўлиши мумкин:

— алоҳида айрим нуқталарда тезликнинг секин ўзгарганлиги сабабли $\frac{\partial u_x}{\partial t}$, $\frac{\partial u_y}{\partial t}$ ва $\frac{\partial u_z}{\partial t}$ ҳадларни ҳисобга олмаслик мумкин, бундай ҳолатдаги ҳаракат секин ўзгарувчан ҳаракат дейилади;



3.7-расм. Суюқлик заррачаларининг беқарор ҳаракати



3.8-расм. Суюқлик заррачаларининг барқарор ҳаракати

— алоҳида айрим нуқталарда тезликнинг тез ўзгариши билан кузатиладиган ҳаракат эса тез ўзгарувчан ҳаракат дейилади.

3.7. ОҚИМ ЧИЗИҒИ ВА ЭЛЕМЕНТАР ОҚИМЧАЛАР ТЎПЛАМИ

1. Барқарор ва беқарор ҳаракатлар билан танишамиз:

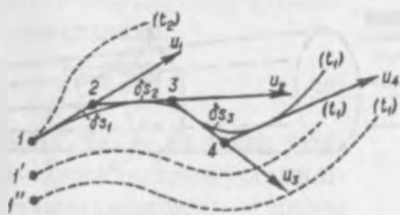
Барқарор ҳаракат. Оқимнинг бундай ҳаракатида вақт давомида ўзгармайдиган ва ундан суюқлик заррачалари кетма-кет ҳаракатланганидаги траекторияси тушунилади (3.8-расм.), $M''' - M'' - M' - 1 - 2$ чизиқ.

Беқарор ҳаракат. Бундай ҳаракатда суюқлик ҳаракатланаётган муҳитнинг ихтиёрий қўзғалмас нуқталаридан заррачаларнинг тезлик векторларига ўтказилган уринма чизиқ оқим чизиғи деб аталади (3.9-расм).

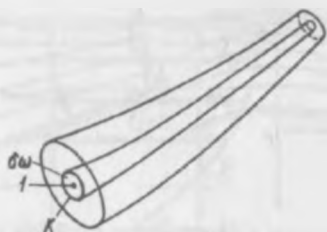
Беқарор ҳаракатда $1, I', I''$ нуқталар орқали ўтувчи оқим чизиқлари ҳаракатнинг оний вазиятини кўрсатади. Вақт ўзгариши билан бу вазият ўзгариши мумкин. Энди оқимнинг ички қисмида танлаб олинган ихтиёрий I нуқта олиб, унинг атрофида $\delta\omega$ элементар юза танлаймиз ва бу юза орқали оқим чизиқларини ўтказамиз. Худди мана шу чизиқлар билан чегараланган муҳитни (3.10-расм) *элементар оқимчалар тўплами* деб атаймиз. Оқимнинг барқарор ҳаракатида элементар оқимчалар тўплами қуйидаги хусусиятларга эга:

— оқимчалар чизиғи барқарор ҳаракатда вақт давомида ўзгармас бўлганлиги сабабли, оқимчалар тўплами шакли ҳам ўзгармасдир;

— элементар оқимчалар тўплами оқим чизиқлари билан чегараланган бўлиб (3.10-расм), улар орқали суюқлик заррачалари сирпаниб ҳаракатланганлиги сабабли, оқимчалар тўплами ичига ташқаридан заррачалар кирмайди ва ичкаридагилари ҳам ташқарига чиқмайди;



3.9-расм. Беқарор ҳаракатдаги оқим чизиги



3.10-расм. Оқим ичида ажратилган оқимчалар тўплами

— $\delta\omega$ элементар юза бўлганлиги сабабли, бутун юза бўйлаб (u) тезлик ва гидродинамик босим ўзгармас бўлиб, узунлик бўйлаб ўзгариши мумкин.

3.8. СУЮҚЛИК ОҚИМИНИНГ ТЕКИС ЎЗГАРМАС, СЕКИН ЎЗГАРУВЧАН ВА ТЕЗ ЎЗГАРУВЧАН ҲАРАКАТЛАРИ. ҲАРАКАТДАГИ КЕСИМ, САРФ ВА ЎРТАЧА ТЕЗЛИК. ТЕЗЛИК ЭПЮРАСИ

Оқимнинг ҳаракатида оқим чизиқларининг тўлиқ параллел кўринишидаги хусусий ҳолати *текис ўзгармас ҳаракати* дейилади. Лекин, амалиётда кўпинча оқим чизиқлари параллеллиги сақланмайди. Бундай ҳаракатлар секин ўзгарувчан ва тез ўзгарувчан ҳаракатларга бўлинади.

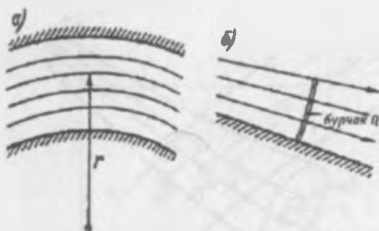
Куйидаги икки шартни қаноатлантирувчи ҳолатдаги оқимнинг ҳаракати *секин ўзгарувчан ҳаракат* дейилади.

— r — оқим чизигининг эгрилик коэффиценти (3.11-расм, а).

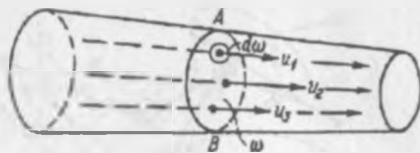
— кўрилаётган оқимнинг оқим чизиқлари ташкил этган (θ) бурчаги нолга яқин қийматга ёки нолга тенг бўлиши керак (3.11-расм, б). Бу иккала шартдан ихтиёрий бири бажарилмаган ҳолатдаги суюқлик ҳаракати тез ўзгарувчан ҳаракат дейилади.

Ҳаракатдаги кесим. Элементар оқимчалар тўпламининг оқим чизиқлари перпендикуляр бўлган (AB) юза (3.12-расм) *ҳаракатдаги кесим* деб аталади. Бу ω ҳарфи билан белгиланиб, юза ўлчов бирликларида ўлчанади. Текис ўзгармас ҳаракатда бу кесим текис бўлиб, текис ўзгарувчан ҳаракатда текис кўринишга ўхшаш шаклга эга бўлади (3.13-расм). Текис ўзгарувчан оқимларнинг ҳисоби бажарилганда, бу кесим текис шаклда деб қабул қилинади.

AB кесимда жойлашган m нуқтадаги заррача тезлик u ни $A'B'$ кесимга перпендикуляр u_n ташкил этувчига ва $A'B'$ кесимда ётувчи u_τ ташкил этувчиларга ажратамиз. Бунда u_τ тезлик ташкил этувчиси ва унинг тезланиши w_τ ни ҳисобга олмасдан



3.11-расм. Суюқликнинг секин ва тез ўзгарувчан ҳаракатига доир



3.12-расм. A-B кўндаланг кесим юзаси



3.13-расм. AB кесимни текис ҳисобий кесим A'-B' билан алмаштириш

$$u_n \approx u; \quad w_n \approx w$$

кўринишда ёзиш мумкин.

Бунда w — m нуқтадаги тезланиш, w_n — унинг $A'B'$ юзага нисбатан проекцияси.

Суюқлик сарфи. Ҳаракатдаги кесимдан бирлик вақт оралиғида ўтган суюқлик ҳажми **суюқлик сарфи** дейилади. Бу катталик Q ҳарфи билан белгиланиб, қуйидаги ўлчов бирликларида ўлчанади, м³/с, дм³/с, л/с.

Ҳаракатдаги кесимнинг элементар юзасини $d\omega$ деб белгилаб олсак, унда элементар сарфни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$dQ = u d\omega \quad (3.27)$$

Ҳаракатдаги кесим бўйлаб, тезлик бир хил эмаслигини ва (3.27) ифодани этиборга олиб,

$$Q = \int_S u d\omega \quad (3.28)$$

деб ёзиш мумкин. Бунда, интеграл ω эгри кесим юзаси бўйлаб олинади.

Ўртача тезлик. Юқорида таъкидланганидек, тезлик ҳаракатдаги кесимнинг турли нуқталарида турличадири (3.12-расм):

$$u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq \dots$$

Шу сабабли ўртача тезлик деган тушунча киритилади ва v ҳарфи билан белгиланади.

$$v = \frac{Q}{\omega}; \quad v = \frac{\int u d\omega}{\omega} \quad (3.29)$$

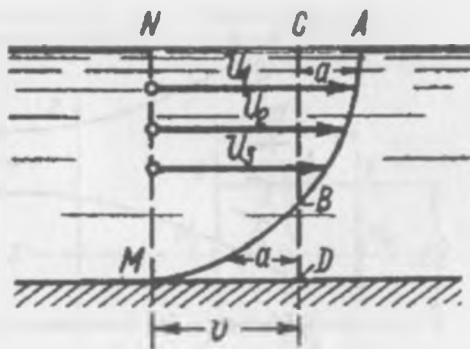
Шунга асосан, сарф қуйида-
гича аниқланади:

$$Q = \omega v \quad (3.30)$$

Демак, текис ва текис ўзга-
рувчан ҳаракатларни ўрганиш-
да қўлланиладиган v — ўртача
тезлик деганда шу кесимдаги
мавжуд тезликларнинг ўртача
арифметик қиймати тушуни-
лади.

Тезлик эпюраси. Фараз қи-
лайлик, 3.14-расмдаги вертикал

MN — бирор ҳаракатдаги кесимга мос келади. Бу кесимда турлича
 $u_1, u_2, u_3, \dots$, тезликлар мавжуд. Бу тезлик векторлари охирини ўзаро
бирлаштириб, $ABMN$ шаклни оламиз, бу шакл u тезликнинг MN вер-
тикал бўйлаб тақсимланиш тезлигини кўрсатади. Бу шакл тезлик
эпюраси дейилади. Шакл юзасини Ω ҳарфи билан белгилаймиз. Кури-
лаётган кесимнинг ихтиёрий тезликлари учун эпюра бир хил бўлган-
лиги сабабли



3.14-расм. u тезлик эпюраси (қ. $ABMN$)
 v — ўртача тезлик

$$Q = \Omega b, \quad (3.31)$$

бундан,

$$\Omega = \frac{Q}{b}. \quad (3.32)$$

Энди 3.14-расмда CD вертикални шундай вазиятдан ўтказамиз-
ки, бунда $CDMN$ юза катталиги Ω юзага тенг бўлади.

3.9. СУЮҚЛИКНИНГ БАРҚАРОР ҲАРАКАТИДА УЗЛУКСИЗЛИК ТЕНГЛАМАСИ

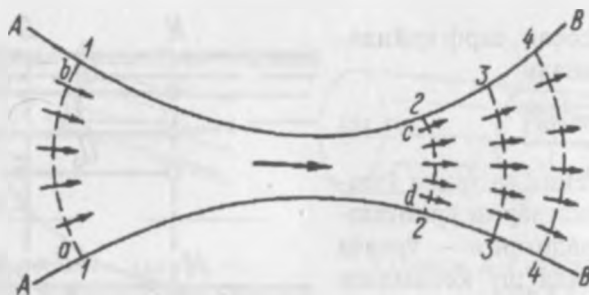
3.15-расмда кўрсатилган оқимни олиб, ундаги $abcd$ бўлакни кўриб
чиқамиз. Бўлак AB сирт билан чегараланган бўлиб, ундан ташқарига
ёки ичкарига оқим кирмайди. Бунда 1—1 ва 2—2 кесимларни белги-
лаб оламиз.

$abcd$ бўлақдан dt вақтда 1—1 кесимга $Q_1 dt$ ҳажмда суюқлик ки-
риб, 2—2 кесимдан $Q_2 dt$ ҳажмда суюқлик чиқиб кетади.

Бунда қуйидаги ҳолатлар ҳисобга олинади:

— $abcd$ бўлаққа AB ён сиртдан суюқлик кирмайди, чунки AB сирт
оқим чизиги билан ташкил топган бўлиб, бу чизиқ бўйлаб суюқлик
заррачалари кетма-кет ҳаракатланади;

— суюқлик сиқилмайди;



3.15-расм. (3.36) тенгламани келтириб чиқаришга доир

— суюқлик узлуксиз ҳолатда ҳаракатланади.

Юқоридаги ҳолатларни ҳисобга олиб ёзиш мумкин:

$$Q_1 dt = Q_2 dt; \quad (3.33)$$

$$Q_1 = Q_2. \quad (3.34)$$

Худди шу тарзда бошқа кесимларни ҳам ёзиш мумкин: 3—3, 4—4 ва ҳоказо

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q = \text{const} \quad (3.35)$$

$$Q = \text{const} \text{ (оқим бўйлаб)} \quad (3.36)$$

(3.36) тенгламага асосланиб, шундай хулоса қилиш мумкин, оқимнинг барқарор ҳаракатида ён томондан қўшимча суюқлик миқдори қўшилмаса, ундаги сарф миқдори узунлик бўйича ўзгармайди.

Оқим секин ва тез ўзгарувчан ҳолатда ҳаракатланганда эса оқимнинг узлуксизлик тенгламасини қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = v_3 \omega_3 = \dots = v \omega = \text{const} \text{ (оқим бўйлаб)} \quad (3.37)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (3.38)$$

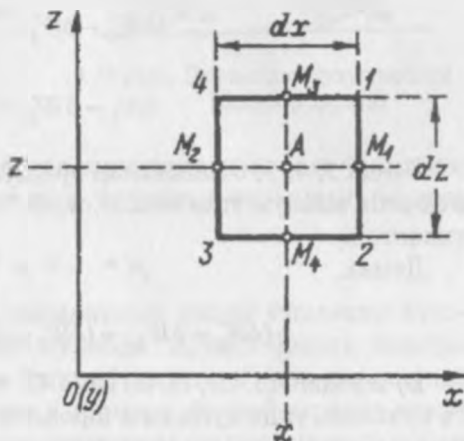
Агар бутун оқим ўрнига элементар оқимчалар тўплами кўрилатган бўлса,

$$\delta Q = u \delta \omega = \text{const} \text{ (оқимча бўйлаб)} \quad (3.39)$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{\delta \omega_2}{\delta \omega_1} \quad (3.40)$$

3.10. ҲАРАКАТЛАНЎТГАН СУЮҚЛИК УЧУН СИҚИЛМАСЛИК ТЕНГЛАМАСИНИНГ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ШАКЛИ

3.16-расмдаги x ва z координата ўқларини ифодалаб, у ўқини расм текислигига тик ҳолатда йўналган деб қабул қиламиз. x , y , z координаталар билан аниқланувчи A қўзғалмас нуқтани қабул қиламиз. Бу нуқтадаги u тезликнинг t вақтдаги ташкил этувчиларини u_x , u_y , u_z деб белгилаймиз. A нуқта атрофида 1—2—3—4 белгили элементар dx , dy , dz ўлчамларига эга бўлган параллелепипедни ажратиб оламиз. Энди dt вақт ичида бу параллелепипедга кириб-чиқаётган суюқлик ҳажминини аниқлаймиз.



3.16-расм. 3.49-ифодани келтириб чиқаришга доир

Агар нуқтада тезликнинг горизонтал ташкил этувчиларини u_x деб белгиласак, у ҳолда, бу нуқтадан $\frac{1}{2} dx$ масофада жойлашган M_1 ва M_2 нуқталар учун:

$$(u_x)_{M_1} = u_x + \frac{1}{2} dx \frac{\partial u_x}{\partial x}; \quad (3.41)$$

$$(u_x)_{M_2} = u_x - \frac{1}{2} dx \frac{\partial u_x}{\partial x}; \quad (3.42)$$

бунда $\frac{\partial u_x}{\partial x}$ — тезликнинг $M_1 M_2$ ўқ бўйлаб бирлик масофадаги ўзгариши.

1—2 томондан чиққан суюқлик миқдорини қуйидагича ифода-лаш мумкин:

$$\delta W_1 = (u_x)_{M_1} dt dy dz = \left(u_x + \frac{1}{2} dx \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) dy dz dt, \quad (3.43)$$

бунда $dy dz$ — 1—2 томон юзаси.

Бу вақтда 3—4 томонга кирган суюқлик миқдорини қуйидагича аниқлаш мумкин.

$$\delta W_2 = (u_x)_{M_2} dt dy dz = \left(u_x - \frac{1}{2} dx \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) dy dz dt. \quad (3.44)$$

dt вақтда ҳажм ўзгаришини аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} \delta W_1 - \delta W_2 &= \left(u_x + \frac{1}{2} dx \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) dy dz dt - \\ &- \left(u_x - \frac{1}{2} dx \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) dy dz dt = \frac{\partial u_x}{\partial x} dx dy dz dt. \end{aligned} \quad (3.45)$$

Параллелепипед томонлари учун аналог тарзда тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\delta W_3 - \delta W_4 = \frac{\partial u_y}{\partial y} dx dy dz dt; \quad (3.46)$$

$$\delta W_5 - \delta W_6 = \frac{\partial u_z}{\partial z} dx dy dz dt \quad (3.47)$$

Бунда 3, 4, 5, 6 индекслар орқали dt вақт оралиғида параллелепипеднинг маълум томонидан оқиб ўтувчи суюқликлар миқдори белгиланган.

Демак,

$$(\delta W_1 - \delta W_2) + (\delta W_3 - \delta W_4) + (\delta W_5 - \delta W_6) = 0 \quad (3.48)$$

Бу ифодага (3.45), (3.46) ва (3.47) тенгламаларни қўямиз ва $dx dy dz dt$ га бўламиз, унда қуйидаги ифодани олишимиз мумкин.

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0. \quad (3.49)$$

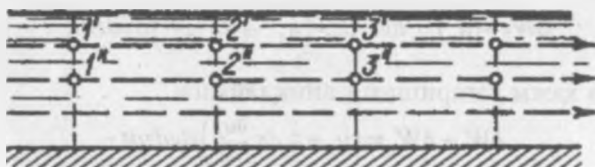
Бу тенглама ҳаракатланаётган суюқлик учун *сиқилмаслик тенгламасининг дифференциал кўриниши* дейилади. Бу тенглама узлуксизлик тенгламасидан фарқли ўлароқ, суюқлик ҳаракатланаётган муҳитнинг аниқ бир нуқтасига тааллуқлидир.

3.11. ТЕКИС ВА НОТЕКИС ҲАРАКАТЛАР, ЭРКИН ОҚИМЧАЛАР, БОСИМЛИ ВА БОСИМСИЗ ҲАРАКАТЛАР. ҲАРАКАТДАГИ КЕСИМНИНГ ГИДРАВЛИК ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Суюқликнинг текис ва нотекис ҳаракатлари. Барқарор ва беқарор ҳаракатлар билан алоҳида танишиб ўтамиз.

Барқарор ҳаракат. 3.17-расмда ифодаланган оқим бўйлаб $\omega = \text{const}$ талабга мос келадиган цилиндр шаклидаги оқим билан танишамиз.

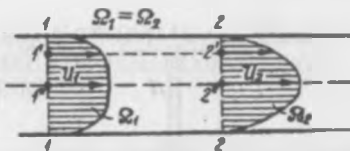
Бу оқимда бир хил бир неча ҳаракатдаги кесим ва тўғри чизиклар танлаб оламиз. Бу чизиклар бўйлаб кесимларда 1', 2', 3' ... ёки 1'', 2'', 3'', ... ва ҳоказо нуқталар бегилаймиз, буларни мос нуқталар деб атаймиз.



3.17-расм. Мос нуқталар (1'; 2'; 3', ...; 1''; 2''; 3'', ...)



3.18-расм. Беқарор ҳаракат



3.19-расм. Цилиндрик қувурлардаги беқарор ҳаракат

Узунлик бўйлаб оқим ҳаракатида ҳаракатдаги кесим ўзгариши $\omega \neq \text{const}$ ёки мос нуқталарда тезлик ўзгариши оқимнинг *беқарор ҳаракати* дейилади.

$$u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq \dots \neq u_n$$

3.18-расмда оқим ҳаракатида ҳаракатдаги кесим ўзгариши кузатилса, 3.19-расмда тезлик ўзгариб турибди. Шунга боғлиқ ҳолатда тезлик эпюрасининг шакли ҳам ўзгариб туради. Оқим ҳаракатида узунлик бўйлаб ҳаракатдаги тезлик ўзгармаса, бундай ҳаракат *текис ҳаракат* дейилади. Оқимнинг текис ҳаракатида тезлик эпюраси юзаси доимий бўлиб қолмай, балки эпюра шакли ҳам бир хил бўлади. Бундай ҳаракат айрим ҳолларда *параллел оқимли ҳаракат* деб ҳам таърифланади. Текис ҳаракатда бундан ташқари ҳаракатдаги кесим бўйлаб ўртача тезлик (v) ҳам ўзгармасдир

$$v = \text{const} \text{ (оқим бўйлаб)} \quad (3.50)$$

Оқимнинг нотекис ҳаракати, ўз навбатида, икки турга бўлинади:

- секин ўзгарувчан ҳаракат;
- тез ўзгарувчан ҳаракат.

Босимли ва босимсиз ҳаракатлар (3.20-расм, а, б). *Босимли ҳаракат* деганда, суюқлик ўз ҳаракати давомида ҳар томондан қаттиқ деворлар билан чегараланиши тушуниланади (3.20-расм, а).

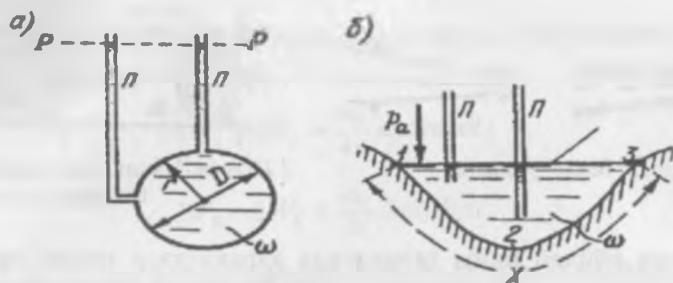
Агар суюқлик ҳаракатида бир томондан атмосфера билан туташган бўлса, бундай ҳаракат *босимсиз ҳаракат* дейилади (3.20-расм, б).

Оқим ҳаракатдаги кесимнинг гидравлик элементлари. Ҳаракатдаги кесимнинг асосан учта асосий гидравлик элементи мавжуд.

1. ω — ҳаракатдаги кесим юзаси;
2. χ — ҳўлланганлик периметри (3.20-расм, б);
3. Гидравлик радиус — ҳаракатдаги кесим юзасининг ҳўлланганлик периметри катталигига нисбати билан аниқланади.

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (3.51)$$

Бу катталикнинг физик маъноси — ҳаракатдаги кесим шаклининг суюқлик ҳаракатига таъсирини аниқлашга кўмаклашишидир.



3.20-расм. Босимли (а) ва босимсиз (б) ҳаракатлар: χ — ҳўлланганлик периметри

Агар кесим айлана шаклида бўлса,

$$R = \frac{\pi D^2}{4\pi D} = \frac{D}{4} = \frac{r}{2}, \quad (3.52)$$

бунда D — айлана босимли қувур диаметри.

Суюқлик ҳаракати турларининг таснифи.

1-тасниф:

а) потенциал ҳаракат, яъни оний кичик масофада суюқликни ташкил этувчи заррачалар тўғри (айланмасдан) ҳаракатланади;

б) айланма ҳаракат.

2-тасниф:

а) барқарор ҳаракат, яъни стационар (турғун) ҳаракат;

б) беқарор ҳаракат, яъни ностационар (нотурғун) ҳаракат.

3-тасниф:

а) текис ҳаракат;

б) нотекис ҳаракат.

Бу ҳаракат ҳам ўз навбатида қуйидагича таснифланади:

а) секин ўзгарувчан ҳаракат, (ҳаракатдаги кесим текис деб қабул қилинади);

б) тез ўзгарувчан ҳаракат (ҳаракатдаги кесим эгри деб қабул қилинади).

4-тасниф:

а) босимли ҳаракат (3.20-расм, а);

б) босимсиз ҳаракат (3.20-расм, б).

5-тасниф:

а) ламинар ҳаракат;

б) турбулент ҳаракат.

6-тасниф:

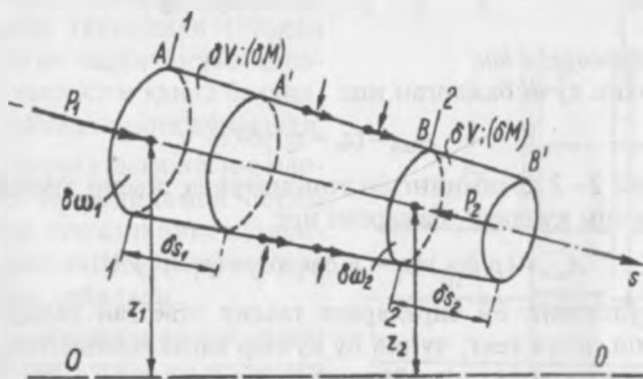
а) тинч ҳаракат;

б) нотинч ҳаракат.

3.12. КИНЕТИК ЭНЕРГИЯНИНГ ГИДРАВЛИК ТЕНГЛАМАСИ. ИДЕАЛ БАРҚАРОР ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН ЭЛЕМЕНТАР ОҚИМЧАЛАР УЧУН БЕРНУЛЛИ ТЕНГЛАМАСИ

Бу тенгламани келтириб чиқариш учун механика курсидан бизга маълум бўлган кинетик энергиянинг ўзгариши ҳақидаги теоремадан фойдаланамиз. Эслатиб ўтамизки, бу теоремага асосан ҳаракатланаётган жисмнинг кинетик энергияси ўзгариши унга шу ораликда таъсир кўрсатаётган кучларнинг бажарган ишлари йиғиндисига тенг.

3.21-расмда ифодаланган элементар оқимча ҳаракатини кўриб чиқамиз. Элементар оқимчанинг AB бўлагини 1—1 ва 2—2 кесимлар билан чегаралаб оламиз. Бу кесимларни 00 таққослаш текислигидан кўтарилиш баландлигини мос равишда z_1 ва z_2 деб белгилаб оламиз. 1—1 ва 2—2 ҳаракатдаги кесимлар юзасини $\delta\omega_1$ ва $\delta\omega_2$ деб белгилаб оламиз.



3.21-расм. (3.60) тенгламани чиқаришга доир

dt вақт оралиғида AB бўлак $A'B'$ оралиқ масофани босиб ўтган деб ҳисобласак, 1—1 кесим δs_1 ва 2—2 кесим δs_2 масофага кучган бўлади. Демак,

$$\delta s_1 = u_1 \delta t \quad \text{ва} \quad \delta s_2 = u_2 \delta t, \quad (3.53)$$

бунда u_1 ва u_2 — 1—1 ва 2—2 кесимлардаги тезликлар.

3.9-мавзудаги мулоҳазага асосланиб ёзиш мумкинки,

$$(AA') \text{ ҳажм} = (BB') \text{ ҳажм} = \delta V \text{ (белги)}$$

Демак,

$$\delta V = \delta\omega_1 \delta s_1 = \delta\omega_2 \delta s_2 = \delta Q \delta t, \quad (3.54)$$

бунда dQ — элементар оқимча сарфи.

Элементар ҳажм массасини қуйидагича ҳисоблашимиз мумкин:

$$\delta M = \rho \delta V = \frac{\gamma}{g} \delta V \quad (3.55)$$

Энди AB бўлакнинг $A'B'$ вазиятни эгаллашида кинетик энергия ўзгаришини ва шу бўлакка таъсир этувчи кучлар бажарган ишлар йиғиндисини топамиз.

AB бўлакнинг $A'B'$ вазиятга ўтишида кинетик энергия бажарган иш.

$$\begin{aligned} \delta E_{K3} &= E_{K3}^{A'B'} - E_{K3}^{AB} = E_{K3}^{(A'B', BB')} - E_{K3}^{(AA', A'B)} = \\ &= E_{K3}^{BB'} - E_{K3}^{AA'} = \frac{u_2^2 \delta M}{2} - \frac{u_1^2 \delta M}{2}; \\ \delta E_{K3} &= \frac{\gamma}{g} \delta V \frac{u_2^2}{2} - \frac{\gamma}{g} \delta V \frac{u_1^2}{2} = \left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma \delta V \end{aligned} \quad (3.56)$$

Кучлар бажарган иш.

1. Оғирлик кучи бажарган иш:

$$A_{ог.к} = (z_1 - z_2) \gamma \delta V. \quad (3.57)$$

2. 1—1 ва 2—2 кесимнинг ён томонларида таъсир этувчи гидродинамик босим кучлари бажарган иш:

$$A_{ог.к} = (p_1 \delta \omega_1) \delta s_1 - (p_2 \delta \omega_2) \delta s_2 = (p_1 - p_2) \delta V. \quad (3.58)$$

3. AB бўлакнинг ён сиртларига таъсир этаётган ташқи кучлар бажарган иш нолга тенг, чунки бу кучлар ҳаракатланаётган заррача йўналишига перпендикуляр йўналгандир.

4. Ички босим кучлари бажарган ишлар йиғиндисини нолга тенг, чунки бу кучлар жуфт бўлиб, бир-бирига тескари йўналгандир.

Хулоса. Юқоридаги теоремага асосланиб, қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} \gamma \delta V = (z_1 - z_2) \gamma \delta V + (p_1 - p_2) \delta V$$

ёки

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}. \quad (3.59)$$

Бинобарин,

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const} \quad (\text{оқимча бўйлаб}) \quad (3.60)$$

Бу тенглама Даниил Бернулли томонидан 1738 йилда ёзилган бўлиб, *Бернулли тенгламаси* дейилади.

Бу тенгламада қуйидагиларга эътиборни қаратишимиз керак.

1. Тенглама қуйидаги z , p , u параметрларнинг ўзаро боғлиқлигини кўрсатади.

2. Идеал ҳолатдаги суюқликлар учун z , $\frac{p}{\gamma}$, $\frac{u^2}{2g}$ ҳадлар йиғиндиси ўзгармасдир.

3. Қурилатган оқимча учун бу ҳадлар йиғиндиси A_1 бўлса, иккинчи оқимча учун A_2 бўлиб, $A_1 \neq A_2$.

4. Берилган ҳадлар йиғиндиси (A)ни билган ҳолда, бизга номаълум бўлган бирор (z , p , u) катталиқни шу тенглама ёрдамида топишимиз мумкин.

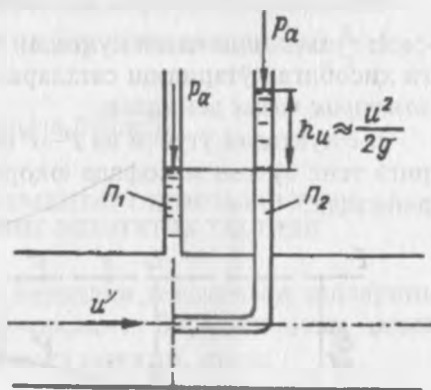
3.13. БЕРНУЛЛИ ТЕНГЛАМАСИ ҲАДЛАРИНИНГ МАЪНОСИ

z — белги нисбий горизонтал таққослаш текислиги (00)дан қурилатган оқимчанинг ҳаракатдаги кесимдан қанча баландликда жойлашганини кўрсатади.

$\frac{p}{\gamma}$ — ҳаракатдаги кесим марказидаги гидродинамик босим таъсирида суюқликнинг кўтарилиш баландлиги — пьезометрик баландлик дейилади.

$\frac{u^2}{2g}$ — тезлик напори, яъни қурилатган кесим марказидаги тезлик ҳисобига суюқликнинг кўтарилиш баландлиги.

Пито найчаси ёрдамида $\frac{u^2}{2g}$ катталиқни ўрганишимиз мумкин. Пито найчаси, пьезометр ёрдамида h_u катталиқ аниқланади:



3.22-расм. P_1 — пьезометр, P_2 — Пито найчаси

$$h_u = \frac{u^2}{2g} \quad (3.61)$$

Бу ифодадан фойдаланиб, қаралаётган нуқтадаги тезлик ҳисобланади.

$$u = \sqrt{2gh_u} \quad (3.62)$$

Бу ифодага кўпгина ҳолларда тузатиш коэффициенти φ қўшиб ёзилади, чунки (3.62) ифода айрим ҳолларда анча ноаниқ натижа бериши мумкин:

$$u = \varphi \sqrt{2gh_u} \quad (3.63)$$

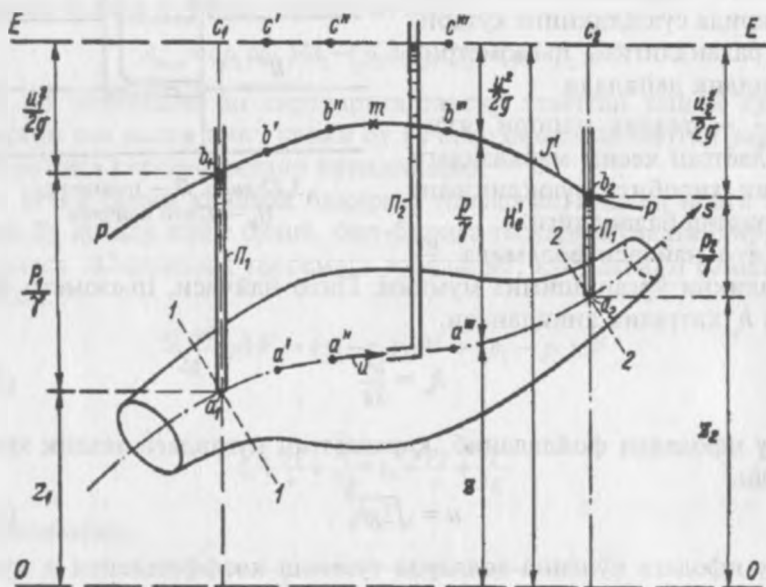
3.14. БАРҚАРОР ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН ИДЕАЛ ҲОЛАТДАГИ СУЮҚЛИКНИНГ ЭЛЕМЕНТАР ОҚИМЧАЛАРИ УЧУН БЕРНУЛЛИ ТЕНГЛАМАСИНИНГ ГЕОМЕТРИК ТАҲЛИЛИ. ЭЛЕМЕНТАР ОҚИМЧА УЧУН ТЎЛИҚ НАПОР

Фараз қилайлик, 3.23-расмда ифодаланган идеал суюқликнинг элементар оқимчаси мавжуд бўлиб, унда 00 таққослаш текислигида z_1 ва z_2 масофалар баландликларида жойлашган (1—1 ва 2—2) кесимларни белгилаб олишимиз мумкин. Бу кесимларда жойлашган a_1 ва a_2 нуқталар орқали ёрдамчи вертикаллар ўтказамиз ва уларга Π_1 пьезометрларни ўрнатамиз. Ёрдамчи вертикаллар ва пьезометрлардаги суюқлик сатҳлари кесишган нуқталарни b_1 ва b_2 деб белгилаб оламиз. Бу нуқталарга мос келувчи тезлик напорлари катталигини қўямиз. Бунинг натижасида c_1 ва c_2 нуқталарни оламиз.

Олинган натижаларга асосланиб, қуйидаги хулосаларга келамиз:

1. P баландликдаги нуқтадан ўтувчи, яъни суюқликнинг оғирлиги ҳисобига кутарилиш сатҳларини туташтирувчи чизиқ ($P-P$) пьезометрик чизиқ дейилади.

2. s нуқтадан ўтувчи ва $P-P$ пьезометрик чизиқдан тезлик напорига тенг бўлган масофада юқорида жойлашган чизиқ напор чизиги дейилади.



3.23-расм. Идеал суюқликнинг элементар оқимчаси учун Бернулли тенгламаси таҳлили: 00 — таққослаш текислиги; $P-P$ — пьезометрик чизиқ; $E-E$ — напор чизиги; H_e — тўлиқ напор; J — пьезометрик нишаблик

3. $\left[d \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) \right]$ катталикнинг, яъни $P-P$ пьезометрик чизиқнинг кўрилатган кесимлар орасида жойлашишининг бирлик ds масофага нисбатан қиймати *пьезометрик нишаблик* дейилади.

$$J' = - \frac{d \left(z + \frac{p}{\gamma} \right)}{ds} \quad (3.64)$$

(3.64) ифодадаги манфий ишора $P-P$ чизиқ оқим бўйлаб кўтарилишида манфий, тушишида мусбат қийматга эга бўлишини билдиради.

Тўлиқ напор деганда, учала ҳаднинг йиғиндиси тушунилади.

$$H'_z = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \quad (3.65)$$

Геометрик нуқтаи назардан H'_z напор чизиғи таққослаш текислигидан баландда жойлашади.

$$H'_z = \text{const (оқимча бўйлаб)}$$

3.15. БАРҚАРОР ҲОЛАТДАГИ ЭЛЕМЕНТАР ОҚИМЧАЛАР УЧУН БЕРНУЛЛИ ТЕНГЛАМАСИНИНГ ЭНЕРГЕТИК ТАҲЛИЛИ

Тўлиқ напорни ташкил этувчи Бернулли тенгламаси ҳадларини энергетик нуқтаи назардан кўриб чиқамиз. Биринчи икки ҳадни потенциал напор деб қабул қилишимиз мумкин, яъни:

$$H = z + \frac{p}{\gamma}. \quad (3.66)$$

Бу ифода суюқликнинг берилган кесимдан ўтаётган бирлик массаси учун потенциал энергияни билдиради. Учинчи ҳад, яъни $\frac{u^2}{2g}$ (тезлик напори) суюқликнинг бирлик массасига мос келувчи кинетик энергия миқдорини билдириб, *солиштирма кинетик энергия* дейилади. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун, M суюқлик миқдорини u тезлик билан ҳаракатланмоқда, деб фараз қиламиз. Бу масса оғирлигини Mg деб қабул қилишимиз, табиий. Бунда $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — эркин тушиш тезланиши. Кинетик энергияни қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$KЭ = \frac{Mu^2}{2}. \quad (3.67)$$

Бу энергиянинг бирлик массага нисбатан миқдорини оламиз.

$$CKЭ = \frac{(KЭ)}{\text{оғирлик}} = \frac{(KЭ)}{Mg} = \frac{Mu^2}{2Mg} = \frac{u^2}{2g}.$$

Юқоридагига асосланиб, H'_2 (тўлиқ напор) иккала потенциал ва тезлик напорлар йиғиндисидан иборатлигини аниқлаймиз. Яна бошқачароқ шаклда ифодалашимиз мумкин, яъни тўлиқ напор геометрик (z), босим ($\frac{p}{\gamma}$) ва тезлик ($\frac{u^2}{2g}$) напорлари йиғиндисидан иборат.

Юқоридаги фикрларимиздан хулоса қилишимиз мумкинки, *оқимчанинг тўлиқ напори* деганда берилган кесимдан бирлик вақт оралигида оқиб ўтаётган суюқликнинг механик энергияси миқдорини билдирувчи катталиқ тушунилади. Идеал ҳолатдаги суюқликлар учун бу катталиқ ўзгармайди.

3.16. КИНЕТИК ЭНЕРГИЯНИНГ ГИДРАВЛИК ТЕНГЛАМАСИ. БАҲАРАҚОР ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН РЕАЛ СУЮҚЛИКНИНГ ЭЛЕМЕНТАР ОҚИМЧАСИ УЧУН БЕРНУЛЛИ ТЕНГЛАМАСИ. ЭЛЕМЕНТАР ОҚИМЧАНИНГ ЁН СИРТЛАРИ ОРҚАЛИ МЕХАНИК ЭНЕРГИЯ ДИФФУЗИЯСИ.

Ёпишқоқ реал суюқлик ҳаракатланганда ишқаланиш кучи, албатта, мавжуд бўлади. Бу куч икки хил таъсир кўрсатади:

1. Ишқаланиш кучи ҳисобига ҳаракатланаётган суюқликнинг механик энергиясининг бир қисми иссиқлик энергиясига айланади ва у оқимча бўйлаб тарқалади.

2. Ишқаланиш кучи мавжудлиги туфайли оқимнинг элементар оқимчалари механик энергиялари бирдан иккинчисига ўтади, яъни ўзига хос механик энергия диффузияси рўй беради.

Бу ҳодиса ҳисобига оқим бўйлаб энергия $\pm h'_{\Delta E}$ ва h' миқдорда ўзгариши мумкин. Демак, мувозанат ва Бернулли тенгламаларини реал ҳолат учун қуйидагича ёзиш мумкин.

$$H'_1 = H'_2 \pm h'_{\Delta E} + h'_f; \quad (3.68)$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} = \pm h'_{\Delta E} + h'_f \quad (3.69)$$

бунда H'_1 ва H'_2 — 1—1 ва 2—2 кесимлар учун тўлиқ солиштирма энергиялар;

h'_f — йўқотилаётган тўлиқ энергиянинг бирлик миқдори;

$h'_{\Delta E}$ — напорнинг диффузион ўзгариши.

Бунда диффузион ўзгаришнинг мусбат ва манфий миқдорларини ўзаро тенг деб қабул қиламиз.

$$\sum h'_{\Delta E} = 0.$$

Шунга асосланиб, Бернулли тенгламасини қуйидагича ёзишимиз мумкин.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + H'_f; \quad (3.70)$$

хусусий ҳолда

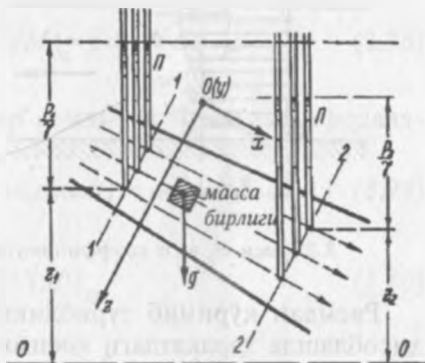
$$H'_f = H'_a - H'_{a'}. \quad (3.71)$$

Энди бундан кейинги муаммо, яъни ушбу тенгламанинг элементар оқимчалар учун кўринишини бутун оқим учун ифодалашга ҳаракат қиламиз.

3.17. ТЕКИС ВА ТЕКИС ЎЗГАРУВЧАН ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН СУЮҚЛИКНИНГ ҲАРАКАТДАГИ КЕСИМИ БЎЙЛАБ БОСИМ ТАҚСИМЛАНИШИ (биринчи кўмаклашувчи вазият)

Барқарор ҳаракат билан танишиб, бунда ҳажмий куч сифатида, фақат оғирлик кучи мавжуд деб ҳисоблаймиз, ҳаракатдаги кесимни эса текис деб қабул қиламиз.

3.24-расмда текис ўзгарувчан ҳаракатдаги оқим тасвирланган бўлиб, унда 1—1 ва 2—2 кесимлар танлаб оламиз, бу кесимларнинг турли нуқталарига пьезометрлар ўрнатамиз. Бу пьезометрлардаги суюқлик сатҳи бир хил бўлиб, бу ҳолат z ва p/γ катталиклар кесимларнинг турли нуқталарида ҳар хил катталиқка эга бўлса-да, уларнинг йиғиндиси бир хил эканлигини кўрсатади.



3.24-расм. Текис ҳаракатдаги кесимларда босимнинг тақсимланиши

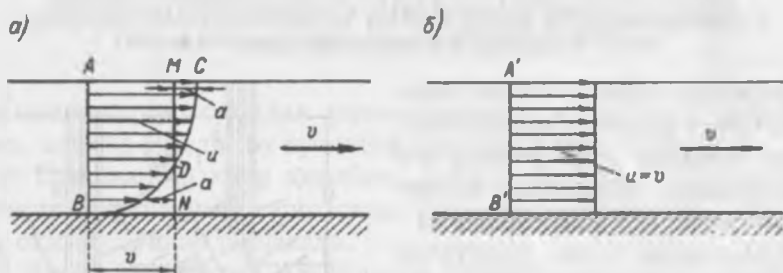
$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{const} \quad (\text{қаралаётган кесим учун}) \quad (3.72)$$

Бошқа кесим учун бу катталиқ бошқа қийматга эга бўлади, лекин ўша кесимнинг ҳамма нуқталари учун ўзгармас бўлади.

Демак, хулоса қилиш мумкинки, текис ва текис ўзгарувчан ҳаракатда қаралаётган кесим бўйлаб босим тақсимланиши гидростатик қонунга бўйсунди. Бу ҳолат — элементар оқимчадан бутун оқимни ўрганишга ўтишдаги *биринчи кўмаклашувчи вазият* дейилади.

**3.18. КЕСИМ ОРҚАЛИ ОҚИБ ЎТАЁТГАН ИХТИЁРИЙ ҲАРАКАТДАГИ
СУЮҚЛИК МАССАСИНИНГ КИНЕТИК ЭНЕРГИЯСИ МИҚДОРИГА ВА
ҲАРАКАТ СОНИ КАТТАЛИГИГА ҲАРАКАТДАГИ КЕСИМ БЎЙЛАБ ТЕЗЛИК
ТАҚСИМЛАНИШИ НОТЕКИСЛИГИНИНГ ТАЪСИРИ**
(иккинчи қумаклашувчи вазият)

3.25-расмда ифодаланган оқимнинг узунлик бўйича қирқимида иккита ҳаракатдаги кесимни танлаб оламиз. AB ва $A'B'$ кесимлардаги (Q) сарфни ва уларнинг геометрик ўлчамларини бир хил деб қабул қиламиз. Суюқликнинг M массаси ҳаракат сонини XC ва кинетик энергияни $KЭ$ деб белгилаб оламиз. Бу миқдор dt оний вазиятда AB кесимдан оқиб ўтади (3.25-расм, а). Юқорида келтирилган параметрларнинг ўртача миқдорини $[XC(M)]$, $[KЭ(M)]$, $[XC(M)]_{\text{ўр}}$ ва $[KЭ(M)]_{\text{ўр}}$ деб белгилаб оламиз.



3.25-расм. α_0 ва α коэффициентларнинг моҳиятини аниқлашга доир

Расмдан кўриниб турибдики, $XC(M)$ ва $KЭ(M)$ катталикларни ҳисоблашда ҳаракатдаги кесимнинг турли нуқталаридаги u тезлик миқдори турлича эканлиги ҳисобга олинади, шу сабабли юқоридаги катталиклар ҳақиқий деб қабул қилинади. $[XC(M)]_{\text{ўр}}$ ва $[KЭ(M)]_{\text{ўр}}$ катталикларни ҳисоблашда эса, u тезлик катталиги бутун кесим бўйлаб бир хил деб қабул қилинади ва ўртача тезликка тенгланади. Юқоридаги катталиклар эса, v ўртача тезлик бўйича ҳисобланган ўртача қийматли катталиклар дейилади.

Бизнинг асосий вазифамиз а ва б схемалар учун аниқланган XC ва $KЭ$ катталикларни миқдорий тақсимлашдан иборат. Бошқача қилиб талқин қилинганда, M массанинг XC ва $KЭ$ катталиклариға ҳаракатдаги кесим бўйлаб тезлик тақсимланишининг нотекислиги қандай таъсир кўрсатишини, бунинг учун эса қуйидаги муносабатни ўрганишимиз керак:

$$XC(M) : [XC(M)]_{\text{ўр}} \text{ ва } KЭ(M) : [KЭ(M)]_{\text{ўр}}.$$

Дастлаб [(3.27, 3.28, 3.29)] ифодалар асосида тасдиқланган қуйидаги муносабатларни ёзиб оламиз:

$$dQ = u d\omega; \quad Q = \int u d\omega = v\omega \quad (3.73)$$

$$dV = dt dQ; \quad V = dt \int u d\omega = v\omega dt \quad (3.74)$$

$$dM = \rho dV = \rho u d\omega dt \quad (3.75)$$

$$M = \rho dt \int u d\omega = \rho v \omega dt, \quad (3.76)$$

бунда $d\omega$ — ҳаракатдаги кесимнинг элементар юзаси; V — dt вақт оралиғида ҳаракатдаги кесимдан ўтган суюқлик ҳажми; M — шу ҳажм массаси.

dM массанинг ҳақиқий ҳаракатлар сони:

$$XC(dM) = u dM = \rho u^2 d\omega dt; \quad (3.77)$$

M массанинг ҳаракатлари сони эса

$$XC(M) = \int XC(dM) = \rho dt \int u^2 d\omega. \quad (3.78)$$

M массанинг «уртача» ҳаракатлар сонини қуйидагича ифодалашимиз мумкин:

$$[XC(M)]_{\text{ур}} = v M = v(\rho v \omega dt) = \rho v^2 \omega dt, \quad (3.79)$$

бунда

$$XC(M) > [XC(M)]_{\text{ур}} \quad (3.80)$$

Ҳақиқатан ҳам,

$$XC(M) = \rho dt \int u^2 d\omega = \rho dt \int (v + a)^2 d\omega, \quad (A)$$

бунда $a = u - v$ — манфий ёки мусбат катталиқ (3.25-расм, а).

Расмга асосан,

$$\int a d\omega = 0 \quad (B)$$

Ҳаракат давомида MCD ва BDN юзалар тенглашиши мумкин. Шунга асосан,

$$\begin{aligned} XC(M) &= \rho dt \left[\int v^2 d\omega + 2 \int v a d\omega + \int a^2 d\omega \right] = \\ &= \rho dt \left[v^2 \int d\omega + 2v \int a d\omega + \int a^2 d\omega \right] = \rho dt \left[v^2 \omega + \int a^2 d\omega \right] = \\ &= \rho v^2 \omega dt + \rho dt \int a^2 d\omega = [XC(M)]_{\text{ур}} + \rho dt \int a^2 d\omega. \end{aligned}$$

Охирги ҳад доимо мусбат бўлиб, нолга яқинлашади, фақат $a = 0$ бўлган ҳолда $u = v$ (яъни, ҳақиқий тезликлар ҳаракатдаги кесим бўйлаб текис тақсимланади).

Бу вазият (3.80) ифоданинг тўғрилигини тасдиқлайди.

Энди (3.78) ифоданинг (3.79) ифодага нисбатини α_0 деб белгилаймиз, яъни,

$$\frac{XC(M)}{[XC(M)]_{\text{ур}}} = \frac{\int u^2 d\omega}{v^2 \omega} = \alpha_0 \text{ (белги)} \quad (3.81)$$

Бунга асосан,

$$\int u^2 d\omega = \alpha_0 v^2 \omega. \quad (3.82)$$

$$XC(M) = \alpha_0 [XC(M)]_{\text{ур}} = \alpha_0 \rho v^2 \omega dt = \alpha_0 \rho v Q dt \quad (3.83)$$

Демак, таъкидлаш мумкинки, dt вақт оралиғида ҳаракатдаги кесимдан ўтаётган M масса ҳаракатлари сонининг ҳақиқий катталиги кесимдан ўтаётган заррачалар тезлиги бир хил v катталikka тенг деб аниқланган ҳаракатлар сони шартли (ўртача) қийматининг тузатиш коэффициентига (α_0) кўпайтмасига тенг.

M массанинг ясси ҳаракатдаги кесим бўйлаб тезлик тақсимланиши бир хил эмаслигининг кинетик энергияга таъсири. dM массанинг ҳақиқий кинетик энергияси [(3.75) ифодага қаранг]:

$$KЭ(dM) = \frac{u^2 dM}{2} = \frac{1}{2} \rho u^3 d\omega dt \quad (3.84)$$

M массанинг ҳақиқий кинетик энергиясини ёзамиз.

$$KЭ(M) = \frac{1}{2} \rho dt \int u^3 d\omega \quad (3.85)$$

M массанинг «ўртача» кинетик энергияси қиймати:

$$[KЭ(M)]_{\text{ур}} = \frac{M v^2}{2} = \frac{1}{2} \rho v^3 \omega dt, \quad (3.86)$$

бунда

$$KЭ(M) > [KЭ(M)]_{\text{ур}} \quad (3.87)$$

ҳолатни ҳисобга оламиз.

Уларнинг нисбатларини α деб белгилаймиз, яъни

$$\frac{KЭ(M)}{[KЭ(M)]_{\text{ур}}} = \frac{\int u^3 d\omega}{v^3 \omega} = \alpha \text{ (белги)} \quad (3.88)$$

Бунга асосан,

$$\int u^3 d\omega = \alpha v^3 d\omega; \quad (3.89)$$

$$KЭ(M) = \alpha [KЭ(M)]_{\text{т}} = \alpha \frac{1}{2} \rho v^3 \omega dt. \quad (3.90)$$

Демак, (3.90) ифодага асосан dt вақт оралиғида қаралаётган ҳаракатдаги кесимдан оқиб ўтган M массанинг ҳақиқий кинетик энергияси v ўртача тезликка асосан ҳисобланган шартли (ўртача) кинетик энергиянинг α тузатиш коэффициентига купайтмасига тенг.

α_0 ва α тузатиш коэффициентларининг сонли қийматлари. Бу коэффициентларнинг қийматлари доимо бирдан катта бўлиб, ҳаракатдаги кесим бўйлаб тезлик тақсимланишининг бир хил эмаслиги қанча юқори бўлса, бу коэффициентларнинг қиймати бирдан шунча катта бўлади.

Текис ҳаракатда бу коэффициентларнинг тенг тажрибалар натижасида аниқланган қийматлари қуйидагича олинishi мумкин:

$$\alpha_0 \approx 1,03 + 1,05; \quad \alpha \approx 1,10 + 1,15$$

Оқимнинг нотекис ҳаракатида айрим ҳолларда бу катталиклар бирдан кескин фарқ қилиши мумкин. Шу билан биргаликда, купинча амалиётда бу катталик қиймати бирга яқин бўлади. Шу сабабли, купинча, амалий ҳисобларда бу катталиклар бирга тенг деб қабул қилинади, яъни ҳисобга олинмайди.

α_0 — оқимнинг ҳаракатлар сони тузатмаси ёки *Буссинеск коэффициенти*, α эса оқимнинг кинетик энергияси тузатмаси ёки *Кориолис коэффициенти* дейилади.

3.19. ТўЛИҚ ОҚИМ УЧУН ТўЛИҚ НАПОР

Аниқ катталикли кундаланг кесимга эга бўлган оқимни *тўлиқ оқим* деб оламиз. Оқимнинг ўртача тезлиги v вақтинча фойдаланилган ҳолда, текис ўзгарувчан ва параллел оқимчали ҳаракатлар билан танишишда давом этамиз. Бундай ҳаракатларда оқимнинг ҳаракатдаги кесими ясси деб қабул қилинишини биламиз. Бизга маълумки, ҳар қайси элементар оқимча (3.65) ифода билан аниқланувчи H' тўлиқ напорга эга бўлиб, бу напор бутун ҳаракатдаги кесимнинг гидродинамик характеристикаси ҳисобланади.

Таҳлилимишни қуйидагича давом эттирамиз:

1) (3.65) ифодани $d\omega$ элементар юза орқали dt вақт оралиғида оқиб ўтаётган суюқлик оғирлиги ($\gamma dQ dt$)га купайтириб, шу вақт оралиғида суюқлик олиб ўтган механик энергияни аниқлаймиз;

2) ҳаракатдаги кесимдан dt вақт оралиғида оқим олиб ўтган механик энергияни аниқлаш учун юқоридаги ифодани интеграллаймиз;

3) энергиянинг аниқланган қийматини $\gamma Q dt$ ифодага бўлиб, оқим олиб ўтаётган механик энергиянинг бирлик қийматини аниқлаймиз.

4) мазкур катталикни H , тулиқ напор деб қабул қилиб, уни H' катталикнинг ўртача қиймати эканлигига ишонч ҳосил қиламиз.

Бу ҳолатда $dQ = u d\omega$, $Q = v\omega$ ни ҳисобга олиб, қуйидагиларни ёзишимиз мумкин:

$$H_e = \frac{\int H'_e (\gamma dQ dt)}{\gamma Q dt} = \frac{\int \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \right) dQ}{Q} = \frac{\int \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) dQ}{Q} + \frac{\int \frac{u^2}{2g} u d\omega}{v\omega} \quad (3.91)$$

ёки (3.72) ифодани эътиборга олганимизда:

$$H_e = \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) \frac{\int dQ}{Q} + \frac{\frac{1}{2g} \int u^3 d\omega}{v\omega}; \quad (3.92)$$

(3.89) ифодани ҳисобга олсак,

$$H_e = \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) + \frac{1}{2g} \frac{(\alpha v^3 \omega)}{v\omega} \quad (3.93)$$

ва ниҳоят

$$\boxed{H_e = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}} \quad (3.94)$$

деб ёзишимиз мумкин. Тулиқ оқим учун солиштирма энергия ёки тезлик напори оқимнинг ўртача тезлиги ёрдамида қуйидагича ифодаланади:

$$\boxed{h_v = \frac{\alpha v^2}{2g}} \quad (3.95)$$

бунда α — кинетик энергия тузатмаси.

3.20. БАҲҚАРОР ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН РЕАЛ СУЮҚЛИК ОҚИМИ КИНЕТИК ЭНЕРГИЯСИНИНГ ГИДРАВЛИК ТЕНГЛАМАСИ (БЕРНУЛЛИ ТЕНГЛАМАСИ)

Ён деворлари сув ўтказмас материалдан иборат очиқ ўзанда ҳаракатланаётган оқим билан танишамиз. Фараз қилайлик, ўзаннын ён деворларидан қўшимча миқдор қўшилмайди ва ўта олмаган оқимнинг айрим миқдори кетмайди. Ишқаланиш кучи бажарган иш ҳисо-

бига оқимнинг энергияси оқим бўйлаб камаяди. Демак, реал (қовушок) суюқликлар учун

$$H_{e1} > H_{e2} \quad (3.96)$$

муносабат ўринлидир. Бунда H_{e1} ва H_{e2} — қаралаётган кесимлардаги тулиқ напорлар (3.26-расм).

(3.96) ва (3.94) ифодаларни ҳисобга олиб, тулиқ оқимнинг гидравлик тенгласини, яъни Бернулли тенгласини қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f \quad (3.97')$$

ёки энергетик нуқтаи назаридан

$$H_{e1}(\gamma Q t) - H_{e2}(\gamma Q t) = h_f(\gamma Q t), \quad (3.97'')$$

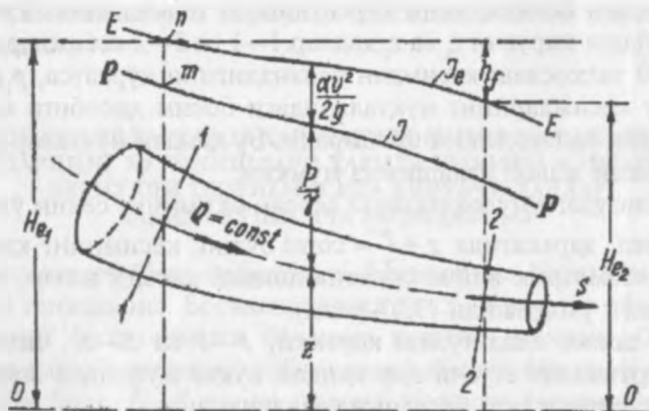
бунда

$$h_f = H_{e1} - H_{e2} \quad (3.98)$$

напор йўқолиши дейилади. Яъни, 1—1 ва 2—2 кесимлар оралиғида ишқаланиш ҳисобига оқимнинг ҳаракатига бўлган қаршилиқни енгиб ўтиш учун сарфланган напор миқдоридир.

3.26-расмда P — P пьезометрик ва E — E напор чизиқлари кўрсатилган. Бунда E — E чизиқ оқим ҳаракати бўйлаб напор камайиши ҳисобига горизонтал ҳолатда бўлмайди. Бу элементар йўқолишнинг

$\left[-d \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} \right) \right]$ бирлик ds масофага нисбатан қийматини гидравлик қиялиқ деб атаб, J_s ҳарфи билан белгилаймиз.



3.26-расм. Барқарор ҳаракатдаги реал суюқлик оқими учун Бернулли тенгласининг геометрик талқини: 00 таққослаш текислиги; P — P пьезометрик чизиқ; E — E напор чизиғи; H_{e1} ва H_{e2} — тулиқ напорлар; h_f — напор йўқолиши; J_s — пьезометрик қиялиқ

ёки

$$J_e = -\frac{dH_e}{ds} \quad (3.99)$$

$$J_e = -\frac{d\left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{av^2}{2g}\right)}{ds}; \quad (3.100)$$

$$J_e = +\frac{dh_f}{ds} \quad (3.101)$$

Умуман, реал суюқликлар учун гидравлик қиялик мусбат қий-матта эга бўлади. Пьезометрик қиялик тушунчаси билан танишамиз (3.14-мавзу).

$$J = -\frac{d}{ds}\left(z + \frac{p}{\gamma}\right) \quad (3.102)$$

3.26-рasm орқали биз бутун гидродинамик кўринишни ифодала-шимиз мумкин:

а) S оқим уқи ва $P-P$ чизик билан чегараланган шакл бизга p/γ ифоданинг ўзгариш эпюрасини кўрсатиб турибди;

б) $P-P$ ва $E-E$ чизиклар билан чегараланган шакл эса $\frac{av^2}{2g}$ тез-лик напорининг ўзгаришини кўрсатади;

с) $P-P$ ва 00 таққослаш текислиги орасидаги шакл эса оқим бўйлаб потенциал напор ўзгаришини кўрсатади;

д) $E-E$ чизик ва 00 таққослаш текислиги орасидаги шакл тулик напор ўзгаришини кўрсатади.

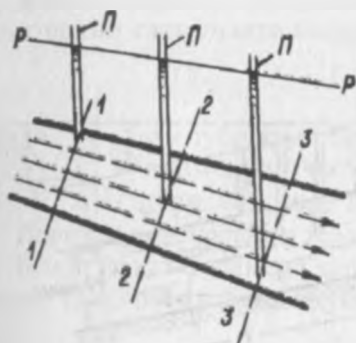
Бернулли тенгламаси икки кесимнинг гидродинамик элементла-ри ўртасидаги боғлиқликни кўрсатишини таъкидлашимиз мумкин. (3.97) ифодага кирувчи z_1 ва z_2 ҳадлар 1—1 ва 2—2 кесимлар нуқтала-рининг 00 таққослаш кесимдан баландлигини кўрсатса, p_1/γ ва p_2/γ ҳадлар бу кесимларнинг нуқталаридаги босим ҳисобига яратилган пьезометрик баландликни билдиради. Бу қандай нуқталар деган са-волга шундай жавоб излашимиз мумкин:

3.17-мавзудаги мулоҳазаларга асосан оқимнинг секин ўзгарувчан ва параллел ҳаракатида $z + \frac{p}{\gamma} = \text{const}$ бўлиб, кесимнинг қайси нуқ-тасига пьезометрик найча ўрнатилишидан қатъий назар, бу катта-лик қиймати ўзгармайди (3.27-рasm).

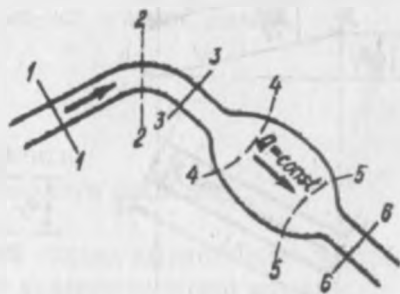
Шуни доимо ёдда тутиш керакки, $P-P$ ва $E-E$ чизиклардан ўтувчи вертикалда ётувчи ҳар қандай нуқта жуфтлиги маълум бир оқимнинг ҳаракатдаги кесимига тааллуқлидир.

Юқоридагиларни ҳисобга олганда, Бернулли тенгламасини қўллаш учун қуйидаги учта асосий шарт мавжуддир:

1-шарт. 1—1 ва 2—2 кесимлар орасида оқим сарфи доимий бўлиши керак ($Q = \text{const}$).



3.27-расм. P-P чизиқни чизишга доир



3.28-расм. Бернулли тенгламасининг қўлланилиш шарти

2-шарт. (3.60) ифодани чиқаришда 1—1 ва 2—2 кесимлар орасида оқимнинг кинетик энергияси доимий деб ҳисобланганлиги сабабли, оқим ҳаракати бу оралиқда барқарор бўлиши керак (3.21-расм);

3-шарт. Кесимлар оралиғида ҳаракат тез ўзгарувчан бўлса-да, кесимларда оқим ҳаракати секин ўзгарувчан ёки текис бўлиши керак. Чунки, $z + \frac{p}{\gamma} = \text{const}$ шарти бажарилиши керак.

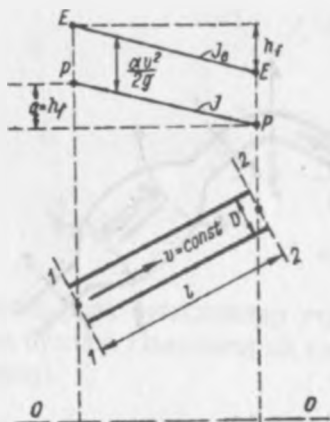
3.28-расмда секин ўзгарувчан ҳаракат соҳаси яхлит чизиқлар билан ва тез ўзгарувчан ҳаракат соҳаси штрихланган чизиқлар билан кўрсатилган. Кўриниб турибдики, Бернулли тенгламаси билан 1 ва 3, 3 ва 6 ва ҳ.к. кесимларни бирлаштириш мумкин, лекин 1 ва 2 ёки 2 ва 4 ва ҳ.к. кесимларни Бернулли тенгламаси билан бирлаштириш мумкин эмас.

3.21. ОҚИМНИНГ БАРҚАРОР ҲАРАКАТИДА НАПОР ВА ПЬЕЗОМЕТРИК ЧИЗИҚЛАРНИНГ КЎРИНИШЛАРИ ҲАҚИДА УМУМҲИЙ КЎРСАТМАЛАР. БЕРНУЛЛИ ТЕНГЛАМАСИГА КИРУВЧИ ҲАДЛАР ҲАҚИДА ҚЎШИМЧА МУЛОҲАЗАЛАР

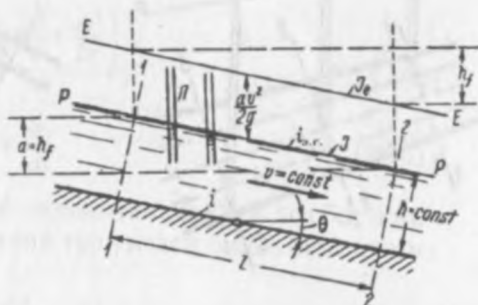
Текис ҳаракат бўлгандаги ҳолат. Босимли ва босимсиз ҳаракатлар билан танишамиз. Босимли ҳаракатни 3.29-расмда ифодаланган D қувурнинг l узунликдаги бўлагига кузатиш мумкин. Оқимнинг оқиши ҳар қандай кесимда ўзгармаслиги сабабли, йуқолиш ҳам ўзгармайди. Шу боис $E-E$ напор чизиғи қиялиги ўзгармасдир, яъни $J_0 = \text{const}$ (оқим бўйлаб).

Хулоса қилиш мумкинки,

$$\frac{mv^2}{2g} = \text{const (оқим бўйлаб)} \quad (3.103)$$



3.29-расм. Оқимнинг текис босим остида ҳаракатидаги $P-P$ $E-E$ чизиқлар



3.30-расм. Оқимнинг текис босимсиз ҳаракатидаги $P-P$ ва $E-E$ чизиқлар

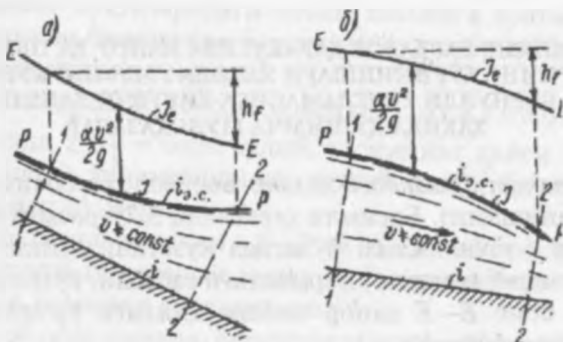
Шу сабабли, оқимнинг босим остидаги текис ҳаракатида $P-P$ пьезометрик чизиқ маълум қияликдаги тўғри чизиқ кўринишида бўлиб, напор чизиғига параллел бўлади. $E-E$ чизиқнинг узунлик бўйлаб камайиши шу участка оралиғида напор йўқолишини кўрсатади.

$$a = h_f. \quad (3.104)$$

Босим остидаги текис ҳаракат учун

$$J_e = J = \frac{h_f}{l} = \frac{a}{l} \quad (3.105)$$

ифода уринлидир.



3.31-расм. Босимиз нотекис ҳаракатдаги $P-P$ ва $E-E$ чизиқлар шакллари

Босимсиз ҳаракат. Бу ҳолатда (3.31-расм) пьезометрик чизиқ оқим-нинг эркин сатҳ чизиғи билан устма-уст тушади. Демак,

$$J_e = J = i_{z,c} = i = \frac{h_f}{l} = \frac{a}{l}, \quad (3.106)$$

бунда i — узан туби қиялиги.

$i_{z,c}$ — оқим эркин сатҳи қиялиги,

a — эркин сатҳнинг l узунликдаги пасайиши.

Нотекис ҳаракатдаги ҳолат.

Бунда фақат босимсиз ҳаракатни таҳлил қилиш билан чегарала-намиз (3.31-расм). Бунда қуйидаги ҳолатни кузатиш мумкин:

$$J_e \neq J = i_{z,c} \neq i \quad (3.107)$$

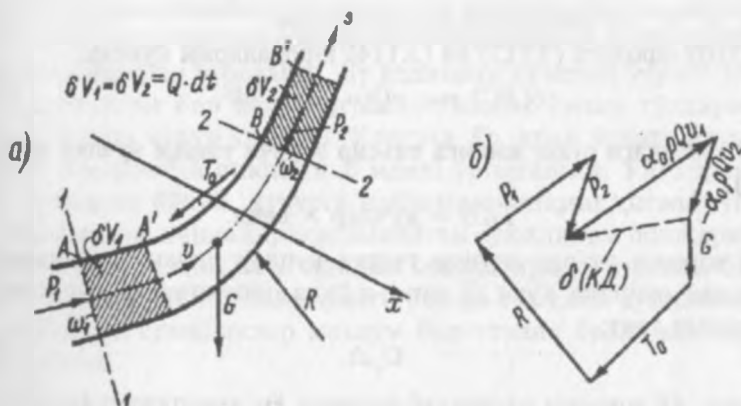
3.22. БАРҚАРОР ҲАРАКАТДАГИ ОҚИМ УЧУН ҲАРАКАТЛАР СОНИНING ГИДРАВЛИК ТЕНГЛАМАСИ

Ихтиёрий кўринишдаги оқимни танлаб олиб, унда x ўқини ўтказамиз ва 1—1 ва 2—2 ҳаракатдаги кесимларни белгилаймиз (3.32-расм, а).

1—1 ва 2—2 кесимлар учун оқим ҳаракатини текис барқарор деб олиб, назарий механика курсидаги моддий нуқталарнинг ҳаракат сони ҳақидаги теоремани қўлаймиз. Бунда кесимлардаги тезликлар u тақсимланишини бир хил деб ҳисоблаймиз, яъни

$$\alpha_{01} = \alpha_{02} = \alpha_0. \quad (3.108)$$

Мазкур теоремага асосан, ҳаракатланаётган жисм $\delta(XC)$ ҳаракатлар сонининг ихтиёрий x ўққа проекцияси шу вақт оралиғида жисмга таъсир этаётган ташқи кучларнинг шу ўққа проекциялари йиғиндиси-га тенг.



3.32-расм. Ҳаракатлар миқдорининг гидравлик тенгламасига доир

$$\delta(XC)_x = \sum (TK) . \quad (3.109)$$

Бу теоремани dt вақт оралиғида 1—1 ва 2—2 кесимлар орлиғида AB вазиятдан $A'B'$ вазиятга ўтган суюқлик ҳажми учун қўлаймиз.

AB ҳажмининг $[\delta(XC)]$ ҳаракатлар сони ўзгариши. Расмдаги чизиқчалар билан белгиланган элементар ҳажмларни δV_1 ва δV_2 деб белгилаймиз.

$$\begin{aligned} \delta(XC) &= XC(A'B') - XC(AB) = XC(A'B + BB') - \\ &- XC(AA' + A'B) = XC(\delta V_2) - XC(\delta V_1) \end{aligned} \quad (3.110)$$

Маълумки, жисмнинг ҳаракатлари сони қуйидагига тенг:

$$XC = \text{жисм массаси} \times \text{жисм тезлиги}.$$

Шуни эътиборга олиб, δV_1 ва δV_2 элементар ҳажмларнинг ҳаракатлари сонини аниқлаймиз. dt вақт оралиғида 1—1 кесим орқали ўтган суюқлик ҳажми δV_1 га тенг:

$$\text{масса} \times (\delta V_1) = \rho Q dt \quad (3.111)$$

Агар бу кесимдаги ўртача тезликни v_1 деб қабул қилсак:

$$[XC(\delta V_1)]_{\text{ср}} = (\rho Q dt) v_1, \quad (3.112)$$

Лекин, 1—1 кесимнинг ҳар хил нуқтасида тезлик ҳар хил бўлганлиги сабабли

$$XC(\delta V_1) = \alpha_0 [XC(\delta V_1)]_{\text{ср}} = \alpha_0 \rho Q v_1 dt, \quad (3.113)$$

бунда v_1 — 1—1 кесимдаги ўртача тезлик.

Аналог кўринишда (3.113) ифодани $XC(\delta V_2)$ учун қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$XC(\delta V_2) = \alpha_0 \rho Q v_2 dt, \quad (3.114)$$

бунда, v_2 — 2—2 кесимдаги ўртача тезлик.

(3.110) ифодага (3.113) ва (3.114) ифодаларни қўйсак,

$$\delta(XC)_x = \alpha_0 \rho Q (v_{2x} - v_{1x}) dt. \quad (3.115)$$

AB ҳажмдаги суюқ жисмга таъсир этувчи ташқи кучлар импульси (TKI).

$$TKI = \text{кучлар} \times \text{вақт}.$$

AB жисмга таъсир этувчи ташқи кучлар билан танишамиз. AB жисмнинг оғирлик кучи G_x нинг x ўққа проекциясининг импульси қуйидагига тенг:

$$G_x dt. \quad (3.116)$$

Суюқ AB жисмни чегаралаб турувчи ён деворлар томонида таъсир этувчи ташқи ишқаланиш кучининг x ўққа проекцияси импульси:

$$(T_0)_x dt \quad (3.117)$$

Ён деворлар реакция кучи (ишқаланишни ҳисобга олмасдан) R_x куч проекциясининг импульси:

$$R_x dt. \quad (3.118)$$

Кесимларнинг ташқи томонида таъсир этувчи гидродинамик кучлар — P_1 ва P_2 . Уларнинг x ўққа проекцияларининг импульси

$$(P_1 + P_2)_x dt = P_x dt \quad (3.119)$$

Ҳаракатлар сонининг гидравлик тенгламаси. (3.109) ифодага (3.115) ва (3.119) ифодаларни қўйсақ,

$$\boxed{\alpha_0 \rho Q (v_{2x} - v_{1x}) = G_x + (T_0)_x + R_x + P_x} \quad (3.120)$$

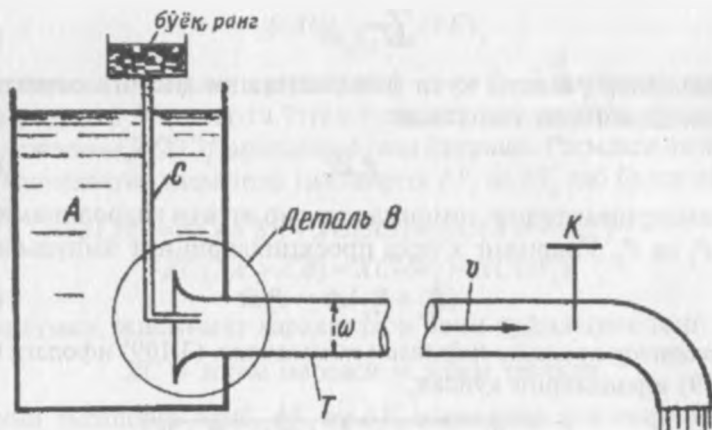
бунда ρQ — бирлик вақт оралиғида ҳаракатдаги кесимдан утган суюқлик массаси, $\rho Q = \text{const}$ (оқим бўйлаб); $\alpha_0 \rho Q v$ — *секунддаги ҳаракатлар сони* деб аталади.

Мазкур тенгламани қуйидагича ифодалаш мумкин. 1—1 текис кесимдан 2—2 кесимга оқим ўтишида бирор ўққа нисбатан секунддаги ҳаракатлар сони ўзгариши шу ўққа нисбатан ташқи таъсир этувчи тўртта кучнинг (G, T_0, R, P) шу қисмга таъсир этувчи миқдорлари проекцияларининг йиғиндисига тенг (3.32-расм, б).

3.23. СУЮҚЛИКНИНГ ИККИ ХИЛ ҲАРАКАТИ

1839 ва 1854 йилларда немис инженер гидротехниги Г. Хаген ва 1880 йилда рус олими Д. И. Менделеевлар суюқликнинг ҳаракатида ғалати бир ҳолатни кузатишган. Суюқликнинг бу ҳаракат ҳолатини 1883 йилда инглиз физиги О. Рейнольдс кузатиб ўрганган ва назарий жиҳатдан асослаган. Бу ҳодисани кузатиш учун 3.33-расмда ифодаланган бир хил рангдаги суюқлик билан тўлдирилган A идишга шиша қувур уланган. Қувурга Kp_1 кран ўрнатилган бўлиб, A идиш юқорисига иккинчи B идиш ўрнатилган. Унга ҳам кичик найча уланган бўлиб, қувурга найчанинг чиқиш қисми туширилган. Найчанинг ичида ҳаракатланаётган суюқликни бошқариш учун Kp_2 кран ўрнатилган ва B идишга солиштирма оғирлиги биринчи суюқликникига тенг, лекин ранги бошқа суюқлик қуйилган. Kp_1 ва Kp_2 ёрдамида суюқликлар маълум бир тезлик ёрдамида ҳаракатга келтирилган.

$$v = \frac{Q}{\omega} \quad (3.121)$$



3.33-рasm. Рейнольдс қурилмасы схемасы

Тажриба натижасида қуйидагилар аниқланган:

1. Қувурдағи ҳаракатланаётган суюқлик оқимининг маълум бир чегаравий қиймати v_k дан кичик тезликда, найчадан тушаётган суюқлик маълум бир оқимча шаклида катта идишдағи суюқлик билан аралашмасдан ҳаракатлана бошлаган.

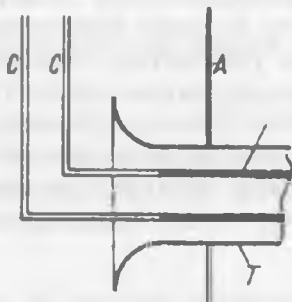
$$v < v_k \quad (3.122')$$

2. Шу чегаравий қийматдан юқори бўлган тезликда эса улар аралашган ҳолатда ҳаракатлана бошлаган.

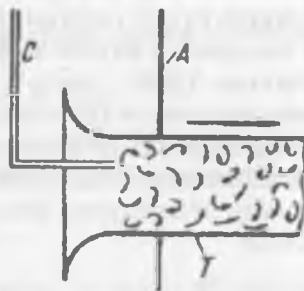
$$v > v_k \quad (3.122'')$$

Биринчи ҳолатдағи ҳаракат оқимнинг ламинар (тартибли) (3.34-рasm, а), иккинчи ҳолатдағи ҳаракат турбулент (тартибсиз) ҳаракат (3.34-рasm, б) деб аталган. Оқимнинг чегаравий тезлиги v_k ни эса

а) Деталь В
 $v < v_k; Re < Re_k$



б) Деталь В
 $v > v_k; Re > Re_k$



3.34-рasm. Ҳаракат режимлари: а) ламинар; б) турбулент

критик тезлик деб белгиланган. О. Рейнольдс назарий мулоҳазалари ва тажрибалари асосида критик тезликни аниқлаш ифодасини тақлиф қилган:

$$v_k = \frac{\nu Re_k}{R}, \quad (3.123)$$

бунда R — гидравлик радиус; ν — суюқликнинг кинематик қовушоқлик коэффиценти.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (3.124)$$

бунда η — суюқликнинг динамик ёпишқоқ коэффиценти.

Re_k — ўлчамсиз эмпирик коэффицент бўлиб, критик *Рейнольдс сони* дейилади. Бу соннинг критик қиймати тажрибалар асосида қуйидагича аниқланган.

а) цилиндр шаклдаги қувурларда босим остида ҳаракатланаётган суюқлик оқими учун

$$Re_k = 500. \quad (3.125)$$

Бошқа айрим муаллифлар маълумотларига қараганда, бу қиймат анча кичик бўлиши мумкин.

б) тўғри бурчакли очиқ каналларда ҳаракатланаётган суюқликлар учун, Хопф тажрибасига асосан, бу катталиқ

$$Re_k \approx 300. \quad (3.126)$$

(3.123) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Re_k = \frac{v_k R}{\nu} \quad (3.127)$$

ёки

$$\boxed{Re = \frac{vR}{\nu}} \quad (3.128)$$

бунда v — ҳақиқий (лекин критик эмас) ўртача тезлик.

Бу ҳаракатларнинг мавжудлик шартларини қуйидагича ифода-лаш мумкин:

1) агар $Re < Re_k$ бўлса, оқимнинг ламинар ҳаракати;

2) агар $Re > Re_k$ бўлса, оқимнинг турбулент ҳаракати кузатилади.

Хулосада қуйидагиларни таъкидлаш лозим:

1. Суюқлик оқимининг айлана қувурларда босим остидаги ҳаракатини ўрганишда гидравлик радиус ўрнига қувур диаметри ёрдамида Рейнольдс сонини аниқлаш мумкин.

$$Re_D = \frac{vD}{\nu} = \frac{v(4R)}{\nu} = 4 Re. \quad (3.129)$$

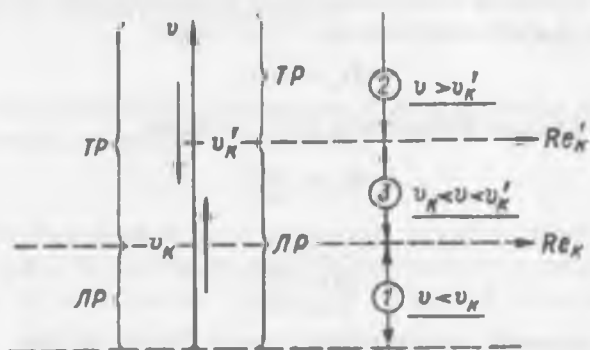
2. Гидротехника амалиётида, асосан, оқимнинг турбулент ҳаракати кузатилади. Фақат грунт сувлари ҳаракати бундан мустасно.

Қовушоқ суюқликлар ҳаракати эса, асосан, ламинар тартибда кузатилади.

3. Шунинг таъкидлаш жоизки, юқорида келтирилган гидродинамиканинг асосий тенгламалари (узлуксизлик, Бернулли, ҳаракат сони тенгламалари) ҳар иккала ҳаракатлар учун уринлидир. Фақат Бернулли тенгласидаги энергия (напор) йўқолиши ҳар хил ифодалар ёрдамида аниқланади.

4. 3.33-расмдаги қурилма ёрдамида тажриба ўтказиш давомида ташқи ҳар қандай таъсирдан қурилмани чегаралаб, тезликнинг бир қанча юқорироқ қийматларида ламинар ҳаракатни сақлаб қолиш мумкин. Лекин ниҳоятда кичик таъсир натижасида бу ҳолат бузилиши ва турбулент ҳаракатга ўтиши мумкин. Бу тезлик қиймати критик тезликнинг юқори чегаравий қиймати дейилади.

Юқори критик тезлик ҳолатини 3.35-расм ёрдамида ифодалаш мумкин. Турбулент ҳолатда ҳаракатланаётган оқим тезлигини босқичма-босқич пасайтириб, маълум кичик қийматда турбулент ҳаракатни сақлаб қолиш мумкин. Лекин кичик ташқи таъсир бу ҳаракатни ламинар ҳаракатга айлантириши мумкин. Бу ҳолатдаги тезликни критик тезликнинг пастки чегаравий қиймати дейилади.



3.35-расм. Суюқликнинг ламинар ҳолатдан турбулент ҳолатдаги ҳаракатга ва аксинча, турбулент ҳолатдан ламинар ҳолатдаги ҳаракатга ўтиши

Текшириш учун саволлар

1. Гидродинамик босим нима ва у қандай бирликларда ўлчанади?
2. Гидродинамик ва гидростатик босим ўртасида қандай фарқ бор?
3. Суюқлик ҳаракатини кузатишнинг Лагранж ва Эйлер усуллари ўртасида қандай тафовут мавжуд?
4. Суюқликнинг барқарор ва беқарор ҳаракатлари ҳақида тушунча беринг.
5. Суюқлик ҳаракатининг асосий қурилишлари ва уларнинг таснифи ҳақида тушунча беринг.

6. Бурама (вихрли) ва нобурама (вихрсиз) ҳаракатлар ҳақида тушунча беринг.
7. Суюқликнинг напор остидаги ва напорсиз ҳаракати ҳақида тушунча беринг.
8. Ҳаракатдаги кесим ва унинг гидравлик элементлари ҳаракати ҳақида тушунча беринг.
9. Суюқликнинг бир ўлчамли, икки ўлчамли ва фазовий (уч ўлчамли) ҳаракатлари борасидаги асосий фарқлар ҳақида тушунча беринг.
10. Суюқликнинг текис ва нотекис ҳаракатлари қандай ўзига хос хусусиятларга эга?
11. Идеал барқарор ҳаракатланаётган элементар оқимча учун Бернулли тенгламасини ёзинг ва тенглама ҳадларининг маъносини тушунтириб беринг.
12. Кориолис коэффициенти нима ва унинг сонли қийматини айтинг?
13. Суюқликнинг турбулент ҳаракатида уринма кучланишлар учун аниқланган формула қандай кўринишга эга?

ОҚИМНИНГ БАРҚАРОР ҲАРАКАТИДА НАПОР ЙЎҚОЛИШИ. ГИДРАВЛИК ҚАРШИЛИК. ТУРБУЛЕНТ ОҚИМ ҲАРАКАТИНИ ҲИСОБЛАШ СХЕМАСИ

4.1. НАПОР ЙЎҚОЛИШИ ҲАҚИДА УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР. ГИДРАВЛИК ҚАРШИЛИК

Бизга маълумки, суюқлик оқимиға, унинг ҳаракати давомида ҳар хил ташқи кучлар таъсир қилади. Бу кучлар бажарган ишлар ҳисобига суюқликнинг механик энергияси ўзгариши мумкин. Масалан, сув оқими гидравлик турбинанинг парралларини ҳаракатга келтиради, шунинг ҳисобига сувнинг механик энергияси камайди ёки босим остидаги қувур деворларида вибрациянинг пайдо бўлиши ҳам сувнинг механик энергиясининг камайишига олиб келади.

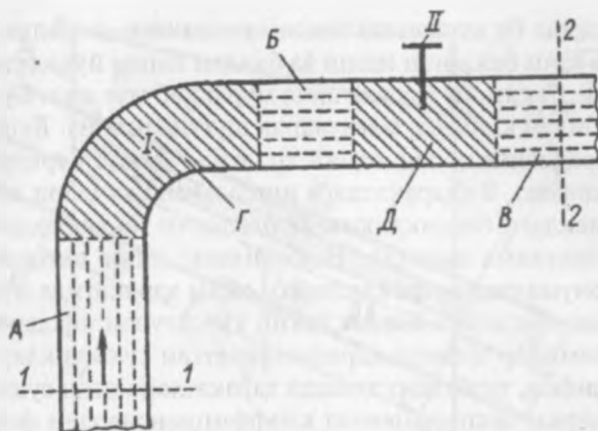
Биз, энергиянинг ёки напорнинг бундай йўқолишларига эътибор бермасдан, балки оқимнинг ўз ҳаракати давомида ишқаланиш кучларини енгиб ўтиш учун сарфлаган энергиясини (ёки йўқолган напорини) ўрганиш билан шуғулланамиз. Юқоридаги мавзуларда Бернулли тенгласини ўрганиш жараёнида биз энергия (напор) йўқолишининг мана шу шаклини назарда тутганмиз. Напор йўқолиши икки хил бўлиши мумкин:

Узунлик бўйича напор йўқолиши. Бу йўқолиш оқимнинг текис ҳаракатида узунлик бўйлаб бир хил тақсимланса, унинг нотекис ҳаракатида узунлик бўйлаб ҳар хил миқдорда тақсимланиши мумкин. Напорнинг узунлик бўйлаб йўқолишини h , ҳарфи билан белгилаймиз.

Маҳаллий напор йўқолишлари. Бундай кўринишдаги йўқолишлар суюқлик ҳаракатланаётган ўзанининг айрим қисмларида оқимнинг турли хилдаги деформацияга кескин учраши натижасида рўй беради. Масалан, бурилиш, кенгайиш, турли бошқарув қурилмалари (кран, клапан, задвижка ва ҳ.к.) ўрнатилган жойларда оқимнинг шу тўсиқларни енгилар учун сарфлаган напорлари. Маҳаллий йўқолишлар h_x ҳарфи билан белгиланади.

4.1-расмда қувур ифодаланган бўлиб, бунда хусусий бўғинлар мавжуд. I — бурилиш, II — қисман очиқ задвижка (сурилгич). I—I ва 2—2 кесимлар орасида узунлик бўйича йўқолишдан ташқари маҳаллий йўқолишлар ҳам мавжуддир. Г ва Д участкаларда оқим маҳаллий деформацияси юз бериб, унда суюқликнинг тез ўзгарувчан беқарор ҳаракати амалга ошади.

Шуни таъкидлаш керакки, оқимнинг узунлик бўйлаб йўқолиши мавжуд бўлган соҳаларда τ кучланиш оқим бўйлаб текис тақсимланса, маҳаллий йўқолишлар мавжуд бўлган соҳаларда бу тақсимланиш нотекис бўлади.



4.1-рasm. Ишқаланиш кучланиши τ тақсимланган соҳалар:

а) А, Б, В — текис тақсимланиш бўлиб, бу соҳаларда оқим ҳаракатида напорнинг узунлик бўйича йўқолиши мавжуд; б) нотекис тақсимланиш. Г ва Д соҳаларда оқим напорининг нотекис йўқолиши мавжуд

Кўпгина ҳолларда, Г ва Д соҳалардаги оқим узунлиги унинг умумий узунлигидан анча кичик бўлганлиги сабабли, амалий ҳисобларда маҳаллий напор йўқолишини ҳисобга олмасдан, узунлик бўйича йўқолишни оқимнинг узунлиги бўйича йўқолиши сифатида қабул қилинади.

Умумий ҳолда, қаралаётган икки кесим оралиғидаги оқим напорининг йўқолиши қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$h_f = h_1 + \sum h_j \quad (4.1)$$

Механик энергия йўқолишини қуйидагича тушунтириш мумкин:

Ишқаланиш кучлари бажарган иш ҳисобига механик энергия иссиқликка айланади ва суюқлик исийди. Иссиқлик вақт ўтиши билан тарқалиб кетади.

Юқоридагига асосланиб, айтиш мумкинки, суюқлик ҳаракатида ишқаланиш кучлари бажарган иш ҳисобига ва алоҳида бўғинлардан маҳаллий ишқаланиш кучлари бажарган иш ҳисобига иссиқликка айланиб, кейин йўқолиб кетадиган миқдор *напор йўқолиши* h_f дир.

Гидравлика курсини ўрганиш жараёнида кўпинча «гидравлик қаршилик» атамасига дуч келамиз. Бунда, реал ҳолатдаги суюқликларнинг ҳаракатида пайдо бўладиган ишқаланиш кучларини тушуниш ўринлидир. Идеал суюқликларда ишқаланиш кучларини нолга тенг деб қабул қилганлигимиз сабабли, гидравлик қаршиликлар мавжуд эмас, деб қаралади.

Реал суюқликларда ишқаланиш қанча юқори бўлса, қаршилик шунча кўп бўлади. Бу икки тушунча орасида ўзаро боғлиқлик мав-

жуддир. Оқимда бу кучланиш тақсимланишини, u тезликни билсак, ишқаланиш кучи бажарган ишни ва бундан напор йўқолишини аниқлаш мумкин. Лекин, бу масала анча мураккаб муаммо. Бу муаммони ҳал қилиш билан кейинги мавзуларда шуғулланамиз. Бунда дастлаб, суюқлик ҳаракатининг энг оддий ҳолати — текис барқарор ҳаракат билан танишамиз. Бу ҳаракатдаги ишқаланиш кучлари ва напор йўқолиши орасидаги боғлиқликни ифодаловчи тенгламадан фойдаланамиз. Бу тенглама асосида, Ньютоннинг ички ишқаланиш кучи ҳақидаги қонуниятидан фойдаланиб, оқим ҳаракатида йўқолган напор ва тезлик орасидаги боғлиқликни кўрсатувчи ифодани топамиз. Бу масала ламинар ҳолатда ҳаракатланаётган суюқликлар учун анча осон ҳал қилинса, турбулент ҳолатда ҳаракатланаётган суюқлик оқимлари учун айрим экспериментал коэффициентлардан фойдаланишга тўғри келади.

Оқимнинг беқарор ҳаракатидаги напор йўқолишини аниқлаш анча мураккаб масаладир. Шу сабабли, кўпгина ҳолларда текис барқарор ҳаракатлар учун напор йўқолиши аниқланиб, унга айрим тузатмалар киритиш усулидан фойдаланилади.

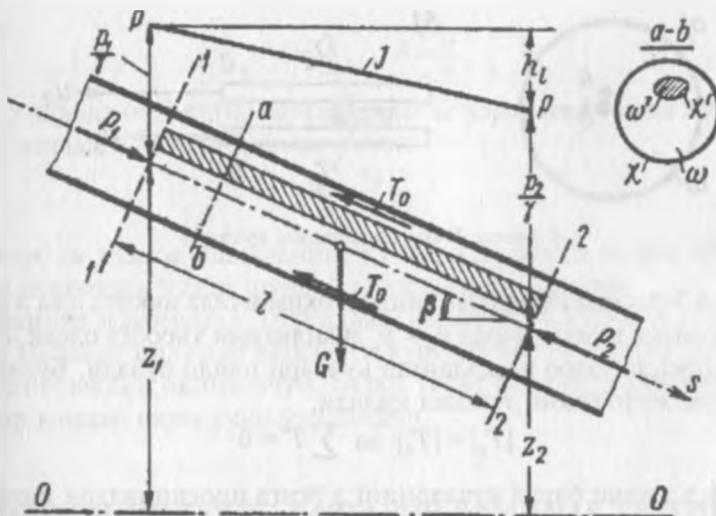
4.2. «Тўғри Ўзанлар» учун текис барқарор ҳаракатланаётган оқимнинг асосий тенгламаси. Ички ишқаланиш кучлари бажарган иш

Ўзан деворларига узунлик бўйича таъсир этаётган уринма кучланишни τ_0 деб белгилаб оламиз. Шу уринма кучланиш қиймати узунлик бўйлаб йуналган ва ўзаннинг ҳўлланган периметри бўйича ўзгармас бўлса ($\tau_0 \approx \text{const}$), бундай ўзанлар тўғри ўзанлар дейилади.

Энди суюқликнинг ишқаланиш кучи таъсири билан узунлик бўйича напор йўқолишининг боғлиқлигини урганамиз. Цилиндр шаклдаги қувурда босим остида ҳаракатланаётган суюқлик оқимидан l узунликдаги 1—1 ва 2—2 кесимлар билан чегараланган участкани ажратиб оламиз (4.2-расм). s ўқни қувурда ҳаракатланаётган суюқлик оқими бўйлаб ҳаракатлантирамиз. Суюқликнинг текис ҳаракатида l узунликдаги суюқлик оқимининг пьезометрик чизиги PP қия чизиқ бўлиб, унинг пасайиши напор йўқолиши h , ни кўрсатади. Кўрилаяётган соҳага таъсир этаётган ташқи кучлар билан танишиб чиқамиз. Шундан сўнг, оқимнинг барқарор текис ҳаракатланаётганлигини ҳисобга олиб, бу кучларнинг s ўққа проекциялари йиғиндисини нолга тенглаб, изланаётган тенгламани оламиз.

Кўрилаяётган соҳага таъсир этаётган кучлар.

1. Берилган ҳажмдаги суюқлик оғирлиги:



4.2-расм. Оқимнинг текис барқарор ҳаракати асосий тенгламасини чиқаришга доир

$$G = \omega l \gamma, \quad (4.2)$$

бунда ω — ҳаракатдаги кесим юзаси катталиги.

Ушбу кучнинг s ўққа проекциясини ёзамиз:

$$G_s = \omega l \gamma \sin \beta, \quad (4.3)$$

бунда β — қувур ўқининг горизонтга нисбатан қиялиги.

Расмдан кўриниб турибдики,

$$l \sin \beta = z_1 - z_2, \quad (4.4)$$

шу сабабли

$$G_s = \gamma \omega (z_1 - z_2). \quad (4.5)$$

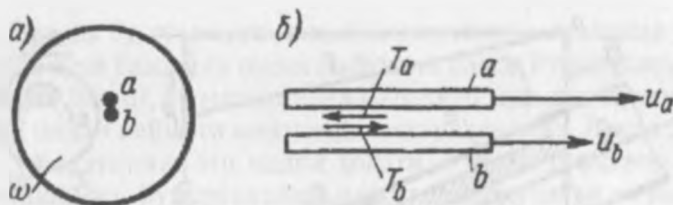
2. Ажратилган суюқликка ён томондаги суюқлик кучлари томонидан бўлаётган таъсир.

$$P_1 = p_1 \omega; \quad P_2 = p_2 \omega \quad (4.6)$$

бунда p_1 ва p_2 — 1—1 ва 2—2 кесимларнинг оғирлик марказларига таъсир этувчи гидродинамик босимлар. Бу босим кучлари s ўққа ўзгаришсиз проекцияланади.

3. Нормал босимларнинг s ўққа проекциялари нолга тенг деб қабул қилинади.

4. Деворларга ишқаланиш кучи T_0 ҳам ўзгаришсиз проекцияланади. Бундан ташқари, ички ишқаланиш кучлари (T) ҳам мавжуд.



4.3-расм. Ички ишқаланиш кучлари

Агар 4.3-расмда ифодаланганидек, оқим ичида иккита a ва b оқим-чаларни олсак ҳамда уларда $u_a \neq u_b$ эканлигини ҳисобга олсак, оқим-чалар уртасида ўзаро ишқаланиш кучлари пайдо бўлади. Булар ўзаро маълум жуфтликни ташкил қилади.

$$|T_a| = |T_b| \text{ ва } \sum T = 0$$

Таъсир этувчи барча кучларнинг z ўқига проекциялари йиғиндисини топамиз.

$$G_z + P_1 - P_2 - T_0 = 0. \quad (4.7)$$

Бу тенгламага (4.5) ва (4.6) ифодаларни қўйсак,

$$\gamma\omega(z_1 - z_2) + p_1\omega - p_2\omega - T_0 = 0. \quad (4.8)$$

Ҳосил бўлган ифодани $\gamma\omega$ га бўлсак, қуйидагини оламиз:

$$(z_1 - z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} - \frac{T_0}{\gamma\omega} = 0; \\ \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = \frac{T_0}{\gamma\omega}. \quad (4.9)$$

4.2-расмга асосан:

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = h_l. \quad (4.10)$$

Демак,

$$h_l = \frac{T_0}{\gamma\omega}. \quad (4.11)$$

Бундан ташқари,

$$T_0 = \chi l \tau_0 \quad (4.12)$$

эканлигини эътиборга олсак,

$$h_l = \frac{\chi l}{\gamma\omega} \tau_0, \quad (4.13)$$

$$\frac{h_l}{l} R = \frac{\tau_0}{\gamma}, \quad (4.14)$$

$$\boxed{\frac{\tau_0}{\gamma} = RJ} \quad (4.15)$$

бунда

$$J = \frac{h}{l}; \quad R = \frac{\omega}{\chi} \quad (4.16)$$

4.15-ифода оқимнинг барқарор текис ҳаракати асосий тенгламаси деб аталади. «Тўғри узанлар» учун:

$$h_1 = \frac{\tau_0}{\gamma} \frac{l}{R}. \quad (4.17)$$

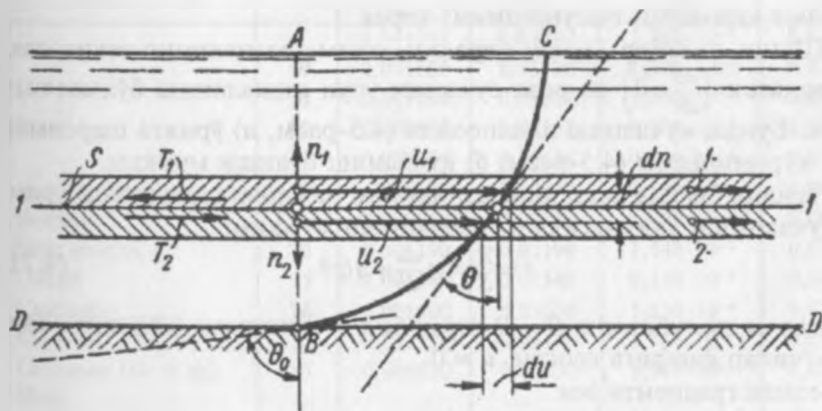
Ички ва ташқи ишқаланиш кучлари туфайли пайдо бўлаётган напор йўқолиши худди шундай аниқланиши мумкин.

Қушимча эслатмалар. Таъкидлаш керакки, (4.15) ва (4.17) тенгламалар нафақат цилиндр шаклдаги қувурда босим остида ҳаракатланаётган суюқлик оқими учун, балки текис барқарор ҳаракатланаётган ҳар қандай оқим учун ўринлидир.

А. ОҚИМНИНГ ТЕКИС БАРҚАРОР ЛАМИНАР ТАРТИБДАГИ ҲАРАКАТИДА ТЕЗЛИКНИНГ ТАҚСИМЛАНИШИ ВА НАПОРНИНГ УЗУНЛИК БЎЙИЧА ЙЎҚОЛИШИ

4.3. СУЮҚЛИКДА ИЧКИ ИШҚАЛАНИШ КУЧЛАРИ ҚОНУНИ. ОҚИМНИНГ ЛАМИНАР ҲАРАКАТИДА УРИНМА КУЧЛАНИШ КАТТАЛИГИ

Оқим ҳаракатида (4.4-расм) узунлик бўйича қирқим олиб, унда AB ҳаракатдаги кесим ва ABC тезлик эпюрасини ажратиб оламиз. Бунда u_1 ва u_2 тезлик билан ҳаракатланаётган икки қатлам билан танишамиз. Бу икки қатлам туташган 1—1 сирт S юзага эга деб оламиз. Бу сиртга ҳар иккала қатлам томонидан ўсиб борувчи T_1 ва T_2 ишқаланиш кучлари таъсир қилади.



4.4-расм. Суюқлик оқимининг ҳаракатида узунлик бўйича ишқаланиш кучлари учун схема

$$|T_1| = |T_2|. \quad (4.18)$$

Реал суюқлик оқимида бу кучлар ҳисобига пайдо бўладиган τ уринма кучланиш ҳақида олдинги мавзуларда танишдик. Биз бу ҳолда фақат узунлик бўйича уринма кучланишлар билан танишамиз. Бу ҳолатга тааллуқли ишқаланиш кучлари бўйича қонун Ньютон томонидан 1686 йил кашф этилган. Бу қонунни қуйидагича ифодалаш мумкин. Узаро параллел оқимчаларнинг ишқаланиши натижасида пайдо бўладиган T ишқаланиш кучи:

- 1) тезлик градиентига тўғри пропорционал;
 - 2) суюқликнинг мазкур қатламлари юзаси S га тўғри пропорционал;
 - 3) босимга боғлиқ эмас;
 - 4) суюқликнинг физик хоссасига (турига) ва ҳароратига боғлиқ.
- Бинобарин:

$$T = \eta S \left| \frac{du}{dn} \right| \quad (4.19)$$

бунда η — динамик қовушоқлик коэффиценти. Бу коэффициент катталиги *вискозиметр* деб аталувчи асбоб ёрдамида тажриба ўтказиш йўли билан аниқланади.

$\frac{du}{dn}$ — тезлик градиенти, 1—1 сиртга нисбатан ўтказилган n нормал бўйича $|u|$ тезликдан олинган ҳосила:

$$\frac{du}{dn} = \operatorname{tg} \theta, \quad (4.20)$$

яъни BC уринма ва вертикал орасидаги бурчак. Бундан кейин ёзувни соддалаштириш учун $\left| \frac{du}{dn} \right|$ градиентни $\frac{du}{dn}$ деб ёзамиз ва бунда абсолют қийматни тушунишимиз керак.

Шунга эътибор бериш керакки, оқим тезлигининг текис тақсимланиши $\left(\frac{du}{dn} = 0 \right)$ да реал суюқлик учун ишқаланиш бўлмаслиги керак. Бунда, кучланиш эллипсоиди (4.5-расм, а) ўрнига шарсимон сирт кўринишдаги (4.5-расм, б) кучланиш бўлиши мумкин.

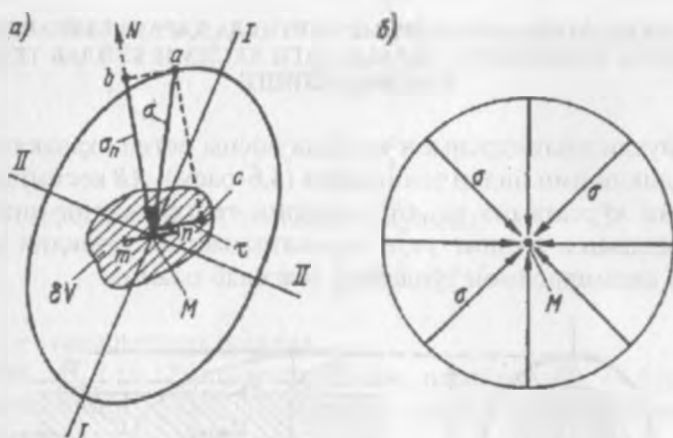
Узунлик бўйича ички ишқаланишнинг ламинар ҳаракатдаги уринма кучланиши қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$\tau = \frac{T}{S} = \eta \frac{du}{dn} = \eta \operatorname{tg} \theta. \quad (4.21)$$

Агар оқим тубининг $D - D$ сирти билан танишсак, қўпчилик тадқиқотчилар фикрига асосан, $u = 0$.

Тезлик градиенти эса

$$\left(\frac{du}{dn} \right)_0 = \operatorname{tg} \theta_0. \quad (4.22)$$



4.5-расм. Тўлиқ муҳитда берилган M нуқтадаги кучланиш: а) кучланишлар эллипси; б) кучланишларнинг шарсимон юзаси

Ламинар ҳаракат учун

$$T_0 = \eta S_0 \left(\frac{du}{dn} \right)_0; \quad \tau_0 = \eta \left(\frac{du}{dn} \right)_0 = \eta \operatorname{tg} \theta_0. \quad (4.23)$$

Агар олдинги мавзуда τ (ёки τ_0) кучланиш билан h катталиқ орасидаги боғлиқликни ўрганган бўлсак, бу мавзуда ламинар тартибдаги оқим ҳаракати учун τ кучланиш билан u тезлик ўзгариши интенсивлиги орасидаги боғлиқлик ўранилди.

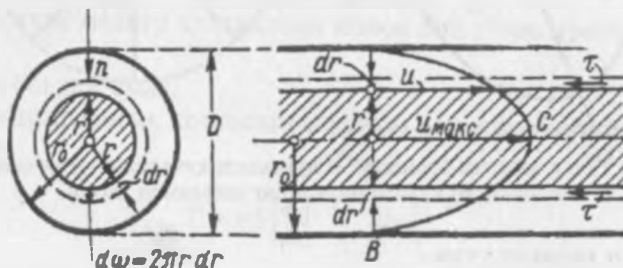
4.1-жадвал

Айрим суюқликлар учун η (пуазда) ва ν (стокса) қовушоқлик коэффициентлари қийматлари

Суюқлик номи	$t, ^\circ\text{C}$	η		ν	
		Па · с	П	м ² /с	Ст
Сув	0	0,001792	0,01792	$1,792 \cdot 10^{-6}$	0,01792
	10	0,001306	0,01306	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,01306
	20	0,001004	0,01004	$1,006 \cdot 10^{-6}$	0,01006
	30	0,000802	0,00802	$0,805 \cdot 10^{-6}$	0,00805
	40	0,000654	0,00654	$0,659 \cdot 10^{-6}$	0,00659
	50	0,00549	0,00549	$0,556 \cdot 10^{-6}$	0,00556
Бензин	15	0,000650	0,00650	$0,930 \cdot 10^{-6}$	0,00930
Этил спирти	20	0,001190	0,01190	$1,540 \cdot 10^{-6}$	0,01540
Симоб	15	0,001540	0,01540	$0,110 \cdot 10^{-6}$	0,00110
Скипидар	16	0,001600	0,01600	$1,830 \cdot 10^{-6}$	0,01830
Керосин	15	0,002170	0,02170	$2,700 \cdot 10^{-6}$	0,02700
Глицерин (50 % ли)	20	0,006030	0,06030	$5,980 \cdot 10^{-6}$	0,05980
Мой:					
Трансформатор	20	0,027500	0,27500	$31,000 \cdot 10^{-6}$	0,31000
"АУ" всертин	20	0,042700	0,42700	$48,000 \cdot 10^{-6}$	0,48000
турбина	20	0,086000	0,86000	$96,000 \cdot 10^{-6}$	0,96000

4.4. ТЕКИС БАРҚАРОР ЛАМИНАР ТАРТИБДА ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН СУЮҚЛИК ОҚИМИНИНГ ҲАРАКАТДАГИ КЕСИМИ БЎЙЛАБ ТЕЗЛИК ТАҚСИМЛАНИШИ

r_0 радиусли цилиндрсимон қувурда босим остида ҳаракатланаётган суюқлик оқими билан танишамиз (4.6-расм). AB кесимнинг ABC эпюрасини кўрсатамиз ва ABC эгрилик тенгламасини аниқлашга ҳаракат қиламиз. Бунинг учун ҳаракатланаётган суюқлик ичида r радиусли цилиндрсимон тўпламни белгилаб оламиз.



4.6-расм. Айлана қувурдаги суюқликнинг текис барқарор ламинар тартибдаги ҳаракати

1) Бу тўплам учун ён сиртлар бўйича τ ишқаланиш кучланишларини икки хил кўринишда ёзиш мумкин:

$$\tau = \gamma R' J = \gamma \frac{r}{2} J, \quad (4.24)$$

Кўрилатган тўпламнинг гидравлик радиуси:

$$R' = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2}. \quad (4.25)$$

2) Ньютон қонунига асосан:

$$\tau = \eta \left| \frac{du}{dn} \right| = -\eta \frac{du}{dr}. \quad (4.26)$$

Танланган йўналишда (r) (4.6-расмга қаранг) $\frac{du}{dn}$ манфийдир. (4.24) ва (4.26) ни биргаликда ечиб,

$$\gamma \frac{r}{2} J = -\eta \frac{du}{dr} \quad (4.27)$$

ёки

$$du = -\frac{1}{2} \frac{\gamma}{\eta} J r dr. \quad (4.28)$$

Бу тенгламани интеграллаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$u = -\frac{\gamma}{4\eta} J r^2 + C \quad (4.29)$$

С доимийсини $r = r_0$ ва $u = 0$ бошланғич шарт учун топамиз:

$$0 = -\frac{\gamma}{4\eta} Jr_0^2 + C; \quad (4.30)$$

$$C = \frac{\gamma}{4\eta} Jr_0^2. \quad (4.31)$$

(4.31) ифодани (4.29) тенгламага қўямиз.

$$u = \frac{\gamma}{4\eta} J(r_0^2 - r^2), \quad (4.32)$$

бунда J — пьезометрик қиялик.

Демак, ACB (4.32) ифодага асосан, параболадир. (4.32) ифодага $r = 0$ катталикини қўйиб, тезликнинг максимал қийматини ёзишимиз мумкин

$$u_{\max} = \frac{1}{4} \frac{\gamma}{\eta} Jr_0^2. \quad (4.33)$$

Ламинар ҳаракатда коррективлар катталикларини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\alpha_0 = 1,33; \quad \alpha = 2,0.$$

4.5. ЦИЛИНДРСИМОН ҚУВУРДАГИ Q САРФЛИ ОҚИМ УЧУН ПУАЗЕЙЛ ФОРМУЛАСИ. БАРҚАРОР ТЕКИС ЛАМИНАР ТАРТИБДА ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН СУЮҚЛИК УЧУН НАПОРНИНГ УЗУНЛИК БЎЙИЧА ЙЎҚОЛИШИ

Суюқлик оқимининг цилиндрсимон қувур орқали босим остидаги ҳаракатини кўриб чиқамиз (4.6-расм). Қувур орқали ҳаракатланаётган оқимнинг Q сарфини ҳамда r радиусли элементар юза ($d\omega$) орқали ўтаётган сарфни аниқлаймиз

$$dQ = u d\omega = u 2\pi r dr; \quad (4.34)$$

бундан

$$d\omega = 2\pi r dr.$$

(4.34) ифодага (4.32) ифодани қўйсак,

$$dQ = \frac{\gamma}{4\eta} J(r_0^2 - r^2) 2\pi r dr \quad (4.35)$$

Бу ифодани юза бўйича интегралласак, умумий сарфни аниқлаймиз:

$$Q = \frac{\pi \gamma}{2 \eta} J \int_{r=0}^{r=r_0} (r_0^2 - r^2) r dr = \frac{\pi \gamma}{8 \eta} Jr_0^4 = \frac{\pi \gamma}{128 \eta} JD^4$$

ёки

$$Q = MJD^4. \quad (4.36)$$

Бунда M коэффициент суюқлик турига боғлиқ:

$$M = \frac{\pi \gamma}{128 \eta}.$$

Ўртача тезлик эса:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \left(\frac{\pi \gamma JD^4}{128 \eta} \right) : \frac{\pi D^2}{4} = \frac{1 \gamma JD^2}{32 \eta} \quad (4.38)$$

ёки

$$v = \frac{1 \gamma \eta}{32 \eta l} D^2 = \frac{1 \gamma}{8 \eta} Jr_0^2 = \frac{1}{2} u_{max}. \quad (4.39)$$

Бинобарин,

$$h_f = 32 \frac{\eta}{\gamma} \frac{l}{D^2} v. \quad (4.40)$$

(4.36) ифода 1840 йилда медицина соҳаси бўйича доктор Пуазейл томонидан ёзилган бўлиб, бу ифодани у капилляр найчаларда суюқлик ҳаракатини ўрганиб, тадқиқот қилиш натижасида кашф қилган. (4.40) ифодани кузатиб, қуйидаги асосий хулосаларни чиқариш мумкин.

Оқимнинг ламинар тартибдаги ҳаракатида напор йўқолиши қуйидагиларга боғлиқ:

- 1) суюқликнинг қовушоқлик (η) ва ҳажмий оғирлиги (γ) ни ҳисобга олувчи физик хоссасига;
- 2) ўртача тезликнинг биринчи даражасига тўғри пропорционал;
- 3) ўзанининг ғадир-будурлигига боғлиқ эмас.

Айрим ҳолларда цилиндрсимон қувурларда ламинар тартибда ҳаракатланаётган оқим энергияси (напори)нинг йўқолиши (h_f) қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$h_f = 32 \frac{\eta}{\gamma} \frac{v}{D^2} l = 32 \frac{\eta}{D} \frac{l}{D} \frac{v}{g} \frac{2}{2} \frac{v}{v} = 64 \frac{\eta}{Dv} \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}, \quad (4.41)$$

бундан

$$h_f = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (4.42)$$

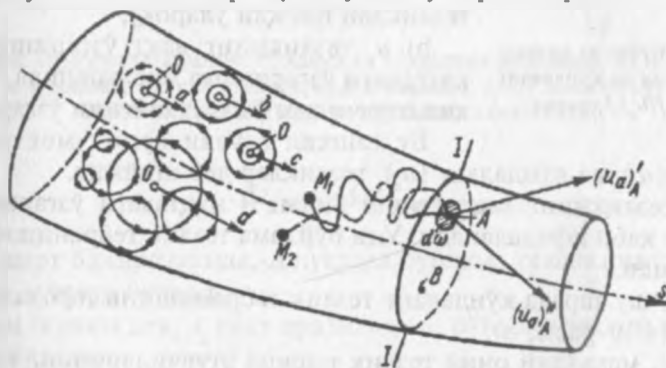
Бу ифодалардан кўриниб турибдики, гидравлик ишқаланиш коэффициентини λ суюқлик оқимининг ламинар тартибдаги ҳаракатида унинг тезлигига боғлиқ:

$$\lambda = \frac{64}{Re_D}. \quad (4.43)$$

Б. ТУРБУЛЕНТ ОҚИМНИ ҲИСОБЛАШ МОДЕЛИ. СУЮҚЛИКНИНГ ТУРБУЛЕНТ ТАРТИБДАГИ ҲАРАКАТИДА ЎРТАЧА ТЕЗЛИКНИНГ ТАҚСИМЛАНИШИ

4.6. ТУРБУЛЕНТ ҲАРАКАТДАГИ ОҚИМНИ ЎРГАНИШДА ФЙОДАЛАНИЛАДИГАН АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

Маҳаллий оний (актуал) тезлик. Турбулент тартибда ҳаракатланган оқим структурасини қуйидагича тасаввур қилишимиз мумкин. Суюқлик оқимининг юқори тезликларида турли шакл ва катталикларга эга бўлган суюқлик ҳажмлари (4.7-расм, *a, b, c*) тартибсиз айланма ҳаракатлана бошлайди. Суюқлик ичида пайдо бўлувчи ва тарқалиб кетувчи айланмалар оқим бўйлаб узғариб боради.



4.7-расм. Турбулент ҳаракат схемаси

Берилган 1—1 кесимдан бу ҳажмлар маълум вақтларда ўтади. Агар бу ўтаётган ҳажмларнинг бирор *A* қўзғалмас нуқтасидаги заррачаларни олсак, бу заррачалар *O* марказга нисбатан айланма ва илгариланма ҳаракат қилади. Шу сабабли, бу нуқтада тезлик ҳар доим ўзғариб туради.

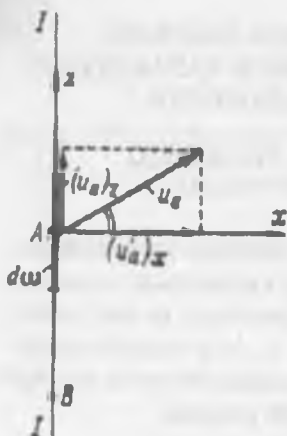
Агар *A* нуқтага тушаётган заррачалар тўплами ($M_1, M_2, \dots$)нинг турли *t* вақт оралиғидаги ҳаракатини кузатсак, қуйидагиларни олиш мумкин:

а) M_1 заррача турли траектория чизиб ҳаракатланиб, ихтиёрий t_1 вақтда *A* нуқтада $(u_a)'_{A1}$ тезликка эга бўлади;

б) M_2 заррача эса бошқача траектория бўйлаб ҳаракатланиб, *A* нуқтада t_2 вақтда $(u_a)'_{A2}$ тезликка эга бўлади.

1—1 кесимнинг бошқа *B* нуқтасида ҳам ($t_1, t_2, \dots$) турли вақтларда турли тезлик $[(u_a)'_B, (u_a)'_B, \dots]$ ларга эга бўлиши мумкин.

Демак, муҳитнинг ихтиёрий қўзғалмас нуқтасидаги ихтиёрий (*t*) вақтдаги ҳақиқий u_a тезлик оний маҳаллий тезлик ёки актуал тезлик дейилади.



4.8-расм. Бўйлама актуал $[(u_a)_z]$ тезлик ва кўндаланг актуал $[(u_a)_x]$ тезлик

Маҳаллий оний (актуал) тезлик тебраниши. 4.8-расмда оқимнинг 1—1 текис кўндаланг кесимини белгилаб оламиз. Ундаги A қўзғалмас нуқта атрофида $d\omega$ элементар юзани белгилаймиз. Бу юзага Ax тик чизиқни ва Az ортогонал чизиқни чизиб оламиз. Бу нуқтадаги тезликни u_a деб белгилаб, унинг Ax ва Az ўқларга проекцияларини $(u_a)_x$ ва $(u_a)_z$ деб оламиз.

Актуал тезлик $(u_a)_x$ нинг бўйлама ташкил этувчиси қуйидаги жиҳатлари билан характерланади:

а) доимо ўз йўналишига эга бўлади $(u_a)_x$ тезликдан фарқли ўлароқ;

б) u_a тезликнинг вақт ўзгариши билан катталиги ўзгаришига мос равишда, бу ташкил этувчи ҳам ўз катталигини ўзгартиради.

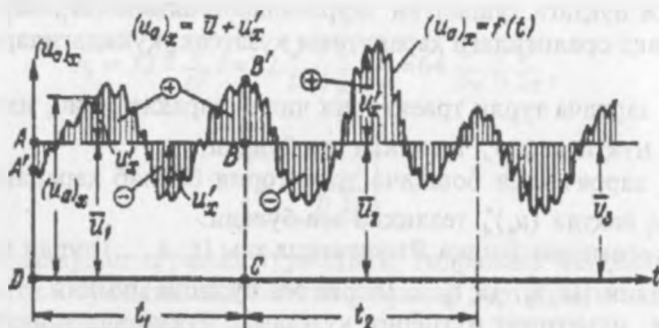
Бу ташкил этувчиларни мос равишда бўйлама $(u_a)_x$ ва кўндаланг $(u_a)_z$ тезликлар деб атаймиз.

$(u_a)_x$ тезликнинг вақт ўтиши билан A нуқтадаги ўзгариши 4.9-расмдаги каби ифодаланади. Уни бўйлама тезлик тебраниши графиги дейилади.

Худди шу тарзда кўндаланг тезлик тебранишини ифодалашимиз мумкин (4.10-расм, а).

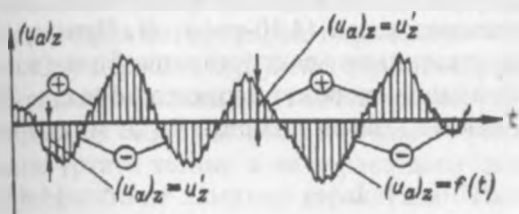
Демак, маҳаллий оний тезлик ташкил этувчиларининг вақт ўтиши билан ўзгариши тезлик тебраниши дейилади. Бу ҳодисани Пито найчасида суюқликнинг кўтарилиши ва тушишида кузатиш мумкин.

Уртача маҳаллий тезлик. Тебранма тезлик. 4.9-расмда ифодаланган бўйлама тезлик тебраниши графигидан t_1 вақт оралиғини танлаб олиб, унда AB тўғри чизиқни ўтказамиз. Бунда AB чизиқни шундай ўтказамизки, $ABCD$ ва $A'B'CD$ юзаларининг тенглигига эришамиз, яъни

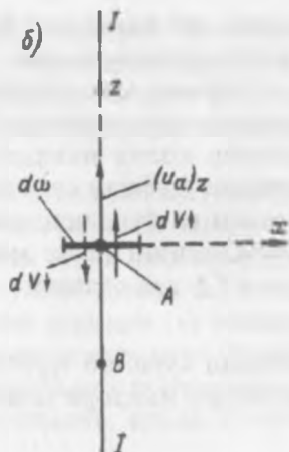


4.9-расм. Мўҳитда жойлашган A қўзғалмас нуқтадаги (4.7-расм) бўйлама актуал тезлик тебраниши графиги схемаси

а)



б)



4.10-расм. Турбулент оқимнинг буйлама ва кўндаланг йўналиши: а) A қўзғалмас нуқтадаги кўндаланг актуал тезлик графиги схемаси; б) dV ҳажмли суюқликнинг dm элементар юза орқали кўндаланг алмашинуви

$$\Omega_{ABCD} = \Omega_{ABCD}.$$

Шу шарт бажарилганда, A нуқтада буйлама тезликнинг ўртача u_1 қиймати мавжуд бўлади.

Худди шунингдек, t_2 вақт оралиғида $\bar{u}_2$ буйлама тезлик катталиги мавжуд бўлади:

$$\bar{u}_1 = \bar{u}_2 = \bar{u}_3 = \dots = \bar{u} = \text{const (вақт бўйича)}. \quad (4.44)$$

Бундай турбулент ҳаракат ўртача барқарор ёки барқарор ҳаракат дейилади. Агар бунда, $\bar{u}_1 \neq \bar{u}_2 \neq \bar{u}_3 \neq \dots \neq \bar{u}$ бўлса, бундай ҳаракат барқарор ҳаракат дейилади.

dm элементар юза орқали t вақт оралиғида оқиб ўтган суюқлик ҳажмини dV деб белгилаб олсак, барқарор ҳаракатдаги ўртача тезликни қуйидагича аниқлаш мумкин

$$\bar{u} = \frac{dV}{dt} = \text{const (вақт бўйича)} \quad (4.45)$$

4.9-расмни таҳлил қилиб, буйлама актуал тезликни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$(u_a)_x = \bar{u} + u'_x, \quad (4.46)$$

бунда u'_x — буйлама тебранма тезлик ёки тебранма қўшимча дейилади.

Катта вақт оралиғи учун

$$\sum u'_x dt = 0, \quad (4.47)$$

чунки, бу йиғинди 4.9-расмда чизиқчалар билан белгиланган юзалар йиғиндисига тенг.

Умуман, актуал тезликнинг кўндаланг ташкил этувчиси тебранишини қараётганимизда (4.10-расм) Oz ўққа ортогонал бўлган $d\omega$ элементар юзани назарда тутишимиз керак (4.10-расм, б). Чунки, бу юзадан ўтаётган суюқлик $(u_s)_z$ тезликнинг вақт ўзгариши билан катталиги ва йўналишининг ўзгариши ҳисобига ҳаракатда бўлади. Бу суюқликнинг t вақт мобайнида $d\omega$ юзадан юқорига ўтган миқдорини $dV \uparrow$ деб оламиз.

$$dV \uparrow = dV \downarrow. \quad (4.48')$$

Бундан кўриниб турибдики, t вақт мобайнида $d\omega$ юза орқали ўтган суюқлик миқдори нолга тенг.

$$dV = dV \uparrow - dV \downarrow = 0. \quad (4.48'')$$

Демак,

$$\bar{u}_z = 0 \quad (4.49')$$

Бу ифодани назарда тутиб, қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$(u_s)_z = 0 + u'_z = u'_z, \quad (4.49'')$$

бунда u'_z — кўндаланг тебранма тезлик.

Демак, актуал тезликнинг тебранма ташкил этувчиси деганда кўндаланг тебранма тезликни тушунамиз, яъни

$$\sum (u_s)_z dt = \sum u'_z dt = 0$$

Босим тебраниши. Ўртача оқим (Рейнольдс-Буссинеск модели). Тадқиқотлар натижасига асосланиб, шуни айтиш мумкинки, тезлик тебраниши босим тебраниши билан давом этади.

Барқарор турбулент оқим ҳаракатини кузатиб, ихтиёрий A нуқтадаги гидродинамик босимнинг турли вақт оралиқларидаги миқдорини қуйидагича ёзиш мумкин (4.7-расм):

$$\bar{p}_1 = \bar{p}_2 = \bar{p}_3 = \dots = \bar{p}. \quad (4.50)$$

О. Рейнольдс ва Ж. Буссинесклар турбулент оқимни ҳисоблаш учун фаразий модель таклиф этишган бўлиб, бу модель шундай суюқлик оқимидан иборатки, бунда заррачалар тезлиги маҳаллий бўйлама тезликка тенг бўлиб, оқим мавжуд бўлган муҳитнинг барча нуқталаридаги босим ўртача $\bar{p}$ гидродинамик босимга тенг бўлади. Бундай моделларда кўндаланг маҳаллий тезликлар, яъни турбулент кучиш эътиборга олинмайди.

Демак, турбулент оқимларни ҳисоблашда Рейнольдс-Буссинеск моделига асосан, u ва p катталиклар ишлатилади. Масалан, турбулент оқимлар учун Бернулли тенгламасидаги u ва p катталикларни

ёзишда, асосан, шу ўртача катталиклар назарда тутилади. Тебраниш жадаллигини аниқлашда эса α_c — тузатиш коэффициентидан фойдаланилади. Шунини таъкидлаш керакки, турбулент кучини ҳисобга олмаслик напор катталигига таъсир кўрсатади. Бу ҳақда кейинги мавзуларда батафсилроқ тўхталамиз.

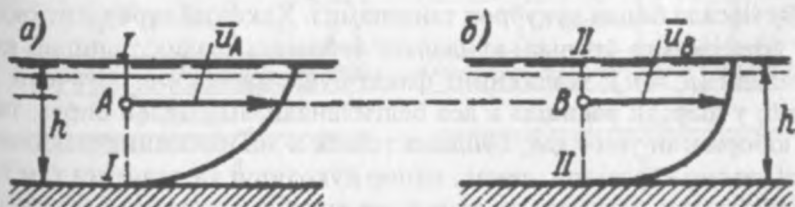
Суоқликнинг турбулент ҳаракатидаги ўртача тезлик. Бу тушунча билан танишганимизда битта асосий тушунчани ажратиб олишимиз керак. Бу бир муҳитнинг қўзғалмас нуқтасидаги турли вақт оралиғидаги ўртача тезлик u ва ҳаракатдаги кесим бўйлаб ўртача тезлик v . Суоқликнинг ламинар ҳаракатида бу катталик ҳақиқий (u) тезликларнинг ўртача қийматига тенг бўлса, турбулент ҳаракат учун бу катталикни аниқлашда аввал қўндаланг кесимнинг алоҳида нуқталаридаги бўйлама тезликларнинг ўртача қиймати олиниб, кейин бу катталикларнинг ўртача қиймати олинади.

Турбулент оқимнинг кинетик энергияси. 4.11-расмда иккита бир хил призматик ўзанлар ифодаланган. Бу ўзанлар оқимлар сарфи Q , чуқурлиги h ва ўртача тезлиги v бир хил эканлиги билан ажралиб туради. I—I ва II—II ҳаракатдаги кесимлар билан танишамиз (4.11-расм, а ва б). Гарчанд ўхшаш A ва B нуқталарда бўйлама $\bar{u}_A$ ва $\bar{u}_B$ тезликлар тенг бўлса-да, $\bar{u}_A = \bar{u}_B$ тезликлар тебраниши ҳар хил бўлиши мумкин. Бу кесимларни ўзаро таққослаб айтиш мумкинки, ўртача тезликлар бир хил бўлганлиги билан бу оқим ҳар хил структурага эга бўлади. Бунда, турбулентлик даражаси юқори бўлган оқим юқори кинетик энергияга эга бўлади. Бу кинетик энергия икки қиймат йиғиндисидан иборат (4.13-расм):

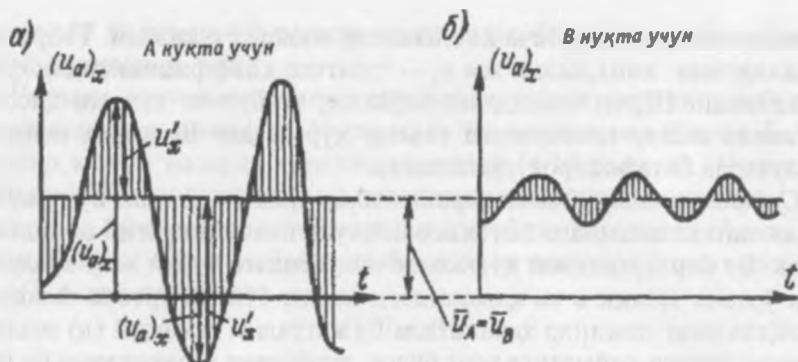
- $\bar{u}$ ўртача тезликка асосан ҳисобланган кинетик энергия;
- тебранма u тезликлар асосида ҳисобланган кинетик энергия.

Ламинар тартибдаги оқим учун кинетик энергия $\frac{mv^2}{2g}$ кўринишда ифодаланади. Бунда α — тузатиш коэффициенти бўлиб, тезликнинг ҳаракатдаги кесим бўйлаб тақсимланиши бир хил эмаслигини ҳисобга олади.

Турбулент тартибда ҳаракатланаётган оқим учун кинетик энергия $\frac{\alpha_c v^3}{2g}$ ифода орқали ифодаланади.



4.11-расм. Ҳар хил тезликларда ҳаракатланувчи оқимларни таққослаш



4.12-расм. 4.11-расмдаги оқимнинг бўйлама актуал тезлик тебраниши

$$\alpha_c = \alpha + \alpha_n, \quad (4.51)$$

бунда α_n — кўндаланг кесимнинг алоҳида нуқталарида тебранидиган тезликни ҳисобга олувчи тузатиш коэффиценти. Ушбу коэффицент фақат беқарор турбулент ҳаракатда мавжуд бўладиган жадал турбулент оқимларда ҳисобга олинади.

Барқарор турбулент ҳаракатда буни ҳисобга олмаслик мумкин. Хулоса қилиб таъкидлаш керакки, 4.11-расмдаги оқимларда тезлик тебранишининг ҳар хиллиги сабабли ўртача тезлик тақсимланиши ҳар хил бўлиб, эпюралар турли кўринишга эга бўлади.

4.7. ЎРТА ОҚИМЛАРДАГИ ТУРБУЛЕНТ УРИНМА КУЧЛАНИШЛАР

Ҳақиқий турбулент оқимларда, асосан, актуал уринма кучланишлар мавжудлиги бизга маълум. Турбулентлик туфайли бу кучланишлар майдони вақт мобайнида ўзгаради. Агар берилган вақтда бу майдон маълум бўлса, Ньютон қонунидан фойдаланиб, шу вақт учун актуал уринма кучланишлар майдонини ҳам ҳисоблашимиз мумкин. «Турбулент уринма кучланиш» тушунчаси (τ_r)ни, ҳақиқий турбулент оқим актуал кучланиши (τ) билан тенглаштириб бўлмайди. τ_r кучланиш ҳақиқий оқимларда бўлмайди, бу катталиқ фаразий тушунча бўлиб, ўрта оқимга (Рейнольдс-Буссинеск модели) уни ҳақиқий оқимга яқинлаштириш учун киритилади.

Бу масала билан чуқурроқ танишамиз. Ҳақиқий турбулент оқимдан ўрта оқимга ўтишда, кўндаланг тебранма тезлик тушириб қолдирилади ($u'_x = u_x$), тезликнинг фақат бўйлама ташкил этувчиси u_r қолиб, у шартли равишда u деб белгиланади. Шу билан бирга, ташлаб юборилган ушбу ҳад, бўйлама тезлик u эпюрасининг шаклланишига таъсир кўрсатади, демак, напор йўқолиши катталигига ҳам таъсир кўрсатади. Узунлик тезлиги u_x ни ҳисобга олмаслик натижасида бўладиган ўзгаришни мувозанатлаштириш учун бўйлама уринма куч-

ланиш (τ_T) тушунчаси киритилади. Албатта, бу кучланиш катталиги шундай танланиши керакки, унинг тезлик u эпюрасига таъсири ҳисобга олинмаган тезлик u_z таъсирига мувозанатлашсин.

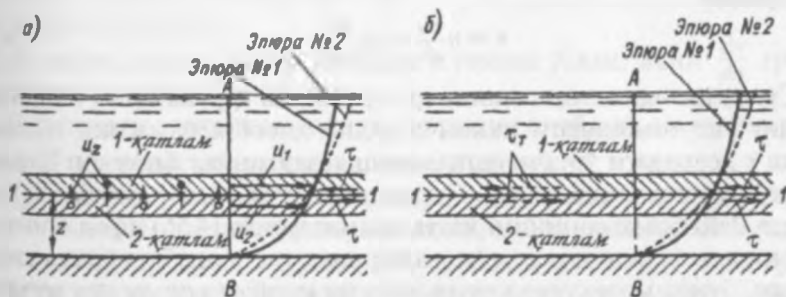
4.13-расм, а да чуқурлик бўйича заррачалар алмашинуви мавжуд бўлган ҳақиқий оқим схемаси тасвирланган. Ундаги «қора» заррачалар u_z узунлик бўйича нисбатан каттароқдир. Булар u_z тезлик билан пастки қатламга тушиб, унинг ҳаракатини тезлаштиради. «Оқ» заррачалар эса нисбатан кичик тезликка эга бўлиб, 2-қатламдан 1-қатламга ўтиб, бу қатламдаги оқим ҳаракатини секинлаштиради. Агар 1-эпюра тезлиكنинг ҳақиқий эпюраси бўлса, 2-эпюра эса u_z тезлик ҳисобга олинмаган ҳолат учун тезлиكنинг тақрибий эпюраси дейилади.

4.13-расм, б да эса, турбулент алмашинув бўлмаган ($u_z = 0$) ҳолат учун Рейнольдс-Буссинеск модели схемаси ифодаланган. Бундай схема учун 2*тезлик эпюрасига эришишимиз керак. Мана шу схемага u_z тезлик ўрнига фараз қилинаётган τ_T уринма кучланишини киритиб, 2-эпюра ўрнига «ҳақиқий» 1-эпюрани олишимиз мумкин. Юқоридаги а — схемадан кўриниб турибдики, ҳақиқий оқимларда Ньютон уринма кучланишлари τ мавжуд, Рейнольдс-Буссинеск моделида (б-схема) эса 1—1 сирт бўйлаб ($\tau + \tau_T$)га тенг бўлган уринма кучланишлар мавжуд. τ_T кучланиш катталигини аниқлаш учун қуйидаги кўринишга эга бўлган постулатдан фойдаланамиз.

$$\delta[XC(M) \uparrow \downarrow]_a = IK(\tau_T)_\delta,$$

бунда XC — элементар ҳажмдаги суюқликнинг турбулент алмашинув натижасидаги ҳаракатлар сонининг ўзгариши; IK — фараз қилинаётган ишқаланиш кучлари импулси (4.13-расм, б).

Юқоридаги ифодани кучлар импулсининг ҳаракатлар сони тенгламаси деб аташ мумкин эмас. Чунки, тенгламанинг чап томонидаги ҳад ҳақиқий оқим учун ўринли бўлса (4.13-расм, а), унг томонидаги ҳад фараз қилинаётган оқим учун ўринлидир (4.13-расм, б).



4.13-расм. Уринма кучланишларини ўрганишга доир: а) «ҳақиқий» оқим, чуқурлик бўйича заррачалар алмашинуви мавжуд; б) ўртача оқим модели

Буссинеск бу тенгламани ўзининг махсус усули билан ечиб, тузилиши жиҳатидан (4.21) ифодага ўхшаш қуйидаги тенгламани олган:

$$\tau_T = \eta_T \left| \frac{du}{dn} \right|, \quad (4.52)$$

бунда $\frac{du}{dn}$ — тезлик градиенти бўлиб, маъноси (4.21) ифодадаги ка-бидир, фақат бунда u — тезликнинг узунлик бўйича ўртача қиймати; η_T — турбулент қовушоқликнинг динамик коэффициентни ёки турбулент алмашинуви коэффициентни.

Л. Прандтль молекуляр қовушоқликни йўқ деб фараз қилиб, η_T коэффициентни аниқлаш учун қуйидаги формулани таклиф этган:

$$\eta_T = \rho l^2 \frac{du}{dn}, \quad (4.53)$$

бунда l кучиш масофаси узунлиги ёки аралашиш деб аталади. Тадқи-қотчилар бунга турлича физик маъно беришади. Бу катталиқ қуйи-дагича аниқланиши мумкин:

$$l = \kappa z, \quad (4.54)$$

бунда z — ўзан деворидан турбулент уринма кучланиш аниқланаёт-ган нуқтагача бўлган масофа, κ — «Прандтлнинг умумий доимийси» деб аталиб, Никурадзе тажрибалари натижасига асосан айлана шакл-даги қувурлар учун $\kappa \approx 0,4$ деб қабул қилинган.

(4.53) ифодани ҳисобга олиб, турбулент қовушоқлик ёки алма-шинувининг кинематик коэффициентини қуйидаги кўринишда ёзи-шимиз мумкин:

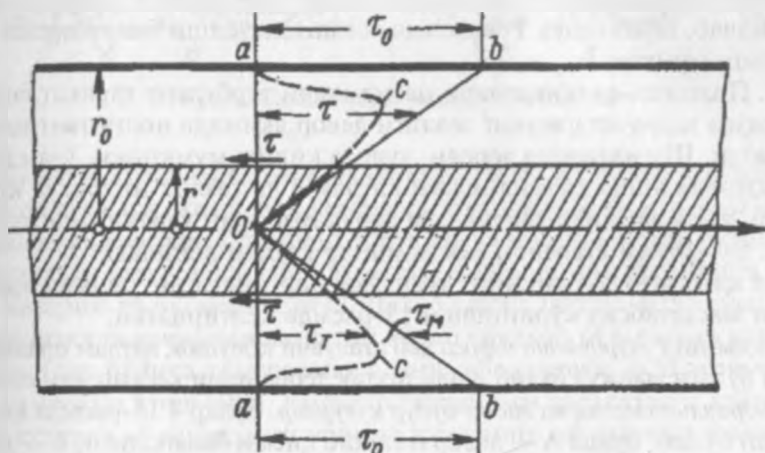
$$\nu_T = \frac{\eta_T}{\rho} = l^2 \frac{du}{dn}. \quad (4.55)$$

Умуман, ўртача оқим юқорида келтирилган ҳар иккала қовушоқ-ликка эга бўлиши керак. Яъни, тўлиқ уринма кучланиш қуйидагига эга бўлади:

$$\tau = \eta \frac{du}{dn} + \eta_T \frac{du}{dn}. \quad (4.56)$$

Суюқлик оқимининг ламинар тартибдаги ҳаракатида (4.56) ифо-данинг ўнг томонидаги иккинчи ҳадни ҳисобга олмаслик мумкин, бунда τ девордаги ўртача ишқаланиш тезлигининг биринчи даража-сига тўғри пропорционалдир. Суюқликнинг турбулент тартибдаги ҳара-катида Рейнольдс сонининг катта қийматларида (4.56) ифоданинг ўнг томонидаги иккинчи ҳад қиймати биринчи ҳадга нисбатан анча юқори бўлади, бунда молекуляр қовушоқликни инобатта олмаслик мумкин. Бундай ҳолатда τ катталиқ ўртача тезликнинг иккинчи даражасига тўғри пропорционал бўлади.

(4.56) ифода тўғри бўлган ҳолатларда айлана шаклдаги қувурда ҳаракатланаётган ўртача турбулент оқимлар учун турбулент уринма кучланиш τ_T эпюраси 4.14-расмда ифодаланганидек, Оса шаклда бўлиши кузатишган. Бу расмда τ_M — молекуляр қовушоқлик билан характерланувчи уринма кучланиш.



4.14-расм. Босимли қувурдаги оқим кесими бўйлаб бўйлама ишқаланишдаги уринма кучланишларнинг тақсимланиши

4.8. ТЕКИС БАРҚАРОР ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН ТУРБУЛЕНТ ОҚИМ КЕСИМИДАГИ ЎРТАЧА ТЕЗЛИКНИНГ ТАҚСИМЛАНИШИ. ҚОВУШОҚЛИК ҚАТЛАМИ. СИЛЛИҚ ВА ҒАДИР-БУДУР ҚУВУРЛАР. ЧЕГАРАВИЙ ҚАТЛАМ

Турбулент оқимнинг ҳаракатдаги кесим бўйлаб тақсимланиши. Қовушоқ қатлам. Бунни кузатиш учун 4.15-расмда ифодаланган АВ ҳаракатдаги кесимда ўртача тезлик тақсимланиши эпюрасини куриб чиқамиз. Тажриба натижасига асосланиб, бу эпюрани қуйидагича тавсифлаш мумкин:

ВА чизиқ бўйлаб девор яқинида u тезлик ўсади, яъни $\frac{du}{dn}$ градиент катта тезликка эга бўлади;

2) девордан узоқроқ масофада u катталиқ нисбатан секин ўзгаради, яъни $\frac{du}{dn}$ катталиқ кичик қийматга эга бўлади.

Суюқликни ранглаш ёрдамида кузатганда, суюқлик оқим марказидан унинг ён томонларига ва, аксинча, ён томондан марказий қисмга ўтиб, аралашиб туради. Шу сабабли, яъни турбулент аралашуш ҳисобига оқимнинг турбулент тартибдаги ҳаракатида ламинар тартибдаги ҳаракатга нисбатан тезлик тақсимланиши марказий қисмда текис бўлади.

Агар напор остидаги ламинар тартибли оқимнинг ўртача тезлиги (v) нинг қувур ўқи бўйича тезлиги ($u_{\text{макс}}$) га нисбати $\frac{u}{u_{\text{макс}}} = 0,5$ бўлса, тажрибаларда турбулент тартибдаги ҳаракатда $\frac{v}{u_{\text{макс}}} = 0,70 \div 0,90$ эканлиги исботланган.

Бу муносабатнинг узан девори ғадир-будурлигига боғлиқлигини таъкидлаб, шунингдек Рейнольдс сонининг ўсиши билан ортишини кузатиш мумкин.

Л. Прандтль тадқиқотлари натижалари турбулент ҳаракатланаётган оқим заррачаларининг тезлиги девор яқинида нолга тенглигини кўрсатди. Шу натижага асосан, хулоса қилиш мумкинки, узан девори яқинида юпқа қатинликдаги қатлам δ да тезлик ниҳоятда кичик бўлиб, унда ламинар тартибдаги ҳаракатга яқин ҳаракат мавжуд бўлади. Бу қатлам қовушоқ ёки ламинар қатлам дейилади.

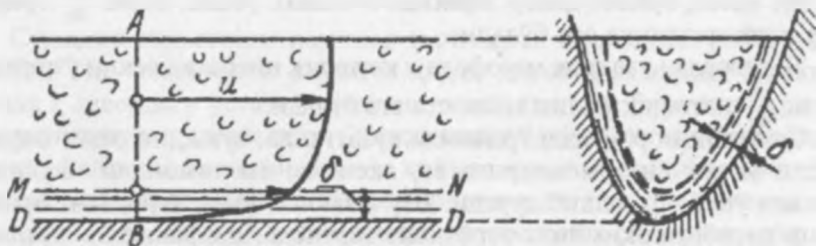
Бу қатлам чуқурликнинг мингдан бир қисмини ташкил қилиб, унинг масштабсиз кўриниши 4.15-расмда келтирилган.

Оқимнинг *турбулент ядроси* деб аталувчи қовушоқ қатлам оралиғида ўтиш бўлаги мавжуд бўлиб, унда тезлик тебраниши кескин камаяди.

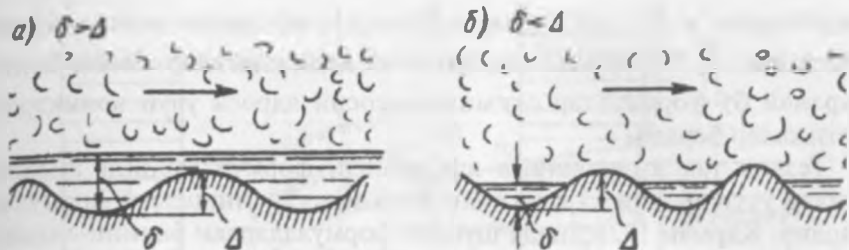
Гидравлик силлиқ ва ғадир-будур қувурлар. Булар 4.16-расмда келтирилган бўлиб, бунда Δ — девор нотекис қисми баландлиги, δ — қовушоқ қатлам баландлиги. а схемадаги ҳолатда ғадир-будурлик қовушоқ қатлам билан ёпилади ($\delta > \Delta$) ва натижада силлиқ девор пайдо бўлади. Бундай деворларда узунлик бўйлаб напор йўқолиши узан деворининг ғадир-будурлигига боғлиқ эмас деб қабул қилинади.

б схема мавжуд бўлган ҳолатларда эса ($\delta < \Delta$) турбулент соҳада нотекисликлар алоҳида «дўнгликлар» кўринишида бўлиб, оқим турбулент ядроси заррачалари уларга урилиши натижасида напор йўқолиши узан деворининг ғадир-будурлигига боғлиқ бўлади.

Махсус тадқиқотлар натижасида аниқланишича, Рейнольдс сонининг ўсиши билан қовушоқ қатлам қалинлиги δ камаяр экан. Шу сабабли, хулоса қилиш мумкинки, силлиқ ва ғадир-будур деворлар тушунчаси нисбийдир. Битта деворнинг ўзи маълум бир шароитда (Re — Рейнольдс сонининг кичик қийматларида) силлиқ бўлса, бошқа бир шароитда (Re — Рейнольдс сонининг катта қийматларида) девор ғадир-будур бўлади.



4.15-расм. Турбулент ҳаракатда (ўртача) тезликлар эпюраси:
 δ — қовушоқ қатлам қалинлиги



4.16-расм. Силлик (а) ва гадир-будур (б) ўзан

Айлана қувурларда босим остида турбулент тартибда ҳаракатланаётган суюқлик оқими учун уртача тезлик эпюрасини қуришда ишлатиладиган ифодалар. Турбулент тартибда ҳаракатланаётган оқимнинг ҳаракатдаги кесими бўйлаб тезлик тақсимланишини урганишга жуда кўп назарий ва экспериментал ишлар бағишланган. Шулардан цилиндр шаклли қувурдаги вазиятни кўриб чиқамиз (4.6-расмга қаранг).

Узунлик бўйича тезлик эпюрасини ифодаловчи ACB эгри чизик тенгламасини ёзиш учун, ламинар тартибдаги ҳаракатдаги каби, иккита турлича кўринишдаги уринма кучланиш ифодасини ёзамиз.

1. Текис ҳаракат тенгламаси:

$$\tau_T = \gamma R'J.$$

2. Турбулент уринма кучланиш тенгламаси:

Ламинар тартибдаги ҳаракат каби бу иккала тенгламани биргаликда ечиб, қуйидаги тенгламани ёзишимиз мумкин:

$$du = -\frac{1}{2} \frac{\gamma}{\eta T} Jrdr. \quad (4.57)$$

Бу ифодани интеграллаб, қуйидаги ифодани топамиз:

$$u = -\frac{1}{2} \gamma J \int_0^r \frac{1}{\eta T} r dr \quad (4.58)$$

Ламинар тартибдаги ҳаракатда бундай ҳолатда η катталики ўзгармас бўлиб, интеграл остидан чиқарилиб, тенглама енгил ечилар эди. Лекин, турбулент ҳаракатда η_T ҳаракат ҳолатига боғлиқлиги сабабли, бу тенгламага қўшимча гипотеза ва ўзгаришлар киритилиб, тақрибий усулда ечилиши мумкин. Бу тенглама Л. Прандтль томонидан ечилиб, тезлик тақсимланишининг логарифмик қонуни олинган. Бундан ташқари, Карман, Тейлор, А. Н. Патрашев ва бошқа тадқиқотчилар ҳам бу тенгламани ечиш билан шуғулланишган.

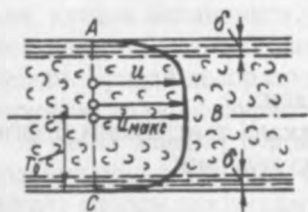
Юқоридаги тенглама асосида олинган ABC эгрилик айрим камчиликларга эга (4.17-расм). Улар ҳар доим ҳам чегаравий шартларни қаноатлантирмайди. Булар $r = r_0$ бўлганда девор олдидаги суюқлик

тезлигининг $u = -\infty$ бўлиши ва Прандтль ифодасига асосан тезлик градиенти $\frac{du}{dr} \neq 0$ бўлиши ҳақиқатга мос келмаслигидир. Лекин шунга қарамай бу формулалар оқимнинг асосий ядроси учун қониқарли натижалар беради.

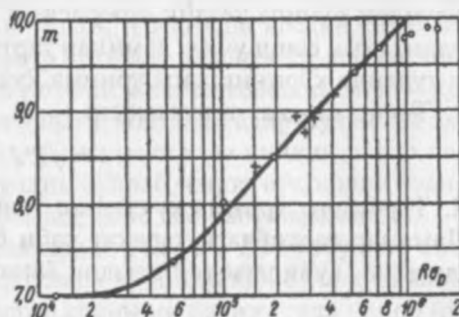
Тезлик тақсимланишини ифодаловчи формулаларнинг амалий ишлар учун қулайи кўрсаткичли функция кўринишидаги формулалардир. Карман 1921 йилда шундай формулалардан бирини силлиқ қувурлар учун тажрибалар натижасида қуйидаги кўринишда олган:

$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{r_0}\right)^{\frac{1}{m}}, \quad (4.59)$$

бунда r_0 — қувур радиуси, r — ҳаракатдаги кесим марказида u тезлик ўлчанаётган нуқтагача бўлган масофа, m — Рейнольдс сони (Re_D) га боғлиқ бўлган даража кўрсаткичи (4.18-расм), $u_{\max}$ — қувур ўқи бўйлаб оқимнинг максимал тезлиги.



4.17-расм. Оқимнинг айлана қувурлардаги турбулент ҳаракатида тезлик тақсимланиши

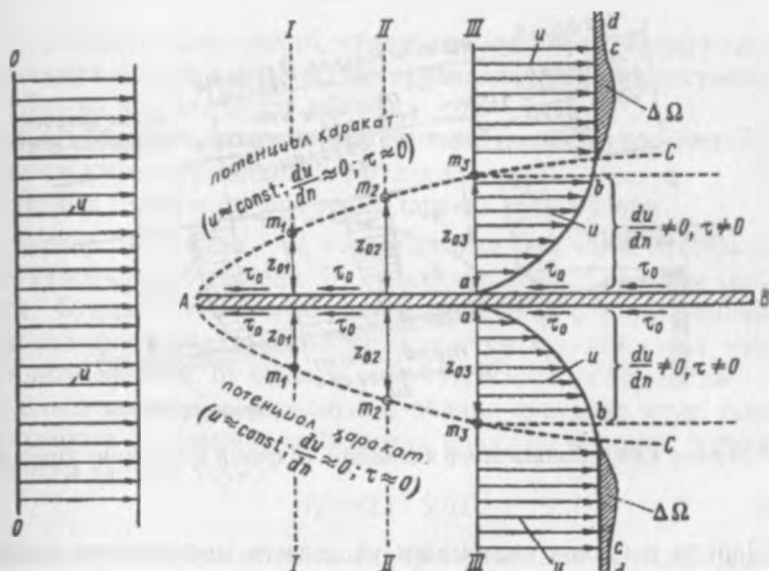


4.18-расм. (4.59) ифодадаги m катталигини аниқлаш учун экспериментал график

Бу ифодадаги $1/m$ кўрсаткич катталигини қуйидаги формула ёрдамида аниқлаганда уни ғадир-будур қувурлар учун ҳам қўллаш мумкинлиги 1956 йилда А. Д. Альтшуль томонидан исботланган.

$$\frac{1}{m} = 0,9\sqrt{\lambda}. \quad (4.60)$$

Девор яқинидаги чегаравий қатлам. Узун AB қўзғалмас пластинкани кўриб чиқамиз. Бу пластинка устидан реал суюқликдан иборат горизонтал оқим ўтмоқда (4.19-расм). Унинг 00 вертикал кесимида $u = \text{const}$ бўлиб, бутун кесим бўйлаб ўзгармасдир. Оқим бу пластинкадан ўтишда τ_0 ҳаракатига тўсқинлик қилувчи ишқаланиш кучланиши олади, бу пластинка юзасида тезлик нолга тенг бўлади.



4.19-расм. Девор яқинидаги чегаравий қатлам қалинлиги z_0
(AB қўзғалмас пластинка яқинида пайдо бўлади)

III—III кесим билан танишиб, ҳулоса қилиш мумкинки, AB пластинканинг секинлаштирувчи таъсири натижасида u тезлик кўриниши $abcd$ шаклида бўлади. z_0 , бўлак оралиғида u тезлик эпюраси сезиларли кўринишда ўзгаради (расмдаги am_3 ҳаракатдаги кесим қисми). Бу участкадан ташқари қисмда u тезлик ўзгариши нисбатан камроқ бўлади, шу сабабли

$$\frac{du}{dn} \approx 0 \quad \text{ва} \quad \tau \approx 0.$$

Худди шундай вазият бошқа кесимларда ҳам кузатилиши мумкин.

$$z_{01} < z_{02} < z_{03}, \dots$$

Юқоридагига асосланиб, қуйидаги хусусиятлар билан характерланувчи девор яқинидаги AB суюқлик қатлами чизигини белгилаб олиш мумкин:

1. z_0 — суюқлик қатлами баландлиги оқим бўйлаб ўсади;

Қатлам таъсири доирасида $\frac{du}{dn}$ ва τ катталиклар қийматлари нолдан фарқ қилади.

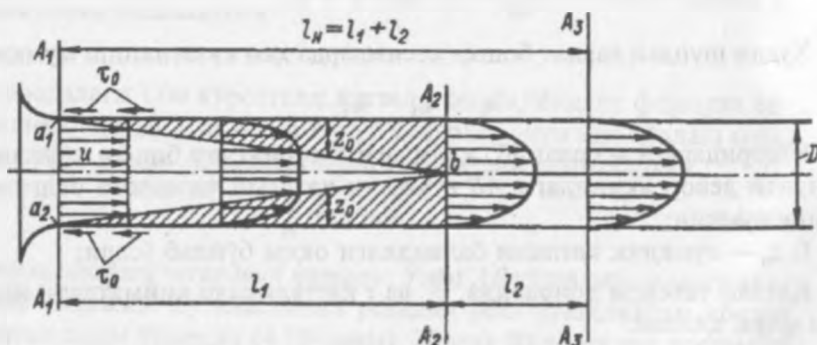
Бу қатлам чизигидан ташқарида $\frac{du}{dn}$ ва τ катталиклар сезиларли ўзгармаганлиги сабабли, суюқликни идеал ҳолатда потенциал ҳаракатланади деб ҳисоблаш мумкин.



4.20-рasm. Канал бошида девор яқинидаги чегаравий қатламнинг ўзгариши

Шартли равишда юқоридаги уч ҳолатга мос келувчи қатламни «девор яқинидаги чегаравий қатлам» деб қабул қиламиз. 4.20-рasmда суюқликнинг сув ҳавзасидан каналга оқиб тушиши тасвирланган.

Босимли қувурларда чегаравий қатлам ўзгариши. Оқимнинг «бошланғич участкаси». Агар 4.21-рasmда ифодаланганидек кам тўсиқли бўлган қувурга реал суюқлик киришини кузатсак, A_1A_1 бошланғич участкада u тезлик эпюраси текис кўринишда бўлади. Маълум бир l_1 масофадан кейин τ_0 ишқаланиш кучланишининг таъсирида (A_2A_2 кесимгача) чегаравий қатламнинг z_0 баландлиги орта бошлайди. A_2A_2 кесимда (аниқроғи b нуқтада) чегаравий қатлам бирлашиши амалга ошади. l_1 ёрдамида белгиланмаган a_1-b-a_2 соҳа мавжуд бўлиб, бу соҳа ичида суюқлик потенциал ҳаракатда бўлади, яъни, соҳада $u = \text{const}$. Лекин оқим бўйлаб тезлик ошади.



4.21-рasm. Босимли айлана шаклидаги қувур девори яқинидаги чегаравий қатлам ўзгариши (чегаравий қатлам узук чизиқлар билан кўрсатилган). A_1-A_2 вертикалнинг ўнг томонида чегаравий қатлам мавжуд эмас.

4.21-расмни таҳлил қилиб, кўриш мумкинки, чегаравий қатламдан ташқари A_1A_2 ва A_3A_4 кесимлар оралиғида қуйидаги хусусиятларга эга бўлган яна бир бўлак мавжуд:

а) A_1A_2 кесимдаги тезлик эпюраси текис ҳаракатга хос бўлган (A_1A_2 кесимдаги каби) кўринишга эга бўлади;

б) тезлик тебраниши ҳам текис ҳаракат каби бўлади.

Қувурлар тизимида $l_H = l_1 + l_2$ узунликка эга бўлган масофа «бошланғич участка» деб аталади. Бу бўлакдаги ҳаракат *нотекис ҳаракат* бўлади. Бундан кейин ифодаланадиган напор йўқолишларини аниқловчи формулалар текис ҳаракат учун қўлланилиши мумкин бўлганлиги сабабли, бу бўлакда улар тўғри натижа бермайди.

Бошланғич участка узунлигини айлана қувурлар учун тажриба натижаларига асосланиб, қуйидагича аниқлаш мумкин (турбулент тартибдаги ҳаракат учун):

$$l_H = (25 + 50)D. \quad (4.61)$$

4.22-расмда турбулент ва ламинар тартибдаги ҳаракатларда тезликнинг тақсимланиш эпюраси келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики, девор яқинидаги оқим чегаравий қатламининг энг катта қалинлиги қувур диаметрининг ярмига тенг.

В. СУЮҚЛИК ОҚИМИНИНГ ТУРБУЛЕНТ ТАРТИБДАГИ ТЕКИС БАРҚАРОР ҲАРАКАТИДА НАПОР ЙЎҚОЛИШИ

4.9. ДАРСИ-ВЕЙСБАХ ФОРМУЛАСИ. ГИДРАВЛИК ИШҚАЛАНИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Тажрибалар натижасига асосан $\frac{r_0}{\gamma}$ нисбат катталигини тезлик напори орқали ифодалаш мумкин:

$$\frac{r_0}{\gamma} = \frac{\lambda}{4} \frac{v^2}{2g}, \quad (4.62)$$

бунда $\frac{\lambda}{4}$ — эмпирик пропорционаллик коэффиценти. (4.62) ва (4.15) ифодаларни биргаликда ёзиб, қуйидагини ҳосил қилиш мумкин:

$$RJ = \frac{\lambda}{4} \frac{v^2}{2g}, \quad (4.63)$$

бундан $J = h_f : l$ муносабатни инobatга олган ҳолда

$$h_f = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g} \quad (4.64)$$

ифодани оламиз.

Бунда l — оқим узунлиги; R — гидравлик радиус.

Айлана шаклдаги босимли қувурлар учун тенглама қуйидаги кўринишга эга:

$$h_f = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (4.65)$$

Бу формула *Дарси-Вейсбах* формуласи деб аталади. Ўлчов бирлиги бўлмаган λ коэффициентни эса *гидравлик ишқаланиш коэффициенти* деб аташ қабул қилинган. Бу коэффициентни дастлаб тадқиқотчилар ўзгармас, кейинчалик оқимнинг ўртача тезлиги ва ўзан деворларига боғлиқ деб қарашган. Лекин ҳозирги амалий ҳисобларда бу катталиқни ўзаннинг ғадир-будурлик коэффициенти ва Рейнольдс сони катталиқларига боғлиқ ҳолда аниқловчи формулалардан фойдаланилади.

Ҳаракатдаги кесим бўйлаб тезлик тақсимланишини билган ҳолда турбулент тартибдаги оқим ҳаракати учун λ катталиқни аниқлаш мумкин:

$$\lambda = \frac{h_f}{l} D \frac{2g}{v^2} = J \frac{D}{4} g \frac{8}{v^2}, \quad (4.66)$$

бунда:

$$\lambda = R J g \frac{8}{v^2} = 8 \frac{v_*^2}{v^2}, \quad (4.67)$$

Бинобарин,

$$\frac{v}{v_*} = \sqrt{\frac{8}{\lambda}}. \quad (4.68F)$$

Бундан

$$\lambda = \frac{8v_*^2}{v^2} \quad (4.68F)$$

1932 йилда Л. Прандтль силлиқ қувурлар учун қуйидаги формула ёрдамида гидравлик ишқаланиш коэффициентини аниқлашни таклиф этган:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg(\text{Re}_D \sqrt{\lambda}) - 0,8. \quad (4.69)$$

1913 йилда эса, Рейнольдс сонининг 4000÷100000 оралиқдаги қийматлари учун λ коэффициентни аниқлашнинг қуйидаги кўринишини Блазиус таклиф этган:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}_D^{0,25}}. \quad (4.70)$$

Ғадир-будур қувурлар учун гидравлик ишқаланиш коэффициентини аниқлаш билан жуда кўп тадқиқотчилар шуғулланишган. Шулардан ҳозирги даврда амалиётда энг кўп қўлланиладиганлари билан танишамиз.

4.10. НАПОР ЙЎҚОЛИШINI АНИҚЛАШ БЎЙИЧА И. НИКУРАДЗЕ ТАДҚИҚОТЛАРИ

И. Никурадзе напор йўқолишини аниқлаш бўйича тадқиқотлар ўтказиш учун 4.23-расмда кўрсатилган қурилмадан фойдаланган.



4.23-расм. Никурадзе тадқиқотлари ўтказилган қурилма схемаси

D диаметрли қувурга K кран ва бир-биридан l масофада жойлашган иккита Π пьезометрлар ўрнатилган. K кран ёрдамида тезликни ўзгартириб, бу тезликнинг турли қийматлари учун h_l напор йўқолишини пьезометрлар ёрдамида аниқлаш мумкин.

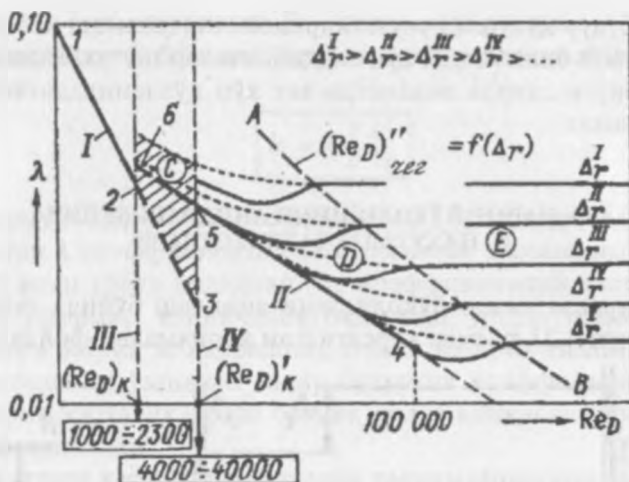
Тажрибада h_l , v , ν катталикларни аниқлаб,

$$\lambda = \frac{h_l}{l} 2g \frac{D^3}{v^2} \frac{1}{Re_D^2}$$

формула ёрдамида $\lambda = f(Re_D)$ графигини тузиш мумкин ва λ катталигини аниқлаш имкониятига эга бўламиз. И. Никурадзе бир хил баландликка эга бўлган ва бир-биридан бир хил узоқликда жойлашган қум заррачаларини деворга ёпиштириш йўли билан бир хил текис тақсимланган сунъий ғадир-будурлик яратган. Бундай қувурда босимли ҳаракат вақтида нисбий ғадир-будурликнинг турли қийматлари учун λ ва Re_D катталикларнинг ўлчамсиз қийматлари эгриликлари графигини қурди:

$$\Delta_r = \frac{\Delta}{D}, \quad (4.71)$$

бунда Δ — ғадир-будурлик баландлиги, u қувур диаметрига нисбатан ниҳоятда кичик бўлган катталикдир.



4.24-рasm. Никурадзе графиги схемаси

(Δ , катталиқнинг турли қийматлари учун $\lambda = f(Re_D)$ эгриклари):

I-ламинар тартиб соҳаси; C-утиш соҳаси; II-турбулент тартиб соҳасининг силлиқ узанлар соҳаси; D-турбулент соҳадаги гадир-будур узанларнинг квадрат қаршилиқларгача бўлган соҳаси; E-турбулент соҳанинг гадир-будур узанлар учун квадрат қаршилиқлар соҳаси

(4.24-рasmдаги график) сиқилмас суюқликнинг айлана қувурда текис барқарор ҳаракати учун напор йўқолиши ҳақидаги масалани умумлаштириш имконини беради.

Бу графикда қуйидагиларни кузатиш мумкин:

(4.64) ва (4.65) ифодалар таркибига кирувчи λ коэффициент умумий ҳолларда фақат Δ , ва Re_D катталиқларга боғлиқ;

λ коэффициент фақат Δ , ёки Re_D катталиқларга боғлиқ бўлган хусусий ҳолларда ҳаракатлар ҳам мавжуд бўлади;

Шундай маълум соҳалар мавжудки, Δ , ва Re_D катталиқларнинг қийматлари соҳасида

$$h_l \propto v^m \quad (4.72)$$

пропорционаллик мавжуддир.

4.24-рasmда Никурадзе графигининг схемасидан фойдаланиб, қуйидагиларни хулоса қилиш мумкин:

I чизиқ — ламинар тартиб чизиғи дейилади.

II чизиқ — Блазиус формуласига асосан чизилганлиги сабабли Блазиус чизиғи дейилади.

Маълум бир масштабда горизонтал йўналишда $\lg Re_D$ ва вертикал йўналишда $\lg \lambda$ катталиқларни қўйсақ, I ва II таянч чизиқларни маълум кўрсаткичли функция билан ифодаланувчи чизиқ кўринишида ифодалашимиз мумкин. Бу графикни учта соҳага бўлиш мумкин.

Биринчи соҳа — ламинар тартиб соҳаси; чизиқнинг 1—2 қисми билан ифодаланган бўлиб, бу чизиқ (4.43) тенгламага асосан тузилган. Бунда ҳар хил Δ , ғадир-будурликлар учун тажриба натижаларига асосан тузилган $\lambda = f(Re_D)$ графиклар 1—2 чизиқ билан бирлашиб кетади. Бу соҳа учун қуйидаги ҳолатлар мавжуддир:

а) Re_D катталиқ нисбатан кичик, яъни $(Re_D) = 1000 \div 2300$;

б) h_1 напор йўқолиши ғадир-будурликка боғлиқ эмас, чунки $\lambda = f(Re_D)$ графиги ғадир-будурликнинг турли қийматлари учун бирлашиб кетади;

в) напор йўқолиши оқим ўртача тезлигининг биринчи даражасига тўғри пропорционалдир;

г) гидравлик ишқаланиш коэффициенти (4.43) ифода билан аниқланади.

Иккинчи соҳа — III ва IV вертикаллар орасидаги соҳа бўлиб, ўтиш соҳаси деб аталади. Бу соҳада:

а) Рейнольдс сони $1000 \div 2300$ дан $4000 \div 40000$ гача қийматларда ўзгаради;

б) суюқлик қувурда турбулент тартибда ҳаракатланганда, маълум оралиқда ўзгарувчан тартибдаги ҳаракат кузатилади.

Бундай ўзгарувчан тартибдаги ҳаракат кузатиладиган соҳа *аралаш турбулент соҳаси* дейилади.

Учинчи соҳа — турбулент тартиб соҳаси. Бу соҳа IV вертикал чизиқнинг ўнг томонида жойлашган бўлиб, бу соҳада Рейнольдс сони қуйидаги катталиқларга тенг бўлади: $Re_D \approx 4000 \div 40000$. Бу соҳа ўз навбатида учта қисмга бўлинади:

Биринчи қисм — «*силлиқ ўзанлар қисми*». Бу қисм $Re_D < 100000$ қийматда II тўғри чизиқ шаклида бўлиб, $Re_D > 100000$ қийматда II чизиқ давоми бўлиб, қияланиб кетади. Биринчи қисм қуйидагилар билан характерланади:

а) h_1 напор $Re_D = 100000$ қиймат оралиғида δ тезликнинг 1,75 даражасига тўғри пропорционалдир;

б) $\Delta_r = \text{const}$ эгриликлар бир чизиққа бирлашишига асосланиб, h_1 — напор йўқолишининг ғадир-будурликка боғлиқ эмаслигини таъкидлашимиз мумкин;

в) (4.70) ва (4.69) формулаларга асосан h_1 ва λ катталиқлар Рейнольдс сонига боғлиқ:

$$\lambda = f(Re_D) \quad (4.73)$$

Иккинчи қисм — *ғадир-будур ўзанларнинг квадрат қаршиликкача бўлган қисми*. Бу қисм II вертикал ва AB чизиқлар орасидаги соҳа бўлиб, бу қисмда гидравлик қаршилик λ ва напор йўқолиши h_1 Рейнольдс сони Re_D ва нисбий ғадир-будурлик (Δ_r) га боғлиқдир:

$$\lambda = f(Re_D, \Delta_r). \quad (4.74)$$

Учинчи қисм — ғадир-будур узанларнинг квадрат қаршиликлар бўладиган қисми. Бу қисм AB чизиқнинг унг томонида жойлашган. Бунда:

а) напор йўқолиши (v) тезлик квадратиға тўғри пропорционалдир ($m = 2$);

б) гидравлик ишқаланиш коэффициентини λ Рейнольдс сонига боғлиқ эмас;

в) h_f ва λ катталиклари нисбий ғадир-будурликка боғлиқ:

$$\lambda = f(\Delta_r). \quad (4.75)$$

Умуман, шуни таъкидлаш керакки, Никурадзе томонидан олинган натижаларни нафақат цилиндрлик қувурларда ҳаракатланаётган суюқликлар учун, балки босимли ва босимсиз ҳаракатланаётган суюқликлар учун ҳам қўллаш мумкин. Бундан ташқари, ҳар қандай гидравлик ҳисобларни бажаришда суюқликлар турини ажратишга зарурият йўқ. Чунки, напор йўқолишини аниқлашда фақат Рейнольдс сони қиймати билан характерланувчи суюқлик назарда тутилади.

4.11. АЙЛАНА ВА ТЎҒРИ ТЎРТБУРЧАК ШАКЛДАГИ ҚУВУРЛАРДА ГИДРАВЛИК ИШҚАЛАНИШ КОЭФФИЦИЕНТИНИ АНИҚЛАШНИНГ АМАЛИЙ УСУЛЛАРИ

Қувурларнинг деворларидаги ғадир-будурликни ташкил қилувчи тепаликчаларнинг ҳар хил баландликка эга бўлиши ва ўзаро ҳар хил масофада жойлашганлигига қараб, икки хил ғадир-будурлик бўлиши мумкин:

- 1) текис ғадир-будурлик;
- 2) нотекис ғадир-будурлик.

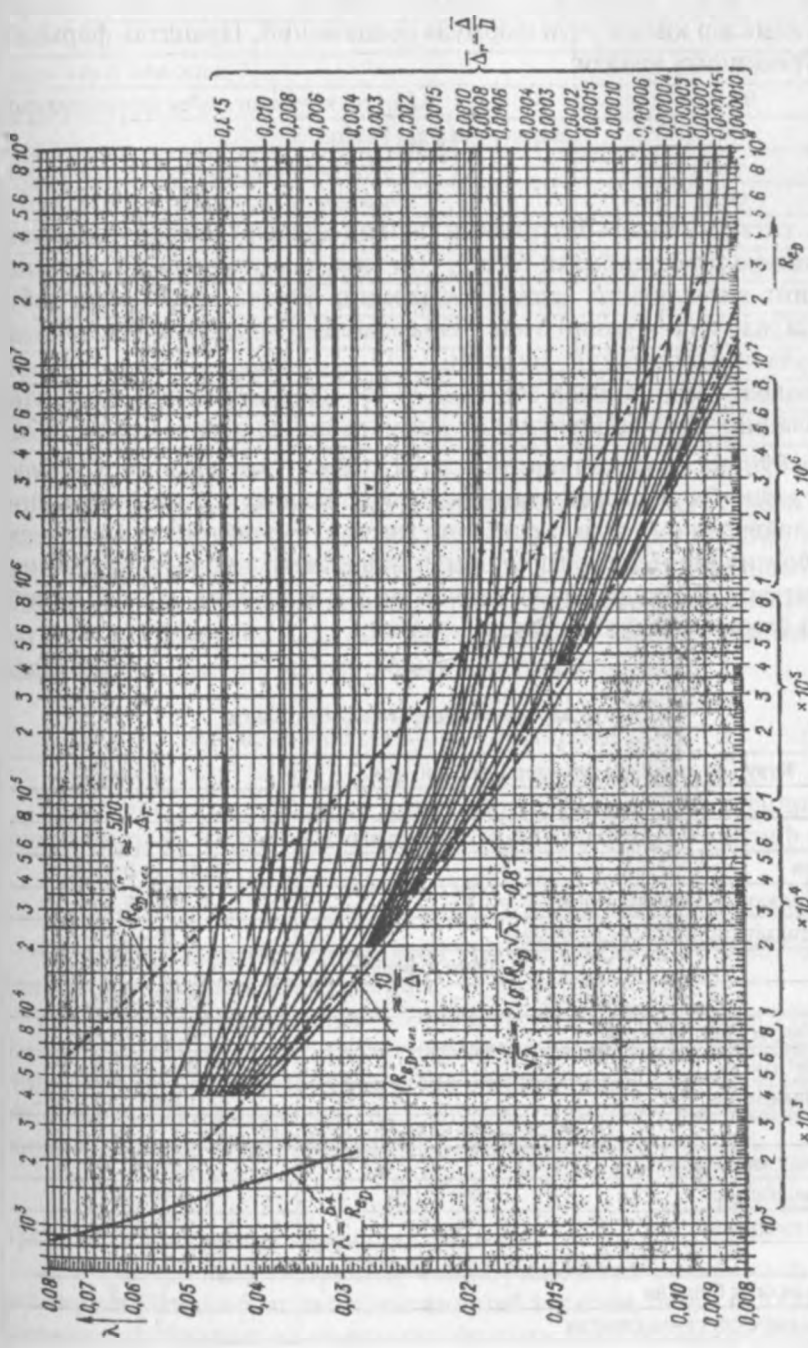
Аксарият ҳолларда амалиётда нотекис ғадир-будурликли қувурлар учраганлиги сабабли, қуйида шундай қувурларнинг гидравлик ҳисоби билан танишамиз.

1. Босимли ғадир-будур қувурлар. Бундай қувурлар учун 1938 йилда Кольбрук томонидан, бир неча тадқиқотчилар тажрибасига асосланиб, гидравлик ишқаланишни аниқлаш учун қуйидаги ифода таклиф этилган:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,5}{Re_D} \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + \frac{\bar{\Delta}_r}{3,7} \right), \quad (4.76')$$

бунда $\bar{\Delta}_r$ - ўртачалаштирилган нисбий ғадир-будурлик.

Бу формуладан фойдаланиб, 4.25-расмда келтирилган график чизилган. Бу графикдан фойдаланиб, турбулент соҳанинг барча қисмлари учун гидравлик ишқаланиш коэффициентини аниқлаш мумкин.



4.25-расм. λ гидравлик ишқаланиш коэффициентини аниқлаш учун Кольбрук графити (думалоқ ва баъзи түгри бурчакли босимли қувурлар учун)

Ғадир-будур қувурларда ҳаракатланаётган суюқликнинг квадрат қаршилиқлар қисми учун формула соддалашиб, Прандтль формуласи кўринишига келади:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\lg \frac{\Delta}{3,7}\right)^2} \quad (4.76'')$$

Δ катталиқ ғадир-будурликни ташкил қилувчи баландликлар таъсирининг ўртача қиймати бўлиб, уни аниқлаш учун ҳар бир баландликнинг катталигини аниқлаб, уларнинг ўртача қийматини қабул қилиш, албатта, мумкин эмас. Шу сабабли, уни аниқлашда қуйидаги усулдан фойдаланиш мумкин.

Квадрат қаршилиқлар соҳасида (4.65) ифода ёрдамида гидравлик ишқаланиш коэффициентининг қиймати аниқланади. Кейин (4.76'') ифода бўйича Δ катталиқнинг ўртача қиймати ҳисобланиб, у эквивалент ғадир-будурлик деб аталади. Бу катталиқ қувур материалининг тури, тайёрланиш усули, уланишига ҳамда қувурнинг ишлатилиш вақтига боғлиқдир. Бу усулда топилган эквивалент ғадир-будурликнинг қийматлари 4.2-жадвалда келтирилган. Бу жадвалдан амалий ҳисобларни бажаришда фойдаланиш мумкин.

4.2-жадвал

Қувур ва каналларнинг ғадир-будурлиги

Қувур ва каналлар характеристикаси, мм	Δ , мм
1	2
I. Яхлит қувурлар	
Жездан	0,0015—0,0100
Янги ишлатилаётган пўлатдан	0,020—0,100
Ишлатилаётган пўлат сув қувурлари	1,20—1,50
II. Чўян қувурлар	
Янги	0,25—1,00
Янги битум сингдирилган	0,10—0,15
Асфальтланган	0,12—0,30
Фойдаланилган	1,00—1,50
III. Яхлит пайвандланган қувурлар	
Янги ёки яхши ҳолатдаги қувурлар	0,04—0,10
Фойдаланилган	» 0,10—0,15
Кучли емирилган	2,0
IV. Бетонли ва асбест цементли қувурлар	
Сирти силлиқ бетонли	0,3—0,8
Ўртача сифатли силлиқланган	2,5
Сирти дағал бетонли	3,0—9,0

1	2
Янги асбест цементли	0,05-0,10
Фойдаланилган асбест цементли қувурлар	» 0,60
V. Ёғоч ва шишали қувурлар	
Юқори сифатли силлиқланган қувурлар	0,15
Яхши сифатли силлиқланган қувурлар	0,30
Паст сифатли силлиқланган қувурлар	0,70
Шишали қувурлар	0,0015—0,0100
VI. Силлиқланган каналлар	
Фақат цементли аралашма билан сувалган	0,05—0,22
Темирли цемент аралашмаси билан сувалган	0,5
Металл тўр устидан сувалган	10—15
Шлакобетон плиталар	1,5

Берилган қувур учун $\bar{\Delta}$ катталиқ аниқланиб, (4.71) ифода ёрдамида $\bar{\Delta}$, катталиқ топилади. (3.129) ифода ёрдамида эса, Re_D катталиқ топилади. Қаралаётган қувур учун $\bar{\Delta}$, ва Re_D аниқлангандан сўнг, 4.25-расмдаги график ёрдамида гидравлик ишқаланиш коэффициентини (λ) аниқланади. А. Д. Альтшуль эса гидравлик ишқаланиш коэффициенти учун қуйидаги формулани таклиф қилди.

$$\lambda \approx 0,1 \left(1,46 \bar{\Delta}_r + \frac{100}{Re_D} \right)^{0,25} \approx 0,11 \left(\bar{\Delta}_r + \frac{68}{Re_D} \right)^{0,25}. \quad (4.77')$$

Шифринсон эса квадрат қаршиликлар соҳаси учун гидравлик ишқаланиш коэффициентини қуйидагича аниқлашни таклиф этган:

$$\lambda = 0,11 \sqrt{\bar{\Delta}_r}. \quad (4.77'')$$

Бу формуладан (4.76') ифодаси ўрнида фақат $\bar{\Delta}_r < 0,007$ бўлган ҳолатларда фойдаланиш мумкин.

Агар томонлари нисбати $0,5 \div 2,0$ га тенг бўлган тўғри тўртбурчак шаклидаги қувурлар учун гидравлик ишқаланиш коэффициентини аниқлаш зарурати бўлса, унда юқорида келтирилган график ва (4.76) ва (4.77) ифодалардан фойдаланиш мумкин. Фақат бунда гидравлик диаметр D тушунчасидан фойдаланилади:

$$D_r = 4R,$$

бунда R — қувурнинг гидравлик радиуси.

4.25-расмда иккита пунктир чизиқ ўтказилган бўлиб, улар квадрат қаршиликкача бўлган соҳани ажратиб турибди, бунда (4.74) ифода ўринлидир. Рейнольдс сонининг бу соҳа учун қиймати қуйидаги оралиқда бўлади:

$$(Re_D)'_{\text{чек}} < (Re_D) < (Re_D)''_{\text{чек}}.$$

Агар

$$4000 \leq Re_D \leq (Re_D)'_{\text{чек}} \quad (4.78)$$

бўлса, унда бу соҳа *силлиқ қувурлар* соҳаси деб қабул қилиниб, бунда (4.73) ифода ўринли бўлади.

Агар

$$Re_D \geq (Re_D)''_{\text{чек}} \quad (4.79)$$

бўлса, бу соҳа *квадрат қаршиликлар соҳаси* бўлиб, (4.73) ифода ўринли бўлади.

А. Д. Альтшуль Рейнольдс сонининг чегаравий қийматлари учун қуйидаги ифодаларни таклиф қилди.

$$(Re_D)'_{\text{чек}} \approx \frac{10}{\Delta_r}; \quad (4.80)$$

$$(Re_D)''_{\text{чек}} \approx \frac{500}{\Delta_r}. \quad (4.81)$$

Бу масалаларни ўрганишда Рейнольдс сонининг критик қиймати ва чегаравий қиймати ҳақидаги тушунчаларни бир-биридан фарқлай олишимиз керак.

2. Босимли силлиқ қувурлар. Бундай ҳолатларда (4.76') ва (4.77") ифодалар содда кўринишни олиб, (4.69) ва (4.70) ифодалари кўринишига келади. (4.70) формула Re_D нинг қуйидаги қийматлари учун аниқ натижа беради:

$$4000 < Re_D < 100000. \quad (4.82)$$

$Re_D > 4000$ ҳолатларда қуйидаги келтирилган ифодадан ҳам фойдаланиш мумкин:

$$\lambda = \frac{1}{(1,82 \lg Re_D - 1,64)^2}. \quad (4.83)$$

Агар қувурнинг кўндаланг кесими тўғри тўртбурчак шаклида бўлса, силлиқ қувурлар ҳисоби 1 банддаги каби бажарилади.

3. Қўшимча маълумотлар. Амалиётда фойдаланилаётган чўян ва пўлат қувурлар учун гидравлик ишқаланиш коэффициенти Ф. А. Шевелев формуласига асосан аниқланади:

а) $Re_D \geq 9,2 \cdot 10^5$ (квадрат қаршиликлар соҳаси учун)

$$\lambda = \frac{0,021}{D^{0,3}} \approx \frac{0,021}{\sqrt[3]{D}}; \quad (4.84)$$

б) $Re_D \leq 9,2 \cdot 10^5$ (квадрат қаршиликлар соҳасигача бўлган қисм учун)

$$\lambda = \left(\frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{D} + \frac{1}{\text{Re}_D} \right)^{0,3}, \quad (4.85)$$

Бу формулаларда D метр ўлчов бирлигида ифодаланади.

Текшириш учун саволлар

1. Напор йўқолишининг қандай турларини биласиз? Узунлик ва маҳаллий йўқолишлар ҳақида тушунча беринг.
2. Тўғри ўзанлар учун барқарор текис ҳаракатнинг асосий тенгламасини ёзинг.
3. Оқимнинг ламинар тартибдаги ҳаракати нима? Бундай тартибдаги ҳаракатнинг физик моҳиятини аниқланг.
4. Маҳаллий ва оний тезлик тушунчаларига қисқача изоҳ беринг.
5. Ўрта оқимлардаги турбулент уринма кучланиш учун аниқланган формула қандай кўринишга эга?
6. Кориолис сони (кинетик энергия коэффиценти) цилиндрсимон қувурларда ҳаракатланаётган суюқликнинг ламинар ва турбулент оқимлари учун бир хил қийматга эгами?
7. Гидравлик ишқаланиш коэффиценти нима ва унинг сон қийматини аниқлаш усуллари ҳақида маълумот беринг.
8. Босимли ғадир-будур ва босимли силлиқ қувур учун гидравлик ишқаланиш коэффицентини аниқланг.
9. Шеэи коэффицентини аниқлаш учун қандай формулалардан фойдаланилади?
10. Ламинар режимдаги суюқликнинг қувур деворларидаги тезлиги нимага тенг?
11. Ламинар режимда напор йўқолиши қувур деворларининг ғадир-будурлигига боғлиқми?

У БОБ

СУЮҚЛИК ОҚИМИНИНГ ҚУВУРЛАРДАГИ БОСИМЛИ ТЕКИС БАРҚАРОР ҲАРАКАТИ

5.1. ДАСТЛАБКИ ТУШУНЧАЛАР

Қўзғалмас қувурлар орқали ҳар қандай суюқликнинг барқарор босим остидаги турбулент тартибли ҳаракати билан танишамиз. Қувурнинг ички диаметрини D , узунлигини l деб белгилаб оламиз. Қўрилаётган оқимнинг гидравлик элементлари қуйидагилардир:

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4}; \quad \chi = \pi D; \quad R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{D}{4} \quad (5.1)$$

чунки,

$$R = \frac{\pi D^2}{4} \text{ ва } \pi D = \frac{D}{4}$$

Бундан кейин қуйидаги асосий тенгламалардан фойдаланамиз:

- 1) узлуксизлик тенгламаси — сарф мувозанати тенгламаси;
- 2) Бернулли тенгламаси — солиштирма энергия мувозанати тенгламаси;
- 3) напорни аниқлаш тенгламалари.

Шуни таъкидлаш керакки, бундан буён биз, асосан, квадрат қаршиликлар соҳаси мавжуд бўлган оқимларнинг қувурлардаги ҳаракати билан танишамиз.

Квадрат қаршиликлар соҳаси текис ўзанлар соҳаси учун қувурларни ҳисоблашдан фақат напорни аниқлашда Шези формуласи ўрнига Дарси-Вейсбах формуласидан фойдаланиш билангина фарқ қилади.

5.2. НАПОР ЙЎҚОЛИШИНИ АНИҚЛАШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИФОДАЛАР

Умуман, қувурларнинг гидравлик ҳисобида икки хил ҳолатни ҳисобга олиш керак.

1-ҳолат. Маҳаллий йўқолишлар йўқ ёки уларнинг катталиги умумий йўқолган напорнинг 5 фоиздан кам қисмини ташкил этганлиги учун уларни ҳисобга олмаслик мумкин.

Бундай ҳолатда напорнинг фақат узунлик бўйича йўқолиши мавжуд бўлиб, уни сарф модули орқали ифодалаш мумкин:

$$h_f = \frac{Q^2}{K^2} l \quad (5.2)$$

бунда

$$J = \frac{Q^2}{K^2}. \quad (5.3)$$

Бизга маълумки, напорнинг узунлик бўйича йўқолиши Дарси-Вейсбах формуласига асосан қуйидагича аниқланади:

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}, \quad (5.3')$$

бундан ўртача қиймат тезлигини аниқласак:

$$v^2 = \frac{h_l}{l} \frac{D 2g}{\lambda}. \quad (5.3'')$$

Бунда

$$\frac{h_l}{l} = J, \quad (5.3''')$$

J — гидравлик қиялик, демак:

$$v^2 = J \frac{2gD}{\lambda}$$

ёки

$$v = \sqrt{\frac{2g}{\lambda}} \sqrt{DJ}$$

$$C = \sqrt{\frac{2g}{\lambda}}.$$

C коэффициент Шези коэффициенти деб аталади.

Думалоқ қувурлар учун K^2 катталигини ёзамиз:

$$K^2 = \omega^2 C^2 R = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)^2 C^2 \frac{D}{4} = \frac{\pi^2 C^2}{64} D^5 \quad (5.4)$$

бунда C — Шези коэффициенти ғадир-будурлик ва гидравлик ради-усларга функционал боғлиқ катталиқдир.

$$C = f(n; R) = f\left(n; \frac{D}{4}\right). \quad (5.5)$$

Шези коэффициенти квадрат қаршилиқлар соҳаси учун қуйида-гича аниқланиши мумкинлиги бизга маълум:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = f(\Delta_r) = f\left(\frac{\Delta}{D}\right). \quad (5.6)$$

(5.6) формуладан кўриниб турибдики, сарф модули қувурнинг диаметри ва ғадир-будурлигига функционал боғлиқдир. Муайян ғадир-будурликка эга чуян қувурлар учун эса бу катталик фақат қувур диаметрига функционал боғлиқ. Шу ҳолатни ҳисобга олган ҳолда,

$\Delta = (0, 10 + 0, 15)$ мм бўлган битумланган (битумланмаган) янги чўян қуурлар учун сарф модули K ва гидравлик ишқаланиш коэффициентлари λ қийматлари

D , мм	$K_{\text{мин}}$, л/с	$K_{\text{мин}}^2$, (л/с) ²	$K_{\text{юр}}$, л/с	$K_{\text{юр}}^2$, (л/с) ²	$K_{\text{макс}}$, л/с	$K_{\text{макс}}^2$, (л/с) ²	$\lambda_{\text{мин}}$	$\lambda_{\text{юр}}$	$\lambda_{\text{макс}}$
50	12,16	147,9	12,47	156,5	12,80	163,8	0,0230	0,0242	0,0255
75	35,41	$1,254 \cdot 10^3$	36,07	$1,301 \cdot 10^3$	37,03	$1,371 \cdot 10^3$	0,0209	0,0220	0,0230
100	74,96	$5,619 \cdot 10^3$	76,16	$5,800 \cdot 10^3$	77,70	$6,037 \cdot 10^3$	0,0200	0,0208	0,0215
125	133,3	$17,769 \cdot 10^3$	135,2	$18,279 \cdot 10^3$	138,9	$19,253 \cdot 10^3$	0,0190	0,0200	0,0206
150	214,2	$45,882 \cdot 10^3$	219,3	$48,092 \cdot 10^3$	227,8	$51,893 \cdot 10^3$	0,0177	0,0191	0,0200
200	457,4	$20,921 \cdot 10^4$	474,9	$22,553 \cdot 10^4$	484,3	$23,455 \cdot 10^4$	0,0165	0,0172	0,0185
250	833,3	$69,439 \cdot 10^4$	845,7	$71,521 \cdot 10^4$	859,3	$73,840 \cdot 10^4$	0,0160	0,0165	0,0170
300	1334	$17,796 \cdot 10^5$	1352	$18,279 \cdot 10^5$	1387	$19,238 \cdot 10^5$	0,0153	0,0161	0,0165
350	1986	$39,442 \cdot 10^5$	2019	$40,764 \cdot 10^5$	2065	$42,642 \cdot 10^5$	0,0149	0,0156	0,0161
400	2801	$78,456 \cdot 10^5$	2863	$81,968 \cdot 10^5$	2924	$85,498 \cdot 10^5$	0,0145	0,0151	0,0158
450	3817	$14,569 \cdot 10^6$	3878	$15,039 \cdot 10^6$	3924	$15,398 \cdot 10^6$	0,0142	0,0148	0,0153
500	5020	$25,200 \cdot 10^6$	5096	$25,969 \cdot 10^6$	5193	$26,967 \cdot 10^6$	0,0140	0,0145	0,0150
600	8079	$65,270 \cdot 10^6$	8169	$66,733 \cdot 10^6$	8377	$70,174 \cdot 10^6$	0,0134	0,0141	0,0145
700	12008	$14,419 \cdot 10^7$	12251	$15,009 \cdot 10^7$	12596	$15,866 \cdot 10^7$	0,0128	0,0136	0,0141
800	16949	$28,727 \cdot 10^7$	17324	$30,012 \cdot 10^7$	18897	$35,710 \cdot 10^7$	0,0125	0,0132	0,0138
900	23069	$53,218 \cdot 10^7$	23627	$55,804 \cdot 10^7$	24177	$58,453 \cdot 10^7$	0,0122	0,0128	0,0134
1000	30513	$93,104 \cdot 10^7$	31102	$96,733 \cdot 10^7$	31730	$100,68 \cdot 10^7$	0,0120	0,0125	0,0130

$\Delta = (0, 25 + 1, 00)$ бўлган янги битумланган чўян қуурлар учун сарф модули K ва гидравлик ишқаланиш коэффициентлари λ қийматлари

D , мм	$K_{\text{мин}}$, л/с	$K_{\text{мин}}^2$, (л/с) ²	$K_{\text{юр}}$, л/с	$K_{\text{юр}}^2$, (л/с) ²	$K_{\text{макс}}$, л/с	$K_{\text{макс}}^2$, (л/с) ²	$\lambda_{\text{мин}}$	$\lambda_{\text{юр}}$	$\lambda_{\text{макс}}$
50	8,77	76,91	9,64	92,93	11,22	125,89	0,0300	0,0410	0,0490
75	26,24	688,54	28,42	807,70	33,23	1104,2	0,0260	0,0350	0,0416
100	56,40	$3,1810 \cdot 10^3$	61,37	$3,7663 \cdot 10^3$	70,94	$5,0325 \cdot 10^3$	0,0240	0,0320	0,0380
125	102,32	$10,469 \cdot 10^3$	110,59	$12,230 \cdot 10^3$	125,93	$15,858 \cdot 10^3$	0,0230	0,0300	0,0350
150	166,53	$27,732 \cdot 10^3$	181,42	$32,906 \cdot 10^3$	204,78	$41,943 \cdot 10^3$	0,0220	0,0280	0,0330
200	359,35	$1,2913 \cdot 10^5$	391,36	$1,5288 \cdot 10^5$	429,20	$1,8421 \cdot 10^5$	0,0210	0,0255	0,0300
250	649,83	$4,2228 \cdot 10^5$	701,99	$4,9280 \cdot 10^5$	770,71	$5,9398 \cdot 10^5$	0,0200	0,0240	0,0280
300	1059,4	$11,223 \cdot 10^5$	1128,3	$12,724 \cdot 10^5$	1242,7	$15,443 \cdot 10^5$	0,0190	0,0230	0,0262
350	1588,6	$25,237 \cdot 10^5$	1684,8	$28,383 \cdot 10^5$	1878,4	$35,285 \cdot 10^5$	0,0180	0,0224	0,0252
400	2262,6	$51,194 \cdot 10^5$	2394,4	$57,312 \cdot 10^5$	2669,3	$71,252 \cdot 10^5$	0,0170	0,0215	0,0242
450	3076,7	$94,661 \cdot 10^5$	3260,9	$106,34 \cdot 10^5$	3626,3	$131,48 \cdot 10^5$	0,0168	0,0209	0,0235
500	4054,7	$16,439 \cdot 10^6$	4283,3	$18,347 \cdot 10^6$	4776,7	$22,810 \cdot 10^6$	0,0165	0,0206	0,0230
600	6570,5	$43,171 \cdot 10^6$	6860,5	$47,066 \cdot 10^6$	7662,4	$58,706 \cdot 10^6$	0,0160	0,0200	0,0221
700	9788,8	$95,824 \cdot 10^6$	10259	$105,25 \cdot 10^6$	11446	$130,99 \cdot 10^6$	0,0155	0,0192	0,0212
800	13838	$191,49 \cdot 10^6$	14543	$211,47 \cdot 10^6$	16257	$264,29 \cdot 10^6$	0,0150	0,0185	0,0207
900	18759	$351,91 \cdot 10^6$	20035	$401,36 \cdot 10^6$	22053	$445,59 \cdot 10^6$	0,0147	0,0178	0,0203
1000	24603	$605,31 \cdot 10^6$	26704	$713,10 \cdot 10^6$	28895	$834,92 \cdot 10^6$	0,0145	0,0170	0,0200

Ғалир-будурлиги $\Delta=(1, 0 + 1, 5)$ мм лш фойдаланилган (эски) чўш кувурлар учун сарф модули
 K ва гидравлик шиклланиш коэффициентини λ қийматлари.

D , мм	$K_{\text{мод}}$, л/с	$K^2_{\text{мод}}$, (л/с) ²	$K_{\text{гр}}$, л/с	$K^2_{\text{гр}}$, (л/с) ²	$K_{\text{модс}}$, л/с	$K^2_{\text{модс}}$, (л/с) ²	$\lambda_{\text{модс}}$	$\lambda_{\text{гр}}$	$\lambda_{\text{модс}}$
50	8,13	66,10	8,43	71,07	8,77	76,91	0,0490	0,0330	0,0570
75	24,18	584,67	24,69	609,60	26,24	688,54	0,0416	0,0470	0,0490
100	52,41	2,746·10 ³	53,90	2,9052·10 ³	56,40	3,1810·10 ³	0,0380	0,0416	0,0440
125	95,23	9,0687·10 ³	98,22	9,6472·10 ³	102,32	10,469·10 ³	0,0350	0,0380	0,0404
150	155,48	24,162·10 ³	160,62	25,799·10 ³	166,53	27,732·10 ³	0,0330	0,0356	0,0380
200	336,59	1,1329·10 ⁵	346,36	1,1997·10 ⁵	359,35	1,2913·10 ⁵	0,0300	0,0323	0,0342
250	607,73	3,6934·10 ⁵	627,74	3,9406·10 ⁵	649,83	4,2228·10 ⁵	0,0280	0,0300	0,0320
300	990,26	9,8062·10 ⁵	1017,8	10,359·10 ⁵	1059,4	11,223·10 ⁵	0,0262	0,0284	0,0300
350	1491,0	22,231·10 ⁵	1534,6	23,550·10 ⁵	1588,6	25,237·10 ⁵	0,0252	0,0270	0,0286
400	2124,8	45,148·10 ⁵	2195,5	48,202·10 ⁵	2262,6	51,194·10 ⁵	0,0242	0,0257	0,0275
450	2911,7	84,780·10 ⁵	2980,9	88,858·10 ⁵	3076,7	94,661·10 ⁵	0,0235	0,0250	0,0262
500	3851,3	14,833·10 ⁶	3954,0	15,634·10 ⁶	4054,7	16,439·10 ⁶	0,0230	0,0242	0,0255
600	6278,2	39,415·10 ⁶	6415,0	41,152·10 ⁶	6570,5	43,171·10 ⁶	0,0221	0,0232	0,0242
700	9370,0	87,797·10 ⁶	9531,2	90,840·10 ⁶	9788,8	95,824·10 ⁶	0,0212	0,0224	0,0232
800	13213	174,59·10 ⁶	13487	181,91·10 ⁶	13838	191,49·10 ⁶	0,0207	0,0218	0,0227
900	17971	322,96·10 ⁶	18297	334,78·10 ⁶	18759	351,91·10 ⁶	0,0203	0,0212	0,0221
1000	23731	563,16·10 ⁶	24175	584,43·10 ⁶	24603	605,31·10 ⁶	0,0200	0,0207	0,0215

чўян қувурлар учун сарф модулини қувур диаметрига асосан аниқлаш учун 5.1, 5.2, 5.3-жадваллар келтирилган. Шунинг учун ёдда тутиш керакки, ҳар қайси чўян қувур маълум сарф модули қийматига эга. Агар D — диаметр маълум бўлса, K ва K^2 катталиклари аниқлаб, (5.2) формуладан фойдаланиб, h_1 — напор йўқолишини ҳисоблаш мумкин. h_p , K , l катталиклари маълум бўлса, сарфни ҳисоблашимиз мумкин ва ҳоказо.

2-ҳолат. Агар маҳаллий напор йўқолишлари мавжуд бўлса, бунда напорнинг узунлик бўйича йўқолиши Дарси-Вейсбах формуласига асосан аниқланади.

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^3}{2g} \quad (5.7)$$

Гидравлик ишқаланиш коэффициенти (λ) катталигини аниқлаш бизга юқорида баён қилинган мавзулардан маълум. Маҳаллий напор йўқолиши эса Вейсбах формуласига асосан аниқланади:

$$h_M = \xi_M \frac{v^2}{2g}, \quad (5.8)$$

бунда ξ_M — маҳаллий йўқолиш коэффициенти бўлиб, унинг қиймати асосан махсус тажрибалар ўтказиш йўли билан аниқланади. Биз, бу тажрибалар натижаси асосида тузилган жадвалларни юқорида келтирганмиз.

5.3. НАПОР ЙЎҚОЛИШИНING ЙИГИНДИ ҚИЙМАТИНИ АНИҚЛАШ. ТЎЛИҚ ҚАРШИЛИК КОЭФФИЦИЕНТИ. УЗУН ВА ҚИСҚА ҚУВУРЛАР ҲАҚИДА ТУШУНЧА

Фараз қилайлик, қувур тизими берилган бўлиб (5.1-расм), унинг узунлиги бўйлаб ҳаракатга тўсқинлик қилувчи ўзгаришлар мавжуд. Масалан бурилиш, кран, кескин кенгайиш ва ҳоказолар. Улар орасидаги масофани ($20 + 30$) D дан катта деб ҳисоблаганлигимиз сабабли, уларни бир-бирига таъсири йўқ.

1—1 ва 2—2 кесимлар орасидаги тўлиқ напор йўқолишини қуйидагича ёзишимиз мумкин:

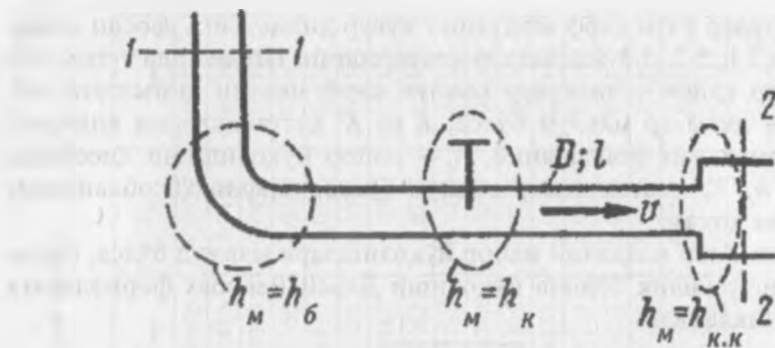
$$h_f = h_l + \sum h_M.$$

Ҳар бир ҳадни алоҳида-алоҳида кўриб чиқамиз.

Маҳаллий напор йўқолишлари қуйидагига тенг:

$$\sum h_M = h_b + h_k + h_{kx},$$

бунда h_b — бурилишдаги йўқолиш, h_k — кран ўрнатилган соҳадаги йўқолиш, h_{kx} — кескин кенгайишдаги йўқолиш.



5.1-расм. Напор йўқолиши йиғиндисини аниқлаш ($D=\text{const}$ ҳолат учун)

Вейсбах формуласига асосан:

$$h_b = \zeta_b \frac{v^2}{2g}; \quad h_K = \zeta_K \frac{v^2}{2g}; \quad h_{K.K} = \zeta_{K.K} \frac{v^2}{2g} \quad (5.9)$$

Демак,

$$\sum h_m = (\zeta_b + \zeta_K + \zeta_{K.K}) \frac{v^2}{2g} \quad (5.10)$$

ёки умумий кўринишда:

$$\sum h_m = \frac{v^2}{2g} \sum \zeta_m. \quad (5.11)$$

Напорнинг узунлик бўйича йўқолиши — h_f . Бу катталиқ Дарси-Вейсбах формуласига асосан аниқланади:

$$\frac{\lambda l}{D} = \zeta_l; \quad (5.12)$$

$$h_l = \zeta_l \frac{v^2}{2g}, \quad (5.13)$$

бунда ζ_l узунлик бўйича қаршилиқ коэффициентини деб аталади.

Тулиқ напор йўқолиши:

$$h_f = \zeta_l \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} \sum \zeta_m \quad (5.14)$$

ёки

$$h_f = (\zeta_l + \sum \zeta_m) \frac{v^2}{2g}. \quad (5.15)$$

Агар

$$\boxed{\zeta_f = \zeta_l + \sum \zeta_m} \quad (5.16)$$

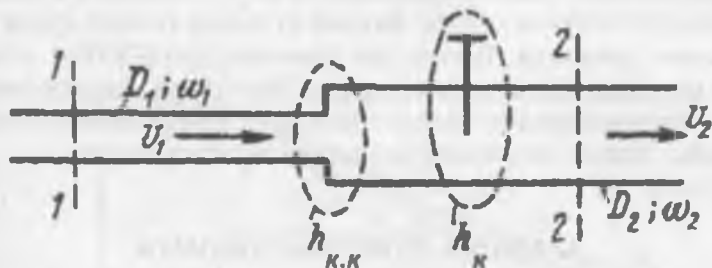
тарздаги белгилаш киритсак,

$$\boxed{h_f = \zeta_f \frac{v^2}{2g}}, \quad (5.17)$$

бунда ζ_f тўлиқ коэффициент деб номланади.

Демак, юқорида келтирилган $\zeta_{\kappa\kappa}$, ζ_p , ζ_f коэффициентлар ёрдамида ҳар қандай напор йўқолиши тезлик напори орқали ифодаланиши мумкин.

Қувур тизими диаметри ўзгарувчан бўлган ҳолат. Фараз қилайлик, турли ўлчамли қувурлар тизимида (5.2-расм) напорнинг йўқолиши-ни аниқлаш керак.



5.2-расм. Напор йўқолишининг йиғиндис

Напор йўқолиши икки хил тезлик напори орқали ифодаланади.

$$\sum h_n = (\zeta_{\kappa\kappa})_1 \frac{v_1^2}{2g} + (\zeta_{\kappa})_2 \frac{v_2^2}{2g}. \quad (5.18)$$

Оқимнинг узлуксизлик тенгламасига асосан,

$$v_1 = v_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (5.19)$$

Демак,

$$(\zeta_{\kappa\kappa})_1 = \frac{v_1^2}{2g} = (\zeta_{\kappa\kappa})_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = (\zeta_{\kappa\kappa})_2 \frac{v_2^2}{2g}, \quad (5.20)$$

бунда

$$(\zeta_{\kappa\kappa})_2 = (\zeta_{\kappa\kappa})_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \quad (5.21)$$

қурилишдаги белгилаш киритамиз.

Демак, $\sum h_n$ ифодага кирувчи ҳамма ҳадларни битта тезлик қиймати билан ифодалаш имконияти мавжуд экан.

«Узун» ва «қисқа» қувурлар тизими ҳақида тушунча. Умуман, амалиётда учрайдиган сув ўтказувчи қувурларда йўқоладиган узунлик бўйича напор миқдори маҳаллий напор йўқолишларига нисбатан

ниҳоятда катта қийматга эга бўлиб, бунда, маҳаллий напор йўқолишларини ҳисобга олмаслик мумкин. Бундай ҳолатда $h_f \approx h_1$ деб қабул қилинади ва ушбу қувурлар тизими *узун қувурлар тизими* дейилади. Магистрал сув узатиш қувурлар системаси бунга мисол бўлиши мумкин (200—500 мм диаметрли 200—1000 м бўлган қувурлар тизими). Узун қувурлар тизимида пьезометрик ва тўлиқ напор чизикларини чизишда тезлик напори кичик қийматга эга бўлганлиги учун инobatга олинмайди ва улар ўзаро устма-уст тушади. Агар напорнинг маҳаллий йўқолиши узунлик бўйича йўқолишнинг 3—5% дан кўп қисмини ташкил этса, албатта Σh_m — маҳаллий йўқолишни ҳисобга олишга тўғри келади. Бундай қувурлар тизими *қисқа қувурлар тизими* дейилади. Шаҳар сув таъминот тизимининг истеъмол ҳудуди қисқа қувурлар тизимига мисол бўла олади. Бундан ташқари, насос станцияларининг сўриш қувурлари, дюкер гидротехник иншоотлари, сифон тизимлари ҳам шулар жумласидандир.

А. ҚИСҚА ҚУВУРЛАР ТИЗИМИ

5.4. ЎЗГАРМАС ДИАМЕТРЛИ ОДИЙ ҚИСҚА ҚУВУРЛАР ТИЗИМИ

Бизга маълумки, ён томонларга қисман ажралиши бўлмаган қувурлар тизими *оддий қувурлар тизими* дейилади.

Қисқа қувурлар тизимининг гидравлик ҳисобида суюқлик оқимининг чиқиши суюқлик сатҳи остига ва очиқ атмосферага қараб айрим ўзига хос томонлари бўлиши мумкин. Ҳар қайси ҳолат билан алоҳида танишамиз.

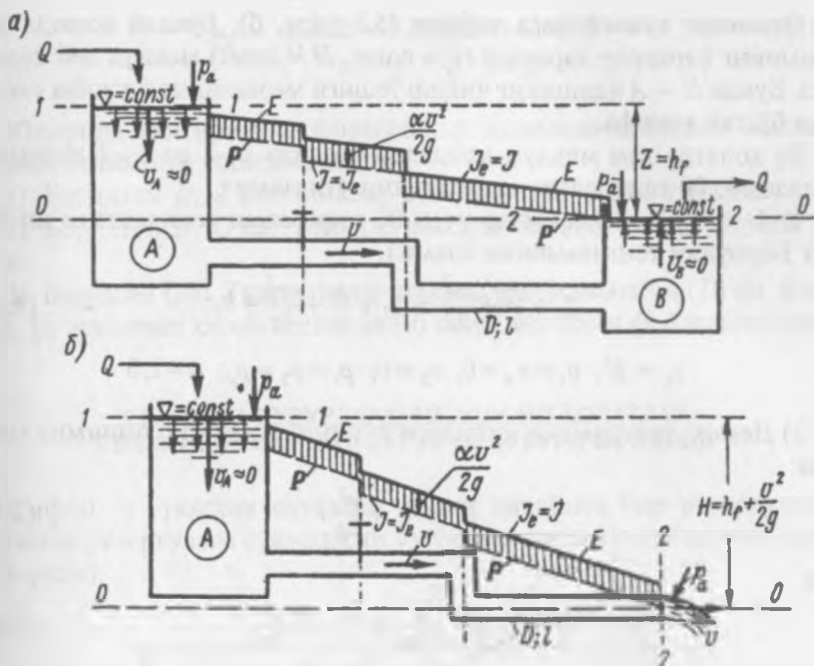
Суюқлик оқимининг сатҳ остига чиқиши (5.3-расм, а). Бунда биз суюқлик оқимининг ўртача v тезлиги вақт ўтиши билан ўзгармайдиган барқарор ҳаракати мавжуд бўлган ҳолат билан танишамиз. Қувур орқали туташган А ва В идишлардаги суюқлик сатҳлари фарқи z га тенг деб қабул қиламиз. Суюқлик А идишга оқиб кириб, В идишдан чиқиб кетмоқда.

Қувурда ҳаракатланаётган оқим сарфини ҳисоблаймиз. Бунинг учун Бернулли тенгламасидан фойдаланамиз.

1) 1—1 ва 2—2 кесимларни танлаб олиб, ҳисоблаш учун қулай вазиятдан таққослаш 00 текислигини ўтказамиз (5.3-расм, а).

Тенгламанинг умумий курунишини ёзиб олиб, унга кирувчи ҳар бир ҳад билан алоҳида танишамиз.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f \quad (5.22)$$



5.3-расм. Қисқа қуворлар а) оқимнинг сатҳ остига чиқиши, б) оқимнинг атмосферага чиқиши

Тенгламада

$$z_1 = Z; \quad v_1 = v_A = 0; \quad p_1 = p_2 = P_a; \quad z_2 = 0; \quad \alpha \approx 1,0 \quad (5.23)$$

Демак,

$$Z = h_f, \quad (5.24)$$

бунда

$$h_f = \zeta_f \frac{v^2}{2g}; \quad (5.25)$$

$$Z = \zeta_f \frac{v^2}{2g}; \quad (5.26)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} \sqrt{2gZ}. \quad (5.27)$$

Бундан оқим сарфини ҳисоблаш формулаларини ёзишимиз мумкин:

$$Q = \omega v = \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} \sqrt{2gZ} \quad (5.28)$$

Оқимнинг атмосферага чиқиши (5.3-расм, б). Бундай ҳолатда ҳам оқимнинг барқарор ҳаракати ($v = \text{const}$, $H = \text{const}$) мавжуд деб қараймиз. Бунда H — A идишнинг чиқиш тешиги марказидан суюқлик сатҳигача бўлган масофа.

Бу ҳолатда ҳам маълум қоидалар асосида 1—1 ва 2—2 кесимлар танланиб, 00 таққослаш текислигини ўтказамиз.

1) 1—1 ва 2—2 кесимлар учун 00 таққослаш текислигига нисбатан Бернулли тенгламасини ёзамиз.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f; \quad (5.29)$$

$$z_1 = H; \quad v_1 = v_A = 0; \quad v_2 = v; \quad p_1 = p_2 = p_a; \quad \alpha = 1, 0$$

2) Демак, тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиб олишимиз мумкин:

$$H = h_f + \frac{v^2}{2g} \quad (5.30)$$

ёки

$$H = \zeta_f \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} = (\zeta_f + 1) \frac{v^2}{2g}, \quad (5.31)$$

бундан

$$v = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} \sqrt{2gH}. \quad (5.32)$$

Оқимнинг узлуксизлик тенгламасига асосан,

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} \sqrt{2gH} \quad (5.33)$$

Асосий ҳисоблаш формулалари. Бу формулаларни қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин:

$$Q = \mu_T \omega \sqrt{2gZ} \quad (5.34')$$

$$Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH} \quad (5.34'')$$

бунда μ_T қувурлар тизимининг сарф коэффициенти деб аталиб, қуйидагича аниқланади.

а) оқим сатҳ остига чиққан ҳолда

$$\mu_T = \frac{1}{\zeta_f} = \frac{1}{\zeta_f + \sum \zeta_M} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{D} + \sum \zeta_M}} \quad (5.35)$$

б) оқим атмосферага чиққан ҳолда

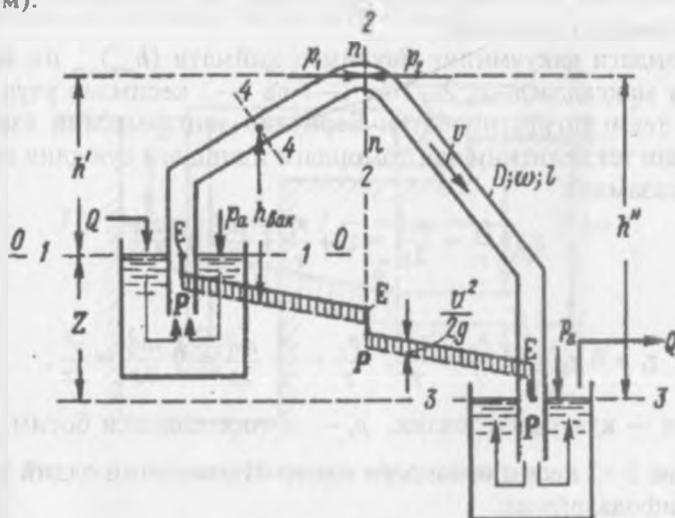
$$\mu_T = \frac{1}{\sqrt{1+\xi_f}} = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{\lambda l}{D} + \sum \xi_M}} \quad (5.36)$$

Юқорида келтирилган формулалар ёрдамида қуйидаги масалаларнинг ечимини топиш мумкин:

- 1) Берилган D , Z катталиклар асосида сарф (Q) ни топиш;
- 2) Берилган D , Q катталиклар асосида сатҳлар фарқи (Z) ни топиш;
- 3) Берилган Q ва Z катталиклар асосида қувур диаметри (D) ни аниқлаш. Бу масалани ҳисоблашда танлаб олиш усулидан фойдаланилади.

5.5. ҚИСКА ҚУВУРЛАРДАГИ АСОСИЙ ҲОЛАТЛАР. СИФОН, НАСОСНИНГ СЎРУВЧИ ҚУВУРИ ВА ДЮКЕР

Сифон — суюқлик сатҳлари фарқи ҳисобига бир резервуардан иккинчи резервуарга суюқликни ўз-ўзидан ҳаракатлантирувчи қувур (5.4-расм).



5.4-расм. Сифон

Агар 5.4-расмдаги қувур суюқлик билан тўлдирилса, унда юқориги идишдан пастки идишга суюқликнинг оқиши кузатилади. Суюқликнинг қувур бўйлаб оқишини қуйидагича изоҳлаш мумкин:

Қувурда $n-n$ кесимни оламиз ва ушбу кесимни суюқлик сатҳидан юқорида чап томондаги идишда h' орқали ва ўнг томондаги идишда h'' орқали белгилаймиз. Агар сифондаги суюқликни тинч ҳолатда деб қабул қилсак, унда қуйидагича ёзиш мумкин:

а) $n-n$ кесимдан чап томондаги босим

$$p_1 = p_a + (-h'\gamma); \quad (5.37)$$

б) $n-n$ кесимдан ўнг томондаги босим

$$p_2 = p_a + (-h''\gamma), \quad (5.38)$$

бу ерда $(-h')$ ва $(-h'')$ — $n-n$ кесимига тегишли суюқлик сатҳидан пастда пайдо бўлган идишдаги пастликлар (бу пастликлар манфий ҳисобланади).

Демак, $p_1 > p_2$ ҳолат қувурдаги суюқликнинг тинч ҳолатда бўлмаслигини кўрсатади, суюқлик чапдан ўнгга қараб ҳаракатланади, яъни босим кам бўлган томонга ҳаракатланади.

Сифондаги суюқликнинг барқарорлашган ҳаракати ($Z = \text{const}$) ни кўриб чиқамиз 1—1 ва 3—3 кесимларни белгилаймиз. Бу иккала кесимни Бернулли тенгламаси орқали ёзамиз ва қувурдаги Q сув сарфини (5.34') ва (5.35) боғлиқликларга асосан аниқлаймиз.

Сифоннинг ўзига хос ҳолати бу унда вакуумнинг мавжудлиги. Вакуумнинг энг катта қиймати қувурнинг энг баланд қисмида, яъни $n-n$ кесимида кузатилади.

Сифондаги вакуумнинг максимал қиймати $(h_{\text{вак}})_{\text{max}}$ ни аниқлаймиз. Шу мақсадда $n-n$, 2—2 ва 1—1 ва 2—2 кесимлар учун 00 таққослаш текислигига нисбатан Бернулли тенгламасини ёзамиз (00 таққослаш текислигини чап томондаги идишдаги суюқлик сатҳи орқали ўтказамиз):

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h'_f, \quad (5.39)$$

бунда

$$z_1 = 0 \quad z_2 = h' \quad \frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma}; \quad \frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_n}{\gamma} \quad \frac{\alpha v_1^2}{2g} \approx 0 \quad \frac{\alpha v_2^2}{2g} \approx \frac{v^2}{2g}, \quad (5.40)$$

бу ерда v — қувурдаги тезлик, p_n — $n-n$ кесимдаги босим.

1—1 ва 2—2 кесим орасидаги напор йўқолишини оддий тенглама орқали ифодалаймиз:

$$h'_f = \zeta'_f \frac{v^3}{2g}, \quad (5.41)$$

бу ерда — ζ'_f бутун қувурдаги эмас, фақат 1—1 ва 2—2 кесимлар орасидаги напор йўқолишини ҳисобга олувчи тўлиқ қаршилик коэффициенти.

(5.40) ва (5.41) ифодаларни (5.39) ифодага қўйсақ, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{p_a}{\gamma} = h' + \frac{p_n}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \zeta'_f \frac{v^2}{2g} \quad (5.42)$$

ёки

$$\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_n}{\gamma} = h' + (1 + \zeta'_f) \frac{v^2}{2g}, \quad (5.43)$$

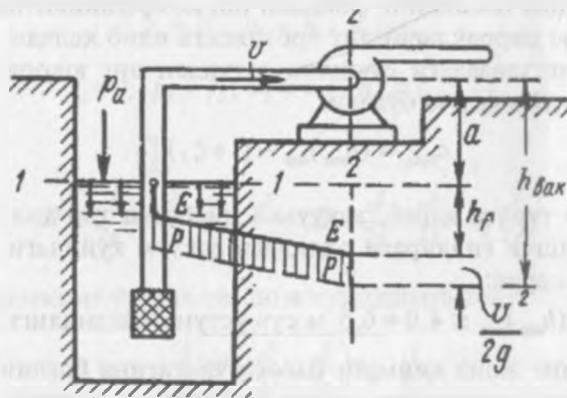
бундан

$$\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_n}{\gamma} = (h_{\text{вак}})_{\text{мах}}; \quad (5.44)$$

$$(h_{\text{вак}})_{\text{мах}} = h' + (1 + \zeta'_f) \frac{v^2}{2g}. \quad (5.45)$$

(5.45) ифодадан фойдаланган ҳолда, қувурнинг исталган нуқта-сидаги вакуумни аниқлаш мумкин. Шу ҳолатда (5.45) ифодада h' қиймати орқали фақат 4—4 кесимнинг чап томонидаги суюқлик сатҳидан устунлигини ва ζ'_f қиймати орқали 1—1 ва 2—2 кесим орасидаги напор йўқолишини тушуниш керак.

Насоснинг сўрувчи қувири деб, насоснинг суюқликни ҳавзадан сўриб олувчи қувурига айтилади (5.5-расм). Насоснинг сўрувчи қувирида ҳам сифон каби вакуум мавжуд бўлади.



5.5-расм. Насоснинг сўрувчи қувири

Вакуумнинг энг катта қиймати насоснинг олди қисмида, яъни ишчи ғилдиракда кузатилади (2—2 кесимда). Бу вакуум қиймати ҳавзадаги суюқлик сатҳи орқали ўтказилган 1—1 ва 2—2 кесимлар учун 00 таққослаш текислигига нисбатан Бернулли тенгламаси орқали аниқланади.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f$$

$$z_1 = 0; \quad p_1 = p_a; \quad v_1 = 0;$$

$$z_2 = a; p_2 = p_b; v_2 = v; h_f = \zeta_f; \frac{v^2}{2g}$$

Вакуумни h' қийматининг ўрнига насос ўқининг ҳавзадаги суюқлик сатҳидан баландлиги бўлган a қиймати, ζ_f қиймати ўрнига эса бутун қувур бўйлаб напор йўқолишини ҳисобга олувчи тўлиқ қаршилик коэффициентини ζ_f қийматини қўйиш орқали ҳам топса бўлади:

$$0 + \frac{p_a - p_b}{\gamma} = a + \frac{v^2}{2g} + \zeta_f \frac{v^2}{2g};$$

$$(h_{\text{вак}})_{\text{нас}} = \frac{p_a - p_b}{\gamma};$$

$$(h_{\text{вак}})_{\text{нас}} = a + (1 + \zeta_f) \frac{v^2}{2g}; \quad (5.46)$$

бу ерда $(h_{\text{вак}})_{\text{нас}}$ — насоснинг ишчи ғилдираги олдидаги вакуум қиймати.

Агар $(h_{\text{вак}})_{\text{нас}}$ катта бўлса, насосда кавитация ҳолати рўй беради. Бу ўз навбатида насоснинг фойдали иш коэффициентини камайтиради ва насос паррақларининг эрозиясига олиб келади.

Насоснинг ҳавзадаги суюқлик сатҳидан энг юқори ўрнатилиш баландлиги қуйидагича бўлади:

$$a_{\text{мах}} = (h_{\text{вак}})_{\text{нас}} - (1 + \zeta_f) \frac{v^2}{2g}.$$

Насослар турига қараб, вакуумга нисбатан ҳар хил талабга эга. Насоснинг ишчи ғилдираги олдидаги вакуум қуйидаги талабга жавоб бериши керак:

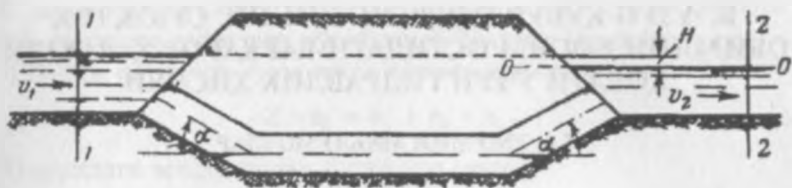
$$(h_{\text{вак}})_{\text{нас}} \leq 4,0 \div 6,5 \text{ м сув устуни баландлиги}$$

Вакуумнинг жоиз қиймати насос туригагина боғлиқ бўлмасдан, балки суюқлик ҳарорати ва турига ҳам боғлиқ. Ҳарорат ошиши билан вакуумнинг жоиз қиймати пасаяди (ҳарорат ошиши билан кавитация кучаяди). Масалан, сувнинг ҳарорати 60°C бўлганда жоиз қиймат манфий ишорага ўзгаради (яъни, насос сувдаги босимнинг атмосфера босимидан юқори қийматида ишлаши керак).

Берилган насоснинг ва суюқликнинг жоиз вакууми $(h_{\text{вак}})_{\text{вет}}$ маълум бўлса, унда ҳавзадаги суюқлик сатҳидан унинг максимал жойлашиш баландлигини аниқтаса бўлади.

$$a_{\text{вет}} = (h_{\text{вак}})_{\text{вет}} = (1 + \zeta_f) \frac{v^2}{2g}. \quad (5.47)$$

Иссиқ сув учун $a_{\text{вет}}$ қиймати манфий бўлиши мумкин, бу ҳолатда насосни сув сатҳидан пастда жойлаштиришга тўғри келади.



5.6-расм. Дюкер

Дюкер суyoқлик oқимлари ҳаракатланаётган узанларнинг узаро кесишиш жойида қуриладиган гидротехник иншоотдир (5.6-расм).

Дюкернинг ҳисоблаш формуласини келтириб чиқаришда 1—1 ва 2—2 кесимлар учун 00 таққослаш текислигига нисбатан Бернулли тенгламасидан фойдаланамиз:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f$$

бунда

$$z_1 = H; \quad p_1 = p_a; \quad v_1 = v_1;$$

$$z_2 = 0; \quad p_2 = p_a; \quad v_2 = v_2; \quad h_f = \zeta_f; \quad \frac{v^2}{2g},$$

бундан

$$H + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_f \frac{v^2}{2g}; \quad H + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_f \frac{v^2}{2g};$$

Бунда oқимнинг ўртача тезлиги қуйидагига тенг:

$$v = \sqrt{\left(H + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) 2g \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}}}.$$

Дюкер сарфини ҳисоблаш формуласини аниқлаш учун oқимнинг узлуксизлик тенгламасидан фойдаланамиз:

$$Q = \omega v = \omega \sqrt{\left(H + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) 2g \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}}},$$

бунда $\frac{1}{\sqrt{\zeta_f}}$ ифодани сарф коэффициентини деб атаб, уни μ ҳарфи орқали белгиласак, дюкер сарфи қуйидаги формула орқали топилади:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH + (v_1^2 - v_2^2)}.$$

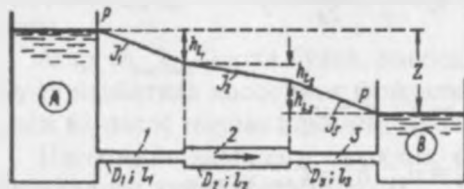
Б. УЗУН ҚУВУРЛАР ТИЗИМИНИНГ СУЮҚЛИК ОҚИМИНИ БОСИМ ОСТИДАГИ БАРҚАРОР ҲАРАКАТИ ҲОЛАТИ УЧУН ГИДРАВЛИК ҲИСОБИ

5.6. УМУМИЙ МАЪЛУМОТЛАР

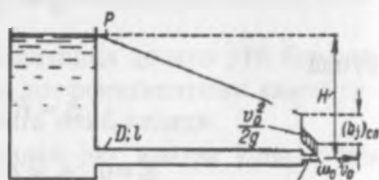
Бизга маълумки, инсон узининг ҳаётдаги муаммоларини ҳал қилиш жараёнида суюқлик оқимини маълум масофага узатиш муаммосини ҳал қилиш билан кўп шуғулланади. Масалан, асосий истеъмол учун яроқли сувни бир неча километр узоқликда жойлашган аҳоли турар жойларига етказиш, шаҳардаги оқова сувларни шаҳардан ташқари чиқариш, нефть маҳсулотларини узатиш ва ҳоказо.

Юқоридаги мулоҳазаларимиздан бизга маълумки, қувурлар тизимида ҳаракатни таъминлаш, асосан истеъмол манбаларидаги напор фарқи ҳисобига вужудга келади.

Мисол тариқасида қуйидаги расмларни келтиришимиз мумкин.



5.7-расм. Ўзгарувчан диаметрли оддий узун қувур ($J_1 > J_2$)



5.8-расм. Найчали оддий узун қувур

Бизга маълумки, оддий қувурлар тизими деганда узунлик бўйлаб сарф тарқатилмайдиган қувурлар тизими тушунилади.

Узун қувурлар тизимидаги йўқолган напорларни аниқлашда напорнинг узунлик бўйича йўқолиши асос қилиб олинади ва меъёрий миқдор сифатида 10—5% юқори қилиб қабул қилинади. Бундай гуруҳга мансуб қувурларнинг гидравлик ҳисобини бажаришда асосан уч хил масала бўлиши мумкин.

1) Суюқликнинг физик хоссаларини характерловчи катталиклар ρ ва ν маълум, ҳамда напор H , қувур узунлиги l ва қувур материалига ва тайёрланиш техникаларига боғлиқ бўлган ғадир-будурлик берилган. Сарфни аниқлаш керак;

2) ρ , ν , l , D , n катталиклар ва Q сарф берилган. H напорни аниқлаш керак;

3) ρ , ν , l , n , Q , H катталиклар берилган. Қувур диаметри D ни аниқлаш керак.

Бу масалаларни ҳисоблашда, асосан, реал ҳолатдаги барқарор ҳаракатланаётган суюқлик оқимлари учун ёзилган Бернулли тенгламасидан фойдаланамиз. Агар тенгламани танланган кесимлар учун

ёзиб, маҳаллий йўқолишларни ва тезлик напорларини ҳисобга олмасак, тенглама қуйидаги кўринишда бўлиши мумкин:

а) босим остидаги суюқликка чиқиш ҳолати учун:

$$Z = h_i = h_1 + h_2 + h_3. \quad (5.48)$$

Юқоридаги мавзулардан бизга маълумки,

$$h_1 = JI, \text{ бундан } J = \frac{Z}{I}. \quad (5.49)$$

Сарф характеристикасини ёзсак,

$$Q = c\omega\sqrt{RJ}; \quad Q^2 = c^2\omega^2 RJ; \quad (5.50)$$

$$K = c\omega\sqrt{R} \quad (5.51)$$

бунда K – сарф модули.

$$Q^2 = K^2 J; \quad (5.52)$$

$$J = \frac{Q^2}{K^2}; \quad (5.53)$$

$$Z = J_1 l_1 + J_2 l_2 + J_3 l_3; \quad (5.54)$$

$$Z = \frac{Q^2}{K_1^2} l_1 + \frac{Q^2}{K_2^2} l_2 + \frac{Q^2}{K_3^2} l_3; \quad (5.55)$$

$$Z = Q^2 \sum \frac{1}{K^2}; \quad (5.56)$$

$$Q = \sqrt{\frac{Z}{\sum \frac{1}{K^2}}}. \quad (5.57)$$

Ушбу ифодалардан турли гидравлик ҳисобларни бажаришда фойдаланишимиз мумкин. Масалан, Z , Q , l , β , ν , d га асосан Q сарфни ҳисоблашимиз мумкин. Ёки Q , l , K га асосан Z напорни аниқлашимиз мумкин.

б) Оқимнинг атмосферага чиқиш ҳолати учун (5.8-расм):

$$H = h_i. \quad (5.58)$$

Умуман, узун қувурлар гидравлик ҳисоби амалиётида напорнинг узунлик бўйича йўқолиши инобатга олинсада, қувурнинг чиқиш қисмида ўрнатилган найчаларда тезлик ниҳоятда юқорилигини ҳисобга олган ҳолда, найчада напор йўқолиши ва тезлик напори миқдорини қуйидагича ёзамиз:

$$H = h_1 + h_{MH} + \frac{v_0^2}{2g}, \quad (5.59)$$

бунда

$$h_{MH} = \zeta_H \frac{v_0^2}{2g}. \quad (5.60)$$

Шундай қилиб,

$$H = h_1 + (1 + \zeta_H) \frac{v_0^2}{2g} \quad (5.61)$$

ёки

$$H = h_1 + \frac{v_0^2}{2g\mu_H^2}, \quad (5.62)$$

бунда

$$\mu_H = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_H}}. \quad (5.63)$$

Демак, ёзишимиз мумкинки,

$$H = \frac{Q^2}{K^2} l + \frac{Q^2}{\omega_0^2 2g\mu_H^2}, \quad (5.64')$$

чунки

$$v = \frac{Q}{\omega}. \quad (5.64'')$$

Бунда қуйидаги масалаларни ечишимиз мумкин:

- 1) D, l, Q берилган. H напорни аниқлаш керак;
- 2) D, l, Q, H берилган. Q сарфни аниқлаш керак;
- 3) Q, H, l берилган. D ни аниқлаш керак.

Агар қувурнинг туташ қисмида найча бўлмаса, тезлик напорини гидравлик ҳисобда инобатга олмасдан, масалани ечишни осонлаштириш мумкин.

5.7. ГИДРАВЛИК ҲИСОБЛАРНИ БАЖАРИШДА ҚУВУРЛАРНИНГ КЕТМА-КЕТ ВА ПАРАЛЛЕЛ УЛАНИШИ

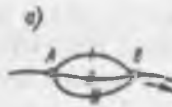
Қувурларнинг кетма-кет уланиши (5.9-расм), асосан, иқтисодий нуқтаи назардан ёки напорни ошириш мақсадида амалга оширилиши мумкин.

$$(h_f)_{AB} = h_{f_1} + h_{f_2} + h_{f_3} \quad (5.65)$$

Қувурларнинг параллел уланиши. Қувурларни параллел улашда, биз, мураккаб қувурлар тизимига дуч келамиз (5.10-расм). Бундай мураккаб қувурлар тизимининг гидравлик ҳисобида, асосан, пьезометрлардан фойдаланишга тўғри келади. Бу P_1 ва P_2 пьезометрлар қувурлар тизимининг бўлиниш ва бирлашиш узелларига ўрнатилса, қуйидаги ифода улар учун ўринлидир:



5.9-расм. Кувурларнинг кетма-кет улашиши



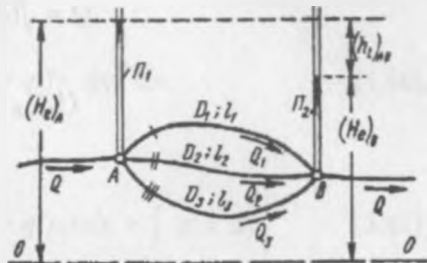
5.10-расм. Кувурларни параллел улаш

$$(h_f)_{AB} = (H_e)_A - (H_e)_B \quad (5.66)$$

A ва B узеллардаги напорлар мос равишда $(H_e)_A$ ва $(H_e)_B$ га тенг деб қабул қилинди (5.11-расм).

Бу муносабатга асосан қуйидагиларни ёзишимиз мумкин:

$$\left. \begin{aligned} h_{f1} &= (H_e)_A - (H_e)_B \\ h_{f2} &= (H_e)_A - (H_e)_B \\ h_{f3} &= (H_e)_A - (H_e)_B \end{aligned} \right\} \quad (5.67)$$



5.11-расм. Узун қувурларни параллел улаш ҳисобига доир

бундан

$$(h_f)_{AB} = h_{f1} = h_{f2} = h_{f3} = (H_e)_A - (H_e)_B \quad (5.68)$$

Демак,

$$h_{f1} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1 \quad (5.69)$$

ёки

$$(h_f)_{AB} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} l_2 = \frac{Q_3^2}{K_3^2} l_3 \quad (5.70)$$

деб ёзиб олишимиз мумкин. Шунга мос равишда

$$\left. \begin{aligned} I \quad Q_1 &= K_1 \sqrt{\frac{(h_f)_{AB}}{l_1}} \\ II \quad Q_2 &= K_2 \sqrt{\frac{(h_f)_{AB}}{l_2}} \\ III \quad Q_3 &= K_3 \sqrt{\frac{(h_f)_{AB}}{l_3}} \end{aligned} \right\} \quad (5.71)$$

ва

$$IV \quad Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5.72)$$

тенгламаларни ёзишимиз мумкин.

Натижада, Q , l , D катталиклар берилган, Q_1 , Q_2 , Q_3 , $(h_l)_{AB}$ тўрт номаълумли тўртта тенглама пайдо бўлади. Бу тенгламаларнинг ечими биз учун керакли катталикларни беради.

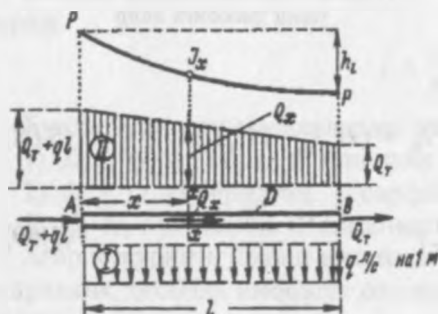
Буни ечиш учун (5.72) ифодага (5.71) ифодаларни қўямиз:

$$Q = K_1 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_1}} + K_2 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_2}} + K_3 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_3}}; \quad (5.73)$$

$$Q = \sqrt{(h_l)_{AB}} \sum \frac{K}{\sqrt{l}}; \quad (5.74)$$

$$(h_l)_{AB} = \frac{Q^2}{\left(\sum \frac{K}{\sqrt{l}}\right)^2}. \quad (5.75)$$

5.8. НАПОРНИНГ САРФ ЎЗГАРУВЧАН БЎЛГАНДА ЙЎҚОЛИШИ



5.12-расм. Уzunлик бўйича ўзгарувчан сарфли қувур

Юқоридаги ҳисобларда, асосан, напор йўқолиши сарф доимий $Q = \text{const}$ бўлган ҳолатлар учун ўрганилди. Лекин амалиётда қувурлар тизими бўйлаб сарф ўзгариб турган ҳолат кўп учрайди. Қувурлар тизимида сарф текис тақсимланаётган ҳолат билан танишамиз. Бу ҳолат 5.12-расмда тасвирланган. AB қувур узунлиги l бўлиб, диаметри D га тенг.

I эпюра қувурдан сарф тарқалишини кўрсатади. Сарф қувур узунлиги бўйлаб чизиқли қонуниятга асосан ўзгаради. Бунда, суюқлик сарфи эпюраси II трапеция кўринишида бўлади. Участканинг иккала четки кесимида Q_T ўтиш сарфи мавжуд бўлади. Агар номаълум қувур кесимидаги сарф Q_x бўлса, x нинг $0 \div l$ қийматида сарф Q_x сарф $(Q_T + ql)$ ва Q_T оралиқда ўзгаради, J_x гидравлик қиялик қувур узунлиги бўйлаб камаяди.

Демак, $P-P$ пьезометрик чизиқ қия бўлиб, қабариклик пастга қараган бўлади.

$$Q_x = (Q_T + ql) - qx, \quad (5.76)$$

бунда q — қувурнинг бирлик узунлигидаги сарфи.

$$dh_l = J_x dx = \frac{Q_x^2}{K^2} dx = \frac{[(Q_T + ql) - qx]^2}{K^2} dx. \quad (5.77)$$

Бу тенгламани $x = 0$ ва $x = l$ оралиқларда интеграллаймиз:

$$h_l = \int_{x=0}^{x=l} \frac{[(Q_T + ql) - qx]^2}{K^2} dx = \frac{\frac{1}{l} \int_{x=0}^{x=l} [(Q_T + ql) - qx]^2 dx}{K^2} l; \quad (5.78)$$

$$h_l = \frac{Q_{\text{хис}}^2}{K^2} l; \quad (5.79)$$

$$Q_{\text{хис}}^2 = \frac{1}{l} \int_{x=0}^{x=l} [(Q_T + ql) - qx]^2 dx \quad (5.80)$$

ёки

$$Q_{\text{хис}}^2 = \frac{1}{l} \left[\int_{x=0}^{x=l} (Q_T + ql)^2 dx - \int_{x=0}^{x=l} 2(Q_T + ql)qx dx + \int_{x=0}^{x=l} q^2 x^2 dx \right] \quad (5.81)$$

ёки

$$Q_{\text{хис}}^2 = (Q_T + ql)^2 - (Q_T + ql)ql + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} ql\right)^2. \quad (5.82)$$

Агар $Q_T = 0$ бўлса,

$$Q_{\text{хис}} = \frac{1}{\sqrt{3}} ql = 0,58ql. \quad (5.83)$$

Агар $Q_T \neq 0$ бўлса,

$$\boxed{Q_{\text{хис}} \approx Q_T + 0,55ql} \quad (5.84)$$

5.9. МУРАККАБ ҚУВУРЛАР ТИЗИМИНИНГ ГИДРАВЛИК ҲИСОБИ

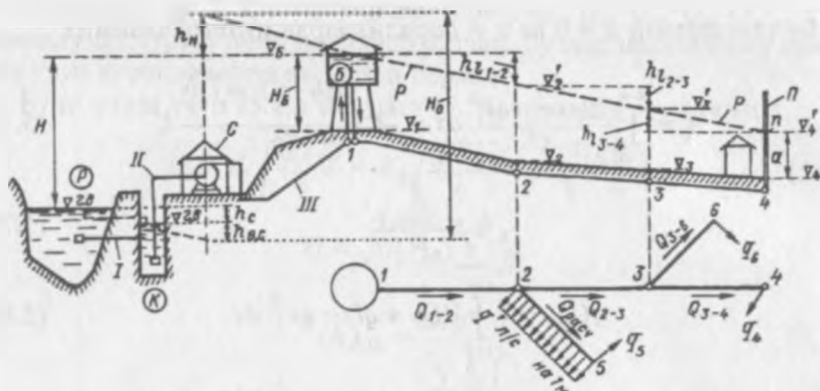
Умуман, мураккаб қувурларни икки гуруҳга бўлишимиз мумкин:

- туташмаган, охири берк қувурлар тизими (5.13-расм);
- ҳалқасимон қувурлар тизими (5.14-расм).

Бундай қувурлар тизимининг гидравлик ҳисобида, агар сув напорли босимлар баландлигини аниқлаш керак бўлса, қуйидагилар маълум бўлиши керак:

- алоҳида қувурлар узунлиги l , таъминот тизими плани, жой плани горизонтал кўринишда;
- тизим нуқталарида олинаётган сарфлар миқдори q_4, q_5, q_6 ;
- тизимининг тугаш қисмларидаги керакли энг кичик пьезометрик кўрсаткичлари, яъни напорлар.

Гидравлик ҳисоблаш натижасида қувурлар диаметри, керакли сув сарфи билан таъминловчи сув бакидаги напор баландлигини аниқлаш мумкин.



5.13-расм. Тугашмаган, охири берк қувурлар тизими



5.14-расм. Ҳалқасимон тармоқ тасвири.
M — босимли сув минораси

Умумий ҳисоб қуйидаги тартибда бажарилади:

1. Ҳар бир узелдаги ҳисобий сарф миқдори аниқланади:

$$Q_{3-4} = q_4;$$

$$Q_{1-2} = q_4 + q_5 + q_6 + q'_{1-2-5};$$

$$Q_{2-5} = q_5 + 0.55q'_{1-2-5}.$$

2. Магистрал йўналишни аниқлаймиз. Бунда бу йўналишда сарф энг юқори бўлиши керак. Яна у узун бўлиб, ер юзи баландликларининг энг катта қийматлари шу йўналишда жойлашиши керак.

Магистрал йўналишнинг ҳисоби қуйидаги тартибда олиб борилади. Тежамкор тезлик аниқланади. Маълумки, қувур диаметри магистрал йўналишда кичикроқ олинса, магистрал йўналишнинг қурилиш нархи камаяди. Лекин, босимли сув минораси насос станцияси қурилиши нархи қимматлашади. Бундан ташқари, эксплуатация нархи ҳам ошади. Магистрал йўналишда қувур диаметрини ошириш бунга тескари манзарани беради.

Юқоридаги мулоҳазалар асосида тежамкор тезлик тушунчасини ўрганиш амалга оширилган. Тадқиқотчилар натижасига асосан, бу катталиқ қуйидаги жадвал асосида қабул қилиниши мумкин.

$D, \text{ м}$		0,10	0,20	0,25	0,30
$v_{\text{теж}}, \text{ м/с}$		0,75	0,90	1,10	1,25

3. Магистрал йўналишдаги қувурлар диаметрини аниқлаймиз:

$$\omega = \frac{Q}{v_{\text{теж}}}; \quad D' = \sqrt{\frac{4\omega}{\pi}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{\text{теж}}}}$$

4. Ҳар бир участка учун напор йўқолишини аниқлаймиз:

$$h_f = \frac{Q^2}{K^2} l$$

5. h_f катталики маълум бўлгандан сўнг участка учун $P-P$ пьезометрик чизиқни чизамиз.

Чизиқни чизишни Δ'_4 баландлигини билган ҳолда участка охиридан бошлаймиз. Аниқланган $(h_f)_{3-4}$, $(h_f)_{2-3}$, $(h_f)_{1-2}$ катталиклари тик йўналишда қўйилади.

Магистралдан бўлинган йўналишлар ҳисоби эса қуйидаги тартибда аниқланади (5.15-расмга қarang):

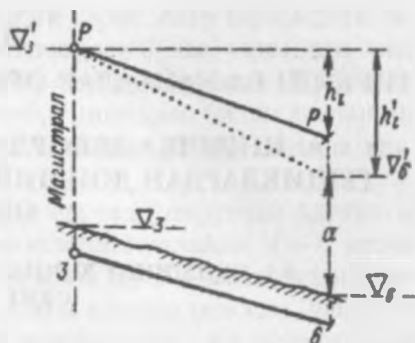
- $h'_4 = \Delta'_3 - \Delta'_6$ — напор йўқолиши аниқланади;
- сарф модули ифодасини қуйидагича ёзамиз:

$$(K')^2 = Q^2 \frac{l}{h_f};$$

в) махсус жадваллар ёрдамида K' катталиққа мос келувчи қувур диаметри D' топилади.

г) D диаметрға асосан ҳақиқий сарф модули қийматини топамиз ва бунга асосан ҳақиқий напор (h_f) йўқолишини аниқлаймиз.

Агар магистрал йўналишини биз нотўғри танлаган бўлсак, ҳисоб давомида $\Delta'_6 > \Delta'_3$ муносабатга келишимиз мумкин, яъни 3—6 бўлим охирига керакли сарф узатиш имконияти йўқ. Бундай ҳолатда магистрал йўналиш қайта танланиб, гидравлик ҳисоб қайтадан бажарилади.



5.15-расм. Охири берк магистрал тизим тармоғи

Текшириш учун саволлар

- Қувурдаги напорни аниқлашда Дарси-Вейсбах формуласини ёзинг.
- Узун ва қисқа қувурлар ҳақида тушунча беринг.
- Маҳаллий напор қандай аниқланади?
- Гидравлик қаршилик деб нимага айтилади?
- Узун қувурлар ҳисоби билан қисқа қувурлар ҳисоби ўртасидаги фарқ нимадан иборат?
- Сифон ва насос сўрувчи қувурининг ишлаш принципини тушунтиринг.
- Ўзгарувчан сарфда узунлик бўйича напор йўқолиши қандай аниқланади?
- Нима учун қисқа қувурлар ҳисобида Бернулли тенгламасига тез-тез муножаат қилинади?

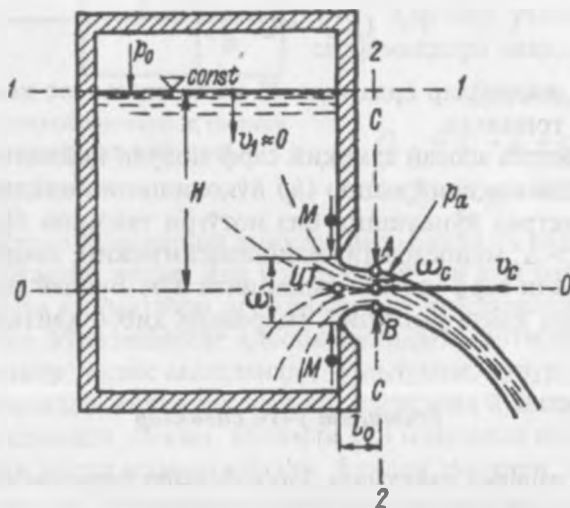
VI БОБ

ТИРҚИШ ВА НАЙЧАЛАР ОРҚАЛИ СУЮҚЛИКНИНГ ОҚИШИ

А. ИНГИЧКА ДЕВОРЛИ ТЕКИС ТҮСИҚЛАРДАГИ ТЕШИКЛАРДАН ДОИМИЙ НАПОРЛИ СУЮҚЛИКНИНГ ОҚИШИ

6.1. ОҚИМНИНГ КИЧИК ТИРҚИШДАН АТМОСФЕРАГА ОҚИБ ЧИҚИШИ

Тадқиқотчилар томонидан утказилган тажрибаларга асосланиб, оқимнинг кичик тирқишдан атмосферага оқиб чиқишини 6.1-расмдаги кўринишда тасвирлаш мумкин. Бунда p_0 — суюқлик эркин сиртига таъсир этувчи ташқи босим, бу катталиқ p_a — атмосфера босимидан фарқ қилади; ω — тирқиш юзаси; ω_c — оқимчанинг С—С кесимдаги юзаси. H — тирқишнинг оғирлик марказигача булган чуқурлик.



6.1-расм. Оқимнинг кичик тирқишдан атмосферага оқиб чиқиши

Агар l_0 масофада оқимнинг пастлашишини ҳисобга олсак, у ҳолда ω_c юзанинг оғирлик марказигача булган чуқурлик деб қабул қилиниши мумкин. Оқимча С—С кесимгача кескин сиқилиб боради. Бундай ҳолат суюқлик заррачаларининг инерцияси ҳисобига содир бўлади деб қабул қилиш мумкин. Бунга мисол тариқасида M заррачанинг ҳаракатини кўришимиз мумкин (6.1-расм). Агар ҳаракатланаётган оқимга ҳавонинг аралашиши — аэрацияни ва ҳаво қаршилигини ҳисобга олмасак, пастлашаётган заррачанинг тезлиги ошганлиги са-

бабли оқимнинг сиқилиши давом этиши керак. Агар тирқишдан чиқаётган суюқлик оқимчасининг тезлиги юқори бўлса, оқимнинг ташқи қобиғида уринма кучланишларнинг таъсири кучаяди. Ҳаво қаршилиги оқимча тезлигини камайтириб, унинг ҳаво билан аралашуш жараёнини жадаллаштиради ва $C-C$ кесимдан кейин оқимча кенгая бошлайди.

Оқимча ўз ҳаракатида $C-C$ кесимгача тез ўзгарувчан ҳаракатда бўлиб, кейин текис ўзгарувчан ҳаракатлана бошлайди. $C-C$ кесим эса *сиқилган кесим* деб аталади, Худди мана шу $C-C$ кесимдан бошлаб, оқимча учун Бернулли тенгламасини қўлаш мумкин, чунки бу кесимгача оқимнинг ҳаракати тез ўзгарувчандир. AB йўналишдаги оқимнинг тезлиги u эпюралари тўғри тўртбурчакдир. Агар тирқиш айлана шаклида бўлса, бу сиқилган кесимгача масофа қуйидагича аниқланади:

$$l_0 \approx 0,5D, \quad (6.1)$$

бунда D — тирқиш диаметри.

Сиқилиш коэффициентини қуйидагича аниқлаймиз:

$$\boxed{\frac{w_c}{w} = \varepsilon}, \quad (6.2)$$

бунда ε — сиқилиш коэффициенти.

Энди сиқилган кесимдаги оқимнинг ўртача тезлиги v_c ва идишдан чиқаётган оқим сарфини (Q) аниқлаймиз. Бунинг учун идишдаги суюқлик сиртидан 1—1 ва сиқилган кесимдан 2—2 кесимни ўтказиб, сиқилган кесим оғирлик марказидан 00 таққослаш текислигини ўтказамиз. Бу текисликка нисбатан 1—1 ва 2—2 кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f, \quad (6.3)$$

Тенгламанинг ҳар бир ҳадини таҳлил қиламиз.

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= H; & \frac{p_1}{\gamma} &= \frac{p_0}{\gamma}; & \frac{\alpha v_1^2}{2g} &\approx 0 \\ z_2 &= 0; & \frac{p_2}{\gamma} &= \frac{p_a}{\gamma}; & \frac{\alpha v_2^2}{2g} &\approx \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_c^2}{2g} \end{aligned} \right\} \quad (6.4)$$

Оқимнинг идишдаги тезлигини ҳисобга олмаган ҳолда, $C-C$ кесимдаги босимни атмосфера босимига тенг деб қабул қиламиз. 1—1 кесимдан 2—2 кесимгача напор йўқолишини қуйидагича аниқлаймиз:

$$h_f = \zeta \frac{v_c^2}{2g}, \quad (6.5)$$

бунда ζ — қаршилиқ коэффициенти.

Демак, (6.4) ва (6.5) ифодаларни инобатга олсак, (6.3) тенглама-ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$H + \frac{p_0}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + \zeta \frac{v_c^2}{2g}; \quad (6.6)$$

$$H + \left(\frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_a}{\gamma} \right) = H_{\kappa\lambda}, \quad (6.7)$$

бунда $H_{\kappa\lambda}$ — келтирилган ёки жамланган напор. У ҳолда:

$$H_{\kappa\lambda} = (1 + \zeta) \frac{v_c^2}{2g}. \quad (6.8)$$

Бундан

$$v_c = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}} \sqrt{2gH_{\kappa\lambda}} \quad (6.9)$$

ёки

$$v_c = \varphi \sqrt{2gH_{\kappa\lambda}}, \quad (6.10)$$

бунда

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}} \quad (6.11)$$

тезлик коэффициентини деб аталади.

Агар $p_0 = p_a$ бўлса, (6.10) ифодани қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$v_c = \varphi \sqrt{2gH}. \quad (6.12)$$

Идеал ҳолатдаги суюқликлар учун

$$h_f = \zeta \frac{v_c^2}{2g} = 0 \quad (6.13)$$

ва

$$z = 0; \quad j = 1, 0 \quad (6.14)$$

эканлигини ҳисобга олсак,

$$v_c = \sqrt{2gH}. \quad (6.15)$$

Бу ифода *Торричелли ифодаси* дейилади. Бу боғлиқлиқни 1643 йил-да Торричелли аниқлаб, $\varphi \approx 1,0$ эканлигини таъкидлаган. Сиқилган кесимдаги оқимнинг ўртача тезлигини билган ҳолда, бу кесимдаги оқим сарфини аниқлаймиз:

$$Q = \omega_c v_c = \omega_c \varphi \sqrt{2gH} = \omega \frac{\omega_c}{\omega} \varphi \sqrt{2gH}. \quad (6.16)$$

Бундан

$$Q = \varepsilon \varphi \omega \sqrt{2gH} \quad (6.17)$$

ёки

$$Q = \mu_0 \omega \sqrt{2gH} \quad (6.18)$$

$$\mu_0 = \varepsilon \varphi \quad (6.19)$$

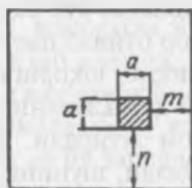
μ_0 — тирқишнинг сарф коэффициентлари деб аталади.

Демак, мазкур ҳодисани ўрганишда қуйидаги тўртта янги коэффициентлар, яъни:

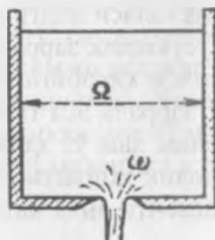
ε — сиқилиш; ζ — қаршилиқ; φ — тезлик; μ_0 — тирқишнинг сарф коэффициентлари билан танишдик.

6.2. ОҚИМЧАЛАРНИНГ СИҚИЛИШ ТУРЛАРИ. ε , ζ , φ ВА μ_0 КОЭФФИЦИЕНТЛАР КАТТАЛИКЛАРИ

Оқимчанинг сиқилиш даражасига суюқлик жойлашган муҳитнинг ён деворлари ва идиш туби таъсир кўрсатиши мумкин. Шу сабабли тирқишнинг ён деворлар ва идиш тубида жойлашган вазиятига боғлиқ ҳолатда оқимчанинг сиқилиши турлича кўринишда бўлиши мумкин.



6.2-расм. Оқимнинг тўлиқ амалга ошган ва чала сиқилишига доир



6.2-расм. Оқимчанинг чала сиқилишига доир

Тўлиқ сиқилиш. Тирқишдан отилиб чиқаётган оқимнинг сиқилишига суюқлик жойлашган идишнинг ён деворлари ва тубининг таъсири бўлмаса, бундай сиқилиш тўлиқ амалга ошган сиқилиш дейилади (6.2-расм). Бундай сиқилиш қуйидаги шарт бажарилганда амалга ошади:

$$m > 3a, \quad n > 3a. \quad (6.20)$$

Бунда a — томонлари узунлиги бир хил бўлган тирқиш катталиги, m — тирқишдан ён деворгача бўлган масофа, n — тирқишдан идиш тубигача бўлган масофа. (6.20) шарт бажарилганда тажрибалар натижасига асосланиб, юқорида санаб утилган коэффициентларнинг қуйидаги қийматларини қабул қилиш мумкин:

$$\varepsilon = 0,63 \div 0,64; \zeta = 0,06; \varphi = 0,97; \mu_0 = 0,62 \quad (6.21)$$

Тулиқ амалга ошмаган сиқилиш. Тирқишдан отилиб чиқаётган оқимчанинг бундай сиқилиши (6.20) шарт бажарилмаган ҳолатларда рўй бериши мумкин.

Таъкидлаш керакки, тирқишларнинг шакли ва ўлчамлари бир хил бўлса-да, тулиқ амалга ошган сиқилишдаги оқимнинг кесим юзаси тулиқ амалга ошмаган сиқилишдаги оқимнинг кесим юзасидан кичик бўлади:

$$\omega_c > \omega'_c. \quad (6.22)$$

Тулиқ амалга ошмаган сиқилишда, сарф коэффициентини куйидаги ифода ёрдамида ҳисоблаш мумкин (6.3-расм):

$$\mu_0 \approx \mu'_0 \left(1 + \frac{\tau}{100} \right), \quad (6.23)$$

бунда

$$\tau = f\left(\frac{\omega}{\Omega}\right) \quad (6.24)$$

бўлиб, Ω — идишнинг горизонтал кесим юзаси.

Агар а) $\omega : \Omega = 0,1$ бўлса, $\tau \approx 1,5$

б) $\omega : \Omega = 0,2$ бўлса, $\tau \approx 3,5$.

Тулиқ бўлмаган сиқилиш. Нотулиқ сиқилиш m ва n катталиклардан бири ёки ҳар иккаласи нолга тенг бўлган ҳолатда рўй бериши мумкин (6.4-расм). M_1 суюқлик заррачаси I ён девор бўйлаб пастга ҳаракатланиб, ўз энергияси ҳисобига тирқишдан чиқиб, юқорига ҳаракатлана бошлайди. M_2 заррача эса II девор бўйлаб ҳаракатланиб, тирқишдан чиққандан кейин ҳам ўз ҳаракатини давом эттиради. Бундай сиқилишда ω_c катталик қиймати анча катта бўлади, шунинг ҳисобига μ_0 сарф коэффициенти анча катта бўлиб, куйидагича аниқланади:

$$\mu_0 \approx \mu'_0 \left(1 + 0,4 \frac{P'}{P} \right) \quad (6.25)$$

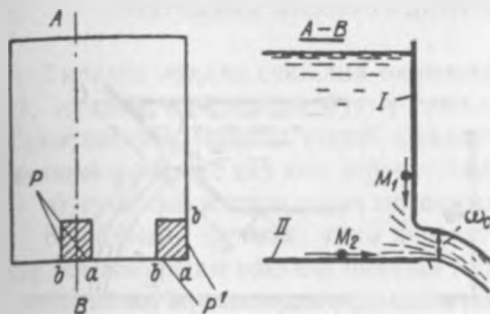
бунда: P — тирқиш периметри;

P' — тирқишнинг оқим сиқилмаган соҳаси периметри.

Хулосалар:

1. Тезлик коэффициенти қиймати $\varphi \approx 1,0$ бўлса, сиқилиш ва сарф коэффициентлари қийматлари $0,6 \div 1,0$ оралиғида бўлади.
2. Бошқа ҳамма шароитлар бир хил бўлганда, нотулиқ ва тулиқ амалга ошмаган сиқилишдаги оқимча сарфи (Q), тулиқ амалга ошган сиқилишдаги оқимча сарфидан катта бўлади.
3. Сарф коэффициентининг юқорида келтирилган катталиклари оқимнинг турбулент ҳаракати учун тааллуқли бўлиб, бунда Рейнольдс сони юқори бўлади ва Рейнольдс сонининг кичик қийматлари учун эса сарф коэффициенти унга функционал боғлиқдир.

4. Оқимча ҳаракати давомида кесим бўйича ўз шаклини ўзгартиради. Бундай ўзгаришлар 6.5-расмда ифодаланган.



6.4-расм. Тўлиқ сиқилмаган оқимча



6.5-расм. Оқимча кесими шаклининг ўзгариши

6.3. ОҚИМЧАНИНГ ТРАЕКТОРИЯСИ

Тик ҳолатда турган девордаги тирқишдан отилиб чиқаётган оқимча ҳаракати билан танишамиз.

Тирқишдан отилиб чиқиб, оғирлиги ҳисобига эркин пастлашаётган оқимча чизиги *оқимча траекторияси* деб аталади. Бу чизиқчанинг ҳаракат тенгламасини ёзиш учун қуйидагича фикр юритамиз.

Девордан l_0 масофада жойлашган С—С сиқилиш рўй бераётган кесимни белгилаб оламиз. Сиқилган кесим марказида 0 нуқта белгилаб, ундан x ва z координаталарни белгилаймиз. Ҳаво қаршилигини ҳисобга олмасдан, бу кесимда v_c тезликка эга бўлган заррачани танлаб оламиз ва бу заррача учун назарий механика курсидан бизга маълум бўлган ҳаракат тенгламасини ёзамиз:

$$x = v_c t; \quad z = \frac{g t^2}{2}, \quad (6.26)$$

бунда t — вақт.

Траектория тенгламасини қуйидагича ёзишимиз мумкин:

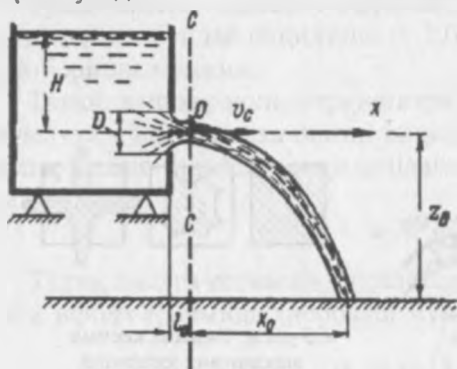
$$z = \frac{g x^2}{2 v_c^2}. \quad (6.27)$$

Бундан:

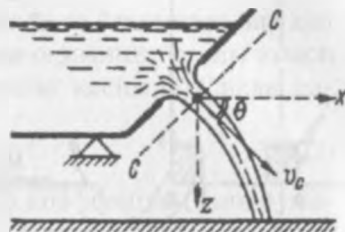
$$v_c = \varphi \sqrt{2gH}. \quad (6.28)$$

(6.27) тенглама оқимча траекторияси парабола кўринишда бўлишини кўрсатади (6.6-расм). Унга z_0 қийматни қўйсақ, оқимчанинг узоқлашиш масофаси (x_0) ни топишимиз мумкин. Тирқиш идиш деворига қия қилиб ўрнатилган бўлса (6.7-расм), оқим ўқи тенгламаси юқорида берилган кўринишда бўлади, фақат бунда заррача-

нинг бошланғич тезлиги (v_c) горизонтга нисбатан θ бурчак остида қия бўлади.



6.6-расм. Оқимчанинг таректорияси (тирқиш тик деворда бўлган ҳолатда)

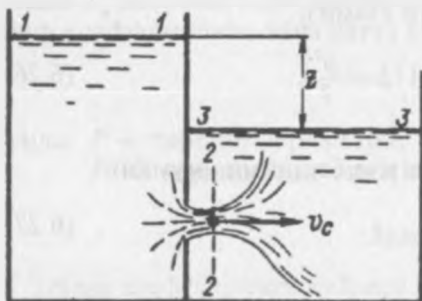


6.7-расм. Оқимча траекторияси (тирқиш қия деворда жойлашган ҳолат учун)

6.4. ОҚИМЧАНИНГ КИЧИК ТИРҚИШЛАРДАН СУВ САТҲИ ОСТИГА ЧИҚИШИ

Бундай қўшилган тирқиш 6.8-расмда кўрсатилган. Бунда z — идишлардаги сатҳлар фарқи. Энди 1—1 ва 3—3 кесимлар учун Бернулли тенгласини энергия йўқолиши орқали ёзамиз:

$$h_f = Z = \zeta \frac{v_c^2}{2g} = (\zeta_{1-2} + \zeta_{2-3}) \frac{v_c^2}{2g} = (\zeta_{1-2} + 1) \frac{v_c^2}{2g}, \quad (6.29)$$



6.8-расм. Сув остида жойлашган кичик тирқишдан оқимчанинг чиқиши

бунда ζ — кесимлар орасидаги энергиянинг йўқолиш коэффициенти.

Натижада, қуйидаги тенглама-ни олишимиз мумкин:

$$Q = \mu_0 \omega \sqrt{2gZ} \quad (6.30)$$

Бу тенглама оқимчанинг тирқишдан сув сатҳи остига чиқиши-ни ҳисоблаш тенгласи дейилади.

6.5. СУЮҚЛИКНИНГ ИДИШДАГИ ҲАРАКАТИ. КИЧИК ВА КАТТА ТИРҚИШЛАР ҲАҚИДА ТУШУНЧАЛАР. КАТТА ТИРҚИШЛАРНИНГ ГИДРАВЛИК ҲИСОБИГА ДОИР АМАЛИЙ КЎРСАТМАЛАР

Тирқиш орқали суюқлик оқимининг отилиб чиқиши натижасида, идишда жойлашган бутун суюқлик массаси ҳаракатга келади. Суюқликнинг идишга кириб келиши ва тезлик катталигига қараб, идишда суюқлик ҳар хил ҳаракатланиши мумкин:

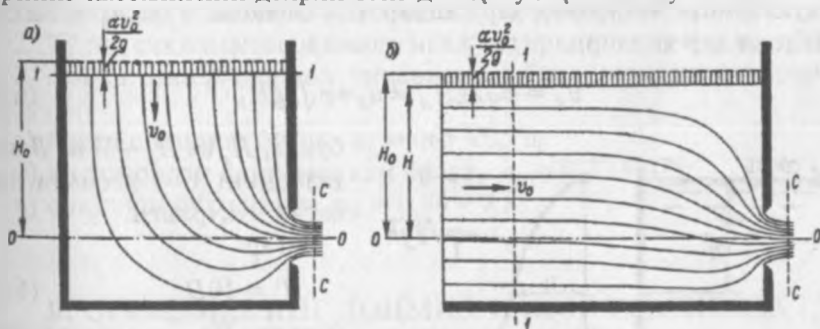
- а) суюқлик илгариланма потенциал ҳаракат қилиши мумкин;
- б) айланма ҳаракат, яъни ҳаракатланаётган суюқликда айланма ҳаракатланаётган соҳалар бўлиши мумкин.

6.9 ва 6.10-расмларда оқимнинг илгариланма потенциал ҳаракатига оид ҳаракат чизикчалари ифодаланган. 6.9, б ва 6.10, б-расмларда 1—1 кесим тик ҳолатда бўлиб, яқинлашиш тезлигини v_0 деб белгилаб олсак, тулиқ напорни қуйидагича аниқлашимиз мумкин:

$$H_h = H + \frac{2v_0^2}{2g} = H_0 \text{ (белги)} \quad (6.31)$$

1—1 ва С—С кесимлар орасида энергиянинг йўқолиши φ — тезлик коэффициенти билан баҳоланади.

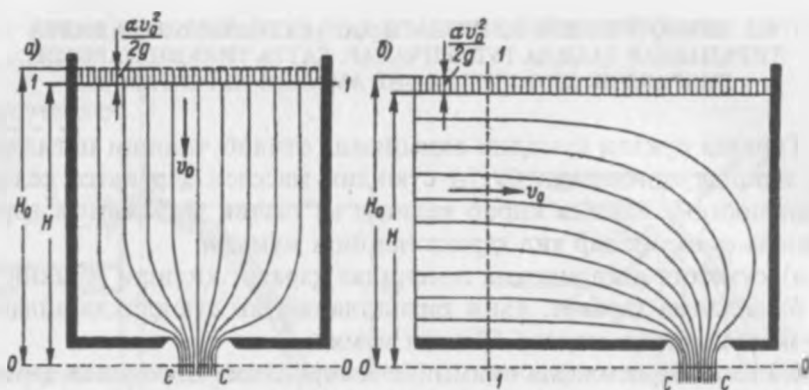
Бошланғич билимларимизга асосланиб айтишимиз мумкинки, 6.9, а ва 6.10, б-расмлардаги идишда ҳаракатланаётган суюқликлар учун тезлик коэффициенти 6.9, б- ва 6.10, а-расмларга нисбатан кичик бўлиши керак, лекин тезлик унда унча катта эмаслиги ва напор йўқолиши асосан тирқиш яқинида рўй берганлиги учун коэффициентларнинг катталигини деярли тенг деб қабул қилиш мумкин.



6.9-расм. Суюқликнинг идишдаги тезлиги

Агар тирқиш кичик бўлса, φ коэффициент катталиги оқимнинг ҳаракатига боғлиқ эмас. Бундай идишларда ҳаракатланаётган оқим сарфини қуйидаги ифода ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$Q = \mu_0 \omega \sqrt{2gH_0}. \quad (6.32)$$



6.10-расм. Суюқликнинг идишдаги тезлиги

Агар 1—1 кесимдаги оқимнинг ҳаракатдаги кесим юзасини Ω деб белгиласак,

$$\Omega : \omega > 4,0 \quad (6.33)$$

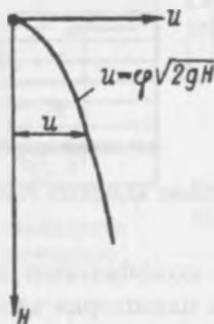
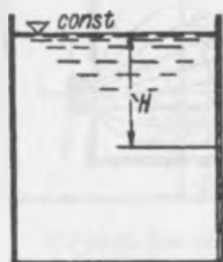
бўлганда

$$H_0 = H \quad (6.34)$$

деб қабул қилиниши мумкин.

H — напор сиқилган кесимдаги оқимнинг ўртача тезлиги v_c ошиши билан ошади, шу сабабли $v = f(H)$ графиги 6.11-расмдаги қуринишда бўлиши табиийдир. 6.1-расмдан қуриниб турибдики, A ва B нуқталарнинг чуқурлиги ҳар хилдир. Шу сабабли, u_A ва u_B тезликлар миқдори ҳар хилдир.

$$u_A = \varphi \sqrt{2gH_A} \neq u_B = \varphi \sqrt{2gH_B} \quad (6.35)$$



бунда, H_A ва H_B — A ва B нуқталарнинг 1—1 кесимга нисбатан чуқурлиги.

Агар

$$H' = 10D \quad (6.36)$$

(бунда H' — тирқишнинг юқори қирраси чуқурлиги; D — тирқиш диаметри) бўлса, u_A ва u_B катталиклари орасидаги фарқ 5% дан кичик бўлади.

Энди кичик ва катта тирқишлар деб аталувчи тушун-

6.11-расм. Ингичка (а) ва қалин (б) девордаги тирқишлардан суюқликнинг чиқишига доир

чалар билан танишамиз. Қуйидаги икки шартни бир вақтда қаноатлантирувчи тирқишлар *кичик тирқишлар* дейилади.

1-шарт. v_0 — яқинлашиш тезлиги ниҳоятда кичик, яъни (6.33) тенгсизлик ўринли;

2-шарт. u_A ва u_B тезликлар деярли бир-бирига тенг ($u_A = u_B$), яъни (6.36) ифода ўринли бўлади.

Бу иккала шартни инобатга олиб, кичик тирқиш қуйидаги вазиятларда мавжуд бўлади:

а) тирқиш тик деворда жойлашиб, кесимга горизонтал ҳолатда яқинлашишида (6.9-рasm, а), (6.33) ва (6.36) шартлар бир вақтда бажарилганда;

б) тирқиш тик деворда жойлашган бўлиб, 1—1 яқинлашиш кесими тик ҳолатда бўлганда (6.9-рasm, б), (6.36) шарт бажарилганда. Бунда (6.33) шарт доимо бажарилади;

в) тирқиш горизонтал тубда жойлашганда (6.10-рasm). Бунда (6.33) шарт бажарилиб, (6.36) шарт мавжуд бўлмайди.

Демак, хулоса қилиб айтиш мумкинки, кичик тирқишларда $v_0 = 0$ ва $H_0 = H$ шарт бажарилар экан.

Катта тирқиш деганда эса юқоридаги икки шарт ҳам бир вақтда бажарилмайдиган тирқишлар тушунилади.

Умуман айтганда, бундай тирқишлар учун ҳам юқорида қўрилган ифодалар ўринли, лекин сарф коэффициенти катталиги ҳар хил бўлади. Унинг қийматини аниқлаш учун қўпгина ҳолларда махсус тадқиқотлар ўтказилади. Шуларнинг айримлари натижаларини келтиришимиз мумкин.

1. Оқим ҳар томондан сиқиладиган тирқишларда $\mu_0 = 0,65$;

2. Тулиқ сиқилмаган оқимлар мавжуд тирқишлар учун $\mu_0 = 0,70$;

3. Лойқа ётқизиқларини чиқаришга мўлжалланадиган тирқишлар учун:

а) ёндан сиқилиш бўлса, $\mu_0 = 0,65 \div 0,70$;

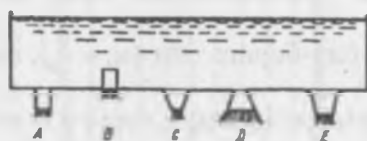
б) ён томондан сиқилиш кам бўлса, $\mu_0 = 0,70 \div 0,75$;

в) сиқилиш бўлмаганда $\mu_0 = 0,80 \div 0,85$.

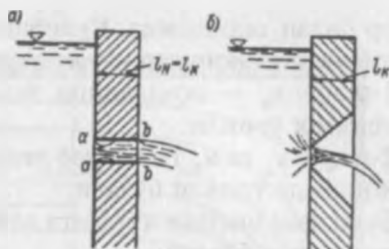
Б. СУЮҚЛИКНИНГ ДОИМИЙ НАПОР ТАЪСИРИДА НАЙЧА ОРҚАЛИ ҲАРАКАТИ

6.6. НАЙЧАЛАРНИНГ ШАКЛЛАРИ. УМУМИЙ КЎРСАТМАЛАР

Биз, юқорида узун ва қисқа қувурлар билан танишган эдик. Бунда, таъкидланган эдики, узун қувурларда напорнинг фақат узунлик бўйича йўқолиши ҳисобга олинади, қисқа қувурларда эса ҳар иккала напорнинг йўқолиши ҳисобга олинади.



6.12-расм. Тирқиш турлари



6.13-расм. Ингичка (а) ва қалин (б) девордаги тирқишлардан суюқликнинг чиқишига доир

Найчанинг куйидаги кўринишлари мавжуд (6.12-расм):

- 1) ташқи цилиндрсимон найча — Вентури найчаси (6.12-расм, А);
- 2) кичик цилиндрсимон найча — Борд найчаси (6.12-расм, В);
- 3) конуссимон найчалар: тораювчи (6.12-расм, С) ва кенгаювчи (6.12-расм, D) найчалар;
- 4) томонлари текис эгилувчан найча (6.12-расм, Е).

Энди оқимнинг қалин девордаги тирқишдан оқиб чиқиши билан танишамиз (6.13-расм, а). Гидравлика нуқтаи назардан ab Вентури найчани кўришимиз мумкин. a — a кесимни «кириш» ва b — b кесимни «чиқиш» кесимлари деб атаймиз. Улар орасидаги масофани l_n деб белгилаб, уни «найча узунлиги» ёки «деворнинг гидравлик қалинлиги» деб белгилаб олишимиз мумкин.

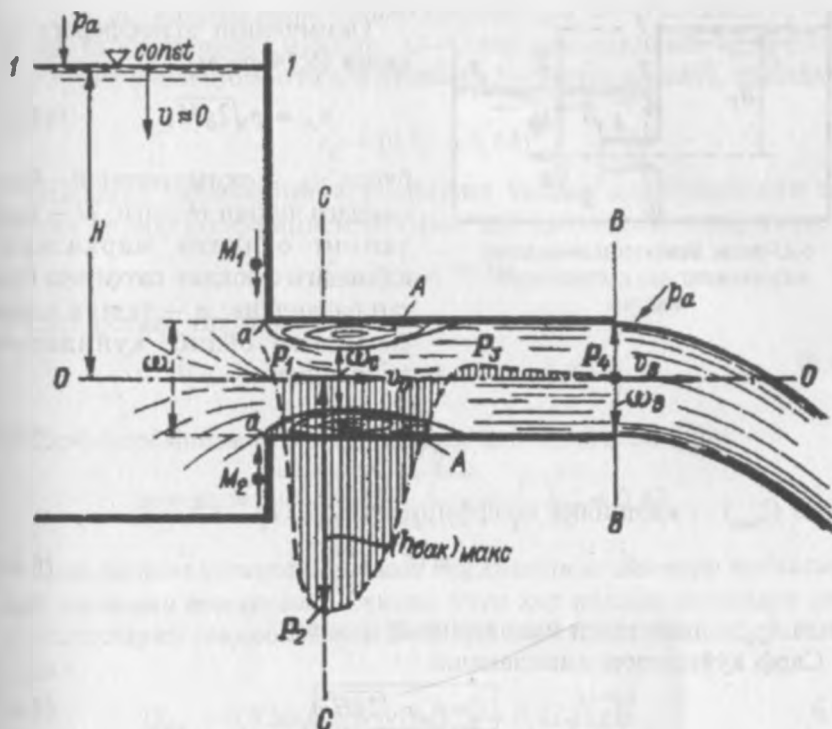
6.13-расм (б)даги «кириш» ва «чиқиш» кесимлари амалда узаро устма-уст тушиб $l_n \approx 0$ бўлади. Тузилиши қалин бўлсада, гидравликада бу деворни юпқа девор деб қабул қиламиз. Бундан ташқари, шуни таъкидлашимиз керакки, найчалар билан танишганимизда оқимнинг квадрат қаршиликлар соҳасига мос келувчи турбулент ҳаракатини кўриш билан чегараланамиз.

6.7. ТАШҚИ ЦИЛИНДРСИМОН НАЙЧА (ВЕНТУРИ НАЙЧАСИ)

Суюқликнинг атмосферага чиқишидаги ҳаракати (6.14-расм). Суюқлик оқимчаси ўзининг оғирлиги ҳисобига пайдо буладиган инерция кучи ҳисобига дастлаб ω_c кесим катталигигача сиқилади, кейин кенгайиб, бутун найчани эгаллайди (6.14-расмда M заррачанинг ҳаракати фикримизга далил бўлиши мумкин). Бунда айланма ҳаракатга эга бўлган A соҳани кузатиш мумкин. B — B кесимда суюқликка p_a атмосфера босимининг таъсири бўлганлиги сабабли,

$$\omega_p = \omega \quad (6.37)$$

шарт бажарилади. Бунда, ω — найча уланган тирқишнинг кўндаланг кесими юзаси.



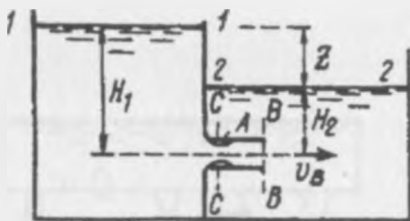
6.14-расм. Вентури найчаси

Расмдан кўриниб турибдики, оқим атмосферага чиқишида унинг сиқилиши деярли сезилмайди. Айланма A соҳа ва бу соҳа билан ўтаётган оқимчани ажратиб турувчи сирт ҳақида напорнинг маҳаллий йўқолишининг умумий тавсифи ҳақида айтилган барча фикрлар ўринлидир. Бу соҳа ва соҳа майдонида ўтувчи оқимча ҳам вакуум (бўшлик)га эга. Бўшлиқнинг энг катта қиймати $C-C$ кесимда мавжуд бўлади, шунинг ҳисобига мазкур кесимда тезлик ва кинетик энергия энг катта қийматга эга бўлади.

Бизга маълумки, кинетик энергиянинг ошиши, потенциал энергиянинг камайишига олиб келади. $B-B$ кесимдаги босим атмосфера босимига тенг, $C-C$ кесимда эса сиқилиш ҳисобига тезликнинг ошиши сабабли, босимнинг камайганлигини кўрамыз.

Юқоридаги мулоҳазаларимизга асосан, бу соҳада пьезометрик чизиқ $P_1 P_2 P_3 P_4$ кўринишида бўлади (6.15-расм).

Оқимнинг найчадан чиқиш тезлиги (v_b) ва сарф (Q) ни ҳисоблаш ифодалари. Бу ифодаларни олиш учун 6.14- ва 6.15-расмлардаги 1—1 ва $B-B$ кесимлар ёки 1—1 ва 2—2 кесимлар учун Бернулли тенгласини ёзиб, 6.1- ва 6.4-мавзулардагидек фикр юритиб, қуйидагиларни оламыз:



6.15-расм. Вентури найчасидан оқимчанинг сув сатҳига оқиб чиқиши

Оқимчанинг атмосферага чиқиши (6.14-расм)

$$v_B = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (6.38)$$

бунда v_B — оқимчанинг $B-B$ кесимдаги чиқиш тезлиги; H — найчанинг огирлик марказидан идишдаги суюқлик сатҳигача бўлган баландлик; φ — тезлик коэффиценти бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + (\zeta_{\text{май}})}}, \quad (6.39)$$

бунда $(\zeta_{\text{май}})$ — қаршилик коэффиценти.

$$h_{\text{май}} = (\zeta_{\text{май}}) \frac{v_B^2}{2g}, \quad (6.40)$$

бунда $h_{\text{май}}$ — найчадаги напорнинг йуқолиши.

Сарф қуйидагича аниқланади:

$$Q = \mu_n \omega \sqrt{2gH}, \quad (6.41)$$

бунда μ_n — найчанинг сарф коэффиценти. Найчада сиқилиш йуқ деб қабул қилганимиз сабабли:

$$\mu_n = \varepsilon_B \varphi = \varphi. \quad (6.42)$$

Шунинг учун

$$\varepsilon_B = \frac{\omega_B}{\omega} = 1,0 \quad (6.43)$$

деб қабул қилишимиз мумкин.

Оқимчанинг сув сатҳи остига чиқиши (6.15-расм). Бундай ҳолда (6.36) ва (6.41) ифодалар ўрнига қуйидагиларни ёзишимиз мумкин:

$$v_B = \varphi \sqrt{2gZ}; \quad (6.44)$$

$$Q = \mu_n \omega \sqrt{2gZ}, \quad (6.45)$$

бунда Z — сатҳлар орасидаги фарқ; φ — тезлик коэффиценти бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{(\zeta_{\text{май}})_{\text{к.о}}}} = \sqrt{\frac{1}{\zeta_{\text{май}} + 1}}, \quad (6.46)$$

бунда μ_n — сарф коэффиценти. $\mu_n = \varphi$ деб қабул қилиш мумкин.

ε , ζ , φ , μ_n коэффициентларнинг қийматлари. $B-B$ кесимда $\varepsilon_B = 1,0$ деб қабул қилишимиз мумкин. $C-C$ кесимда сиқилиш коэффициенти ε_C энг катта қийматга эга бўлиб (6.2-мавзуга қаранг), қуйидагига тенг:

$$\varepsilon_C = (0,63 + 0,64)$$

Найчадан оқимчанинг атмосферага чиқиш коэффициенти эса, қувурга кириш коэффициентиغا тенг деб қабул қилинади, яъни:

$$\zeta_{най} = \zeta_{квр} = 0,5.$$

Сатҳ остига чиқишда эса

$$(\zeta_{най})_{к.о} = \zeta_{квр} + \zeta_{чик} = 0,5 + 1,0 = 1,5. \quad (6.47)$$

Сарф коэффициенти φ ҳар иккала ҳолат учун тенгдир.

$$\varphi = \mu_n = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{най}}} = \sqrt{\frac{1}{(\zeta_{най})_{к.о}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,5}} = 0,82. \quad (6.48)$$

Суюқликнинг ингичка девордаги тирқишдан ва Вентури найчасидан оқиб чиқишини таққослаш. Бунинг учун ҳар иккала ҳолатдаги сарф ва тезликларни таққослаймиз. Вентури найчасида (атмосферага чиқиши).

$$Q_{най} = 0,82\omega\sqrt{2gH}; (v_B)_{най} = 0,82\sqrt{2gH} \quad (6.49)$$

Ингичка девордаги тирқишдан (атмосферага) чиқиши:

$$Q_T = 0,62\omega\sqrt{2gH}; (v_C)_T = 0,97\sqrt{2gH}. \quad (6.50)$$

Демак,

$$\frac{Q_{най}}{Q_T} = \frac{0,82}{0,62} = 1,34; \quad (6.51)$$

$$\frac{(v_B)_{най}}{(v_C)_T} = \frac{0,82}{0,97} = 0,85 \quad (6.52)$$

Найчанинг анча эффективлиги кўриниб турибди. Сарф 34 % ошиб, тезлик 15 % камаймоқда. Бунда сарфнинг ошишини кесимнинг чиқишда кенгайиши ва ўз навбатида тезликнинг камайиши билан тушунтириш мумкин.

$C-C$ кесимдаги вакуум қиймати.

Оқимнинг атмосферага чиқиши. Бу катталикни аниқлаш учун оғирлик марказидан ўтувчи 00 текисликка нисбатан $C-C$ ва $B-B$ кесимларга татбиқан Бернулли тенгламасини ёзамиз (6.14-расм):

$$\frac{p_C}{\gamma} + \frac{v_C^2}{2g} = \frac{p_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + h_{с-в}, \quad (6.53)$$

бунда p_c ва v_c катталиклар $C-C$ кесимга тааллуқлидир.

$$h_{j_{C-B}} = \zeta_{C-B} \frac{v_B^2}{2g}; \quad (6.54)$$

$$v_c = \frac{v_B}{\epsilon_C}. \quad (6.55)$$

(6.54) ва (6.55) ифодаларни (6.53) ифодага қўямиз:

$$\frac{v_B^2}{\epsilon_C^2 2g} - \frac{v_B^2}{2g} - \zeta_{C-B} \frac{v_B^2}{2g} = \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_c}{\gamma} = (h_{\text{вак}})_{\text{макс}} \quad (6.56)$$

ёки

$$(h_{\text{вак}})_{\text{макс}} = \left(\frac{1}{\epsilon_C^2} - \epsilon_{C-B} - 1 \right) \frac{v_B^2}{2g}, \quad (6.57)$$

бунда $(h_{\text{вак}})_{\text{макс}}$ — $C-C$ кесимдаги вакуум катталик.

(6.57) ифодани (6.36) га қўйиб, қуйидагига эга бўламиз:

$$(h_{\text{вак}})_{\text{макс}} = kH, \quad (6.58)$$

бунда:

$$k = \varphi^2 \left(\frac{1}{\epsilon_C^2} - \zeta_{C-B} - 1 \right). \quad (6.59)$$

Агар (6.59) ифодага φ , ϵ_C ва ζ_{C-B} коэффициентларнинг сон қийматларини қўйсақ, қуйидагига эга бўламиз:

$$k = 0,82^2 \left(\frac{1}{0,63} - 0,35 - 1 \right) = 0,77. \quad (6.60)$$

Демак,

$$(h_{\text{вак}})_{\text{макс}} = (0,75 \div 0,80)H \quad (6.61)$$

Оқимнинг сатҳ остига чиқиши. 6.15-расмдаги $C-C$ ва 2—2 кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзиб, юқоридагидек фикр юритсак, қуйидагига эга бўламиз:

$$(h_{\text{вак}})_{\text{макс}} = (0,75 \div 0,80)Z - H_2, \quad (6.62)$$

бунда Z ва H_2 катталиклар расмда кўрсатилган.

Агар H_2 катта қийматга эга бўлса, $(h_{\text{вак}})_{\text{макс}}$ манфий қийматга эга бўлади, демак вакуум бўлмайди.

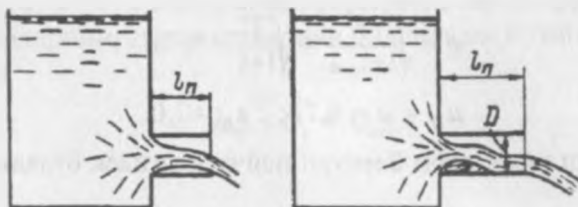
Цилиндирсимон қисқа қувурнинг Вентури найчасидек ишлаши учун зарур бўлган асосий шартлар. Ҳамма қисқа қувурлар ҳам Вентури найчасидек ишламайди. Масалан, 6.16-расмдаги вазиятлар ҳам бўлиши мумкин.

Қисқа қувурнинг найчадек ишлаши учун қуйидаги иккита шарт бажарилиши керак.

1-шарт. Қувурчанинг узунлиги l_n қуйидагича бўлиши керак:

$$(3,5 \div 4,0)D \leq l_n \leq (6 \div 7)D, \quad (6.63)$$

бунда D — қувурча диаметри.



6.16-расм. Вентури найчасида вакуумнинг ҳосил бўлиши (қувур узунлиги қисқа бўлганда)

Агар $l_n < (3,5 + 4,0)D$, бўлса, қувурча узунлиги қисқа бўлганлиги сабабли оқимча кенгайишга улгурмайди;

Агар $l_n > (6 + 7)D$, бўлса, «қисқа қувур» пайдо бўлиб, бунда напорнинг узунлик бўйича йўқолишини ҳисобга олишга тўғри келади.

2-шарт. Максимал вакуумда қуйидаги шарт бажарилиши керак:

а) атмосферага чиқишда (6.14-расм):

$$(h_{\text{оак}})_{\text{макс}} \leq (h_{\text{оак}})_{\text{қўш}}; \quad (6.64)$$

б) сатҳ остига чиқишда (10.15-расм):

$$(h_{\text{оак}})_{\text{макс}} \leq (h_{\text{оак}})_{\text{қўш}} - H_2, \quad (6.65)$$

бунда $(h_{\text{оак}})_{\text{қўш}} \approx 8$ м сув устуни.

6.8. ИЧКИ ЦИЛИНДРСИМОН НАЙЧА (БОРД НАЙЧАСИ)

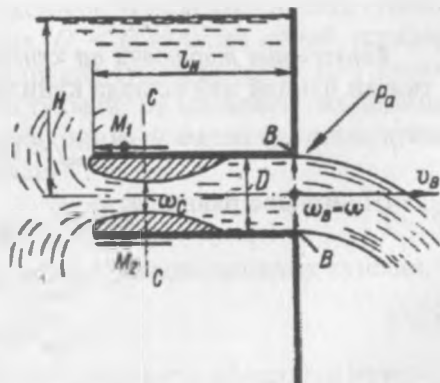
Борд найчаси билан оқимчанинг атмосферага чиқишини ўрганиш орқали танишамиз (6.17-расм). Найча узунлигини $(3,5 + 4)D$ дан кичик эмас деб қабул қилиб, ε_c сиқилиш коэффициентини қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$\varepsilon_c = \frac{\omega_c}{\omega} = 0,5. \quad (6.66)$$

Борд найчасидан кўриниб турибдики, C — C кесимдаги тезлик ва вакуум Вентури найчасидагига нисбатан катта қийматга эга. Қаршилиқ коэффициенти эса қуйидагига тенг.

$$\xi_{\text{най}} = 1,0. \quad (6.67)$$

Бошқа коэффициентлар эса қуйидагича қабул қилинади:



6.17-расм. Борд найчаси

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta_{\text{max}}}} = \sqrt{\frac{1}{1+1}} = 0,71; \quad (6.68)$$

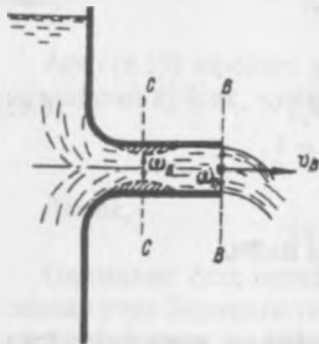
$$\mu_H = \varphi = 0,71; \quad \varepsilon_B = 1,0. \quad (6.69)$$

Ҳисоблаш ифодалари Вентури найчасидагидек бўлади.

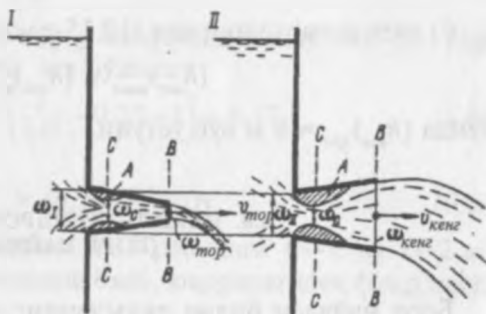
6.9. НАЙЧАЛАРНИНГ БОШҚА ШАКЛЛАРИ

Найчаларнинг бошқа шакллари урганишда оқимчанинг атмосферага чиқиш ҳолати билангина танишамиз.

Кириш қисми айланма бўлган найчалар. Агар кириш қисми айланма бўлса (6.18-расм), сиқилиш камайиб, ω_c катталашади. Бунда $C—C$ кесимдан $B—B$ кесимгача оқимчанинг кенгайиш даражаси камайиб, v_B тезлик ошади. Киришни бундай шаклга келтириш йўли билан сарф коэффициентининг $\mu_H = 0,95$ бўлишига эришиш мумкин.



6.18-расм. Кириш қисми айланма бўлган найча



6.19-расм. Конуссимон найча

Конуссимон тораювчи ва кенгаювчи найчалар. 6.19-расмда кўрсатилган бундай найчаларда қуйидаги муносабат бўлиши мумкин:

$$(h_f)_{\text{тор}} < (h_f)_n < (h_f)_{\text{кен}} \quad (6.70)$$

Шунга мос равишда:

$$v_{\text{тор}} > v_n > v_{\text{кен}} \quad (6.71)$$

$$\varphi_{\text{тор}} > \varphi_n > \varphi_{\text{кен}} \quad (6.72)$$

$$\omega_{\text{тор}} < \omega_n < \omega_{\text{кен}} \quad (6.73)$$

муносабатларни ёзиш мумкин.

Бунда « $_{\text{суп}}$ », « $_{\text{кзм}}$ », « $_{\text{н}}$ » индекслар тораювчи, кенгаювчи, цилиндр-симон найчаларнинг параметрларини билдиради. Кузатишлар натижасига кура

$$Q_{\text{суп}} < Q_{\text{н}} < Q_{\text{кзм}} \quad (6.74)$$

В. СУЮҚЛИКНИНГ ТИРҚИШ ВА НАЙДАН ЎЗГАРУВЧАН НАПОР ОСТИДА ЧИҚИШИ

6.10. ОҚИМЧАНИНГ АТМОСФЕРАГА ЁКИ СУЮҚЛИКНИНГ ДОИМИЙ САТҲГА ОҚИБ ЧИҚИШИ

6.20-расмдаги суюқлик билан тўлдирилган идишни куриб чиқамиз. Бунда қуйидаги белгилашларни киритамиз:

Ω — идишнинг горизонтал кесими юзаси:

$$\Omega = f_1(H), \quad (6.75)$$

бунда Q — идишдан чиқаётган суюқлик сарфи:

$$Q = \mu_0 \omega \sqrt{2gH} = f_2(H). \quad (6.76)$$

$Q_{\text{н}}$ — идишга кираётган оқим сарфи вақт давомида ўзгаради деб қабул қиламиз.

$$Q_{\text{н}} = f(t), \quad (6.77)$$

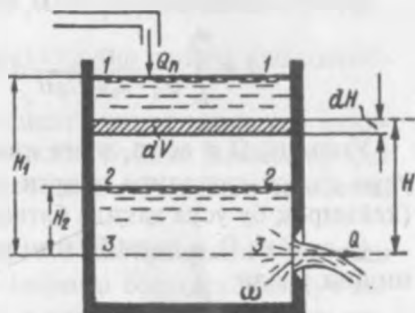
$Q_{\text{н}} = \text{const}$ бўлган хусусий ҳол билан танишамиз. Агар $Q_{\text{н}} > Q$ бўлса, идиш тўла бошлайди ва суюқлик сатҳи токи $Q_{\text{н}} = Q$ шарт бажарилгунга қадар кўтарилади. Аксинча, $Q_{\text{н}} < Q$ бўлса, сатҳ тушиб, $Q_{\text{н}} = Q$ ҳолат бўлгунча пасаяди. Биз, $Q_{\text{н}} < Q$ ҳолатни куриб, шундай t вақтни танлаймизки, бу вақт оралиғида суюқлик сатҳи 1—1 кесим вазиятидан 2—2 кесим вазиятигача тушади. Бу масалани ҳал қилишда қуйидагича фикр юритамиз. Қисқа (оний) dt вақтда идишдан қуйидаги ҳажмдаги суюқлик оқиб чиқади:

$$Q dt = \mu_0 \omega \sqrt{2gH} dt. \quad (6.78)$$

Худди шу dt вақтда идишга қуйидаги ҳажмда суюқлик тушади:

$$Q_{\text{н}} dt. \quad (6.79)$$

Идишдаги ҳажмнинг ўзгаришини қуйидагича ифодалаш мумкин:



6.20-расм. Суюқликнинг ўзгарувчан напор остида оқиб чиқиши

$$dV = Q_{II} dt - \mu_0 \omega \sqrt{2gH} dt \quad (6.80)$$

ёки

$$dV = \Omega dH. \quad (6.81)$$

(6.80) ва (6.81) ифодаларнинг ўнг томонларини ўзаро тенглаб, қуйидаги дифференциал тенгламани ёзамиз:

$$Q_{II} dt - \mu_0 \omega \sqrt{2gH} dt = \Omega dH, \quad (6.82)$$

бундан

$$dt = \frac{\Omega}{Q_{II} - \mu_0 \omega \sqrt{2gH}} dH. \quad (6.83)$$

(6.83) тенгламани H_1 ва H_2 бўйича интегралласак,

$$t = \int_{H_1}^{H_2} \frac{\Omega}{Q_{II} - \mu_0 \omega \sqrt{2gH}} dH = \int_{H_2}^{H_1} \frac{\Omega}{\mu_0 \omega \sqrt{2gH} - Q_{II}} dH. \quad (6.84)$$

Умуман, $\Omega \neq \text{const}$, яъни идиш ноцилиндрик бўлган умумий ҳол учун t вақт катталиги охириги фарқ усулида ҳисобланиши мумкин (кейинроқ бу усул ҳақида батафсил тўхталамиз).

$Q_{II} = Q$ ва $\Omega = \text{const}$ бўлган ҳол учун (6.84) ифода қуйидаги куришни олиди:

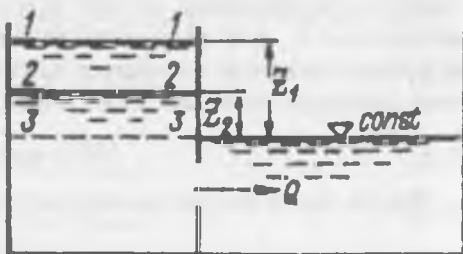
$$t = \frac{\Omega}{\mu_0 \omega \sqrt{2g}} \int_{H_2}^{H_1} \frac{dH}{\sqrt{H}} = 2 \frac{\Omega}{\mu_0 \omega \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (6.85)$$

Бу хусусий ҳол ($Q_{II} = 0$ ва $\Omega = \text{const}$) учун идишнинг 3—3 сатҳига-ча бўшаши қуйидагича аниқланади:

$$t_0 = \frac{2\Omega\sqrt{H_1}}{\mu_0 \omega \sqrt{2g}} = \frac{2\Omega H_1}{\mu_0 \omega \sqrt{2gH_1}} = 2 \frac{\Omega H_1}{Q_1} = 2t', \quad (6.86)$$

бунда Q_1 — суюқликнинг сатҳи H_1 бўлгандаги сарф; t' — доимо Q_1 сарф чиқиб тургандаги ҳолатда идишнинг тўлиқ бўшаши учун кетадиган вақт (ҳақиқатда эса Q сарф Q_1 дан 0 гача ўзгаради).

Оқимча ўзгармас сатҳли суюқликка оқиб чиққанда (6.21-расм) худди юқоридагидек ҳисоблаш ифодалари олинади. Фақат H ўрнида сатҳлар фарқи Z мавжуд бўлади.



6.21-расм. Оқимчанинг ўзгармас сатҳли суюқликка оқиб чиқиши

6.11. ИДИШДАГИ ДОИМИЙ НАПОР ТАЪСИРИДА СУЮҚЛИК САТҲИНИНГ ЎЗГАРУВЧАН СУЮҚЛИК САТҲИГА ОҚИБ ЧИҚИШИ

Агар идишнинг бўшабини эмас, балки тулиш жараёнини кўриб чиқиб, юқоридаги каби фикр юритсак, қуйидаги ҳисоблаш ифодасини оламиз:

$$t = \frac{2\Omega}{\mu_{\text{с}} m \sqrt{2g}} (\sqrt{Z_1} - \sqrt{Z_2}), \quad (6.87)$$

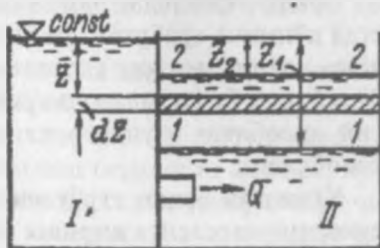
бунда Ω — тўлдириладиган идишнинг горизонтал кесим юзаси бўлиб ($\Omega = \text{const}$); Z_1 ва Z_2 6.22-расмда кўрсатилган геометрик катталиклар.

Бундан ташқари қуйидагиларни таъкидлаш лозим деб ҳисоблаймиз.

1. Оқимча бир идишдан иккинчи идишга чиқаётганда ҳар иккаласида ҳам сатҳ ўзгарувчан бўлиши мумкин. Бундай масалалар ҳам юқоридагидек ҳисобланади, лекин ҳисоблаш ифодалари нисбатан мураккаб бўлади.

2. Юқоридаги масалаларга амалиётда сув омборларини тўлдириш ва бўшатишда ҳамда сув йўллари шлюзларини бошқаришда дуч келишимиз мумкин. Сув омборларида $\Omega \neq \text{const}$ бўлганлиги учун масала анча мураккабланади.

3. Турли сув ҳажмларини йиғадиган ва тарқатадиган гидротехник иншоотларда, асосан, беқарор ҳаракат мавжуд бўлади. Лекин биз, юқоридаги ҳисоблаш ифодаларини келтириб чиқаришда оддий Бернулли тенгламасидан фойдаландик. Бундай чегараланиш купгина ҳолларда мумкин, чунки ҳаракат секин ўзгарувчан бўлади. Лекин айрим амалий ҳисобларда, нотекис ҳаракатнинг пайдо бўлишида асосий роль ўйновчи локал инерция кучларини ҳисобга олишга тўғри келади.



6.22-расм. Суюқликнинг ўзгарувчан сатҳга оқиб чиқиши

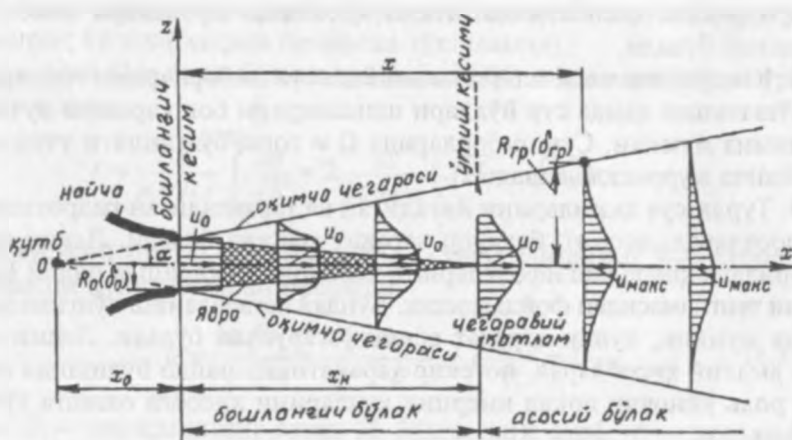
6.12. ЭРКИН ОҚИМЧАЛАР ҲАҚИДА УМУМИЙ МАЪЛУМОТЛАР

Суюқликнинг қаттиқ деворлар билан чегараланмаган оқими эркин оқимчалар деб аталади. Эркин оқимчалар кўмилган ва кўмилмаган бўлади. Кўмилган эркин оқимчалар деб, суюқлик билан ўралган ёки унинг ичида ҳаракатланаётган оқимчага айтилади. Кўмилган эркин оқимчалар сифатида сув омборларида лойқа ётқиқиқларни ювишда ишлатиладиган оқимчаларни кўрсатиш мумкин. Кўмилмаган эркин оқимчалар деб, ҳаво билан чегараланган ҳолда ҳаракатланаёт-

ган оқимчаларга айтилади. Масалан, фаввора оқимчалари, ёмғир қурилмалари оқимчалари, гидромониторлар ва ҳоказо.

Эркин оқимчалар ламинар ва турбулент бўлиши мумкин. Амалиётда кўпинча турбулент оқимчаларни учратишимиз мумкин. Турбулент оқимчаларнинг ҳаракати етарли даражада назарий ўрганилган бўлиб, биз бу қисмда кўп тўхталмасдан умумий маълумотлар ва асосий ҳисоблаш учун керакли ифодаларни келтиришни етарли деб ҳисобладик.

Кўмилган эркин турбулент оқимча. Оқимча уни ўраб турадиган суюқлик массасига кириши билан кенгая бошлайди ва маълум масофада ёйилиб кетади (6.23-расм). Бундай оқимча билан таниша бориб, авваламбор, унинг суюқлик билан ўралиб турган чегарасига аниқлик киритишимиз керак. Бу чегарадаги жараёнларни ўрганишимизда 4.7 ва 4.14-мавзуларда танишилган жараёнларни ҳисобга олишимиз керак. Чегара текислигига нисбатан кўндаланг тезликлар мавжудлиги сабабли оқимча ва суюқлик орасида массалар алмашинуви амалга ошиб туради.



6.23-расм. Кўмилган эркин турбулент оқимча

Энди, кўмилган эркин оқимча структурасини тасвирлашга ҳаракат қиламиз. Оқимча ҳаракатининг бошланиши найчанинг чиқиш қисмидаги ҳаракатга ўхшайди. Бу оқимчанинг бошланғич кесими дейилади. Бу кесимдан ўтиш кесими деб аталувчи кесимларгача оқимчанинг доимий тезлик ядроси деб аталувчи қисми бўлади. Бу ядронинг деярли ҳамма нуқтасида тезлик бир хил u_0 бўлади. Тажрибалар шуни кўрсатадики, ядронинг ён томонлари расмдагидек тўғри чизик билан чегараланиб туради. Бу тўғри чизиклардан кейин оқимча тезлигида ўзгариш рўй беради.

Ётиш участкасидан кейин тезлик кескин камайиб, суюқликка аралаша бошлайди. Бошланғич кесимдан ўтиш кесимгача бўлган участка бошланғич участка деб аталади. Кейин асосий участка деб аталувчи участка бошланади.

Кузатишлар натижасида олинган ўртача тезликлар тарқалишини курсатувчи эпюралар 6.22-расмда келтирилган.

Ўрганилаётган оқимчаларнинг қуйидаги асосий катталикларини таъкидлаш мумкин: x_0 — оқимчага йўналиш берадиган масофа; x_n — бошланғич участка узунлиги; δ_{cp} — оқимча ядросини чегараловчи чи-зиқни қияланиш бурчагининг ярми; R — берилган x масофадаги радиус ёки δ_{cp} — ярим баландлик, $R_p = \delta_{cp}$; u_{max} — ҳаракат ўқи бўйича асосий участкадаги тезлик.

Бу катталикларни думалоқ ва ясси оқимчалар учун Г. Н. Абрамович ифодаларига асосан аниқлаш мумкин.

R_0 — найча радиуси; δ_0 — тўғри тўртбурчак тирқиши баландлигининг ярми; u_0 — тирқишдан оқимчанинг чиқиши; a — структура коэффиценти дейилиб, тажриба йўли билан аниқланади.

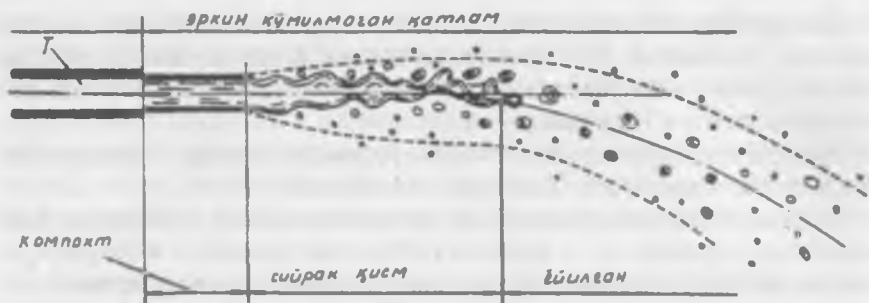
6.1-жадвал

Эркин оқимча параметрларини аниқлашга доир ифодалар

№	Эркин оқимча параметрлари	Доирасимон оқимча	Ясси оқимча
1.	Йўналтирувчи масофа	$x_0 = \frac{0,29}{a} R_0$	$x_0 = \frac{0,41}{a} \delta_0$
2.	Бошланғич участка узунлиги	$x_0 = \frac{0,67}{a} R_0$	$x_0 = \frac{1,03}{a} \delta_0$
3.	Оқимчани кенгайиш бурчаги ярмининг тангенси	$\operatorname{tg} \alpha = 3,4a$	$\operatorname{tg} \alpha = 2,4a$
4.	Бошланғич кесимдан ихтиёрий x масофагача бўлган оқимча баландлигининг ярми	$R_{cp} = \left(3,4 \frac{ax}{R_0} + 1 \right) R_0$	$\delta_{cp} = \left(2,4 \frac{ax}{\delta_0} + 1 \right) \delta_0$
5.	Оқимчанинг ўқ бўйича участкасидаги тезлиги	$u_{max} = \frac{0,96}{\frac{ax}{R_0} + 0,29} u_0$	$u_{max} = \frac{1,2}{\sqrt{\frac{ax}{\delta_0} + 0,41}} u_0$
6.	Структура коэффицентлари	$a = 0,08$	$a = 0,09 + 0,12$

Кумилмаган эркин турбулент оқимчалар. Бунда, биз, ҳавога отилиб чиқаётган кесими думалоқ шаклдаги оқимча билан танишамиз. Тадқиқотлар натижаси шуни кўрсатадики, бу оқимчани уч: компакт, сийрак ва ёйилган қисмга бўлиш мумкин (6.24-расм).

Компакт қисмида оқимчанинг цилиндрсимон шакли ва ҳаракатнинг узлуксизлиги сақланиб қолади. Сийраклашган қисмида оқимчанинг яхлитлиги бузилиб, у кенгая бошлайди. Ёйилган қисмда эса оқимча йўқолиб, томчиларга бўлиниб кетади.



6.24-расм. Қумилмаган эркин оқимча схемаси

Охирги икки қисмда оқимнинг сийраклашиб йўқолишини аэрация ҳодисаси орқали тушунтириш мумкин. Бу суюқликнинг ҳаво билан аралашиб кетиши бўлиб, бунинг натижасида оқимча чегарасида ҳаво ва сув массалари ўзаро алмашиб, бу жараён кучая боради.

Умуман амалиётда бу оқимчаларга турлича талаблар қўйилиб, шунга қараб ўрганилади. Махсус ўқув курсларида бундай оқимчалар чуқур ўрганилади.

Текшириш учун саволлар

1. Қўмилган эркин турбулент оқимчанинг сув сарфи қандай аниқланади?
2. Қўмилган тирқиш орқали ўтаётган суюқлик тезлиги қандай аниқланади?
3. Бордо найчаси деганда нимани тушунаси?
4. Оқимга ички ва ташқи цилиндрсимон найчалар сарф, тезлик ва сиқилиш коэффициентларига қандай таъсир қилади?
5. Вентури найчасидан ўтгандаги сарф коэффициентини нимага тенг булади?
6. Найча шаклларининг турларини айтинг.
7. Вентури найчасининг ишлаш принципини тушунтиринг.

СУВ ОҚИМИНИНГ ОЧИҚ УЗАНЛАРДАГИ БОСИМСИЗ ТЕКИС БАРҚАРОР ҲАРАКАТИ

7.1. ДАСТЛАБКИ ТУШУНЧАЛАР

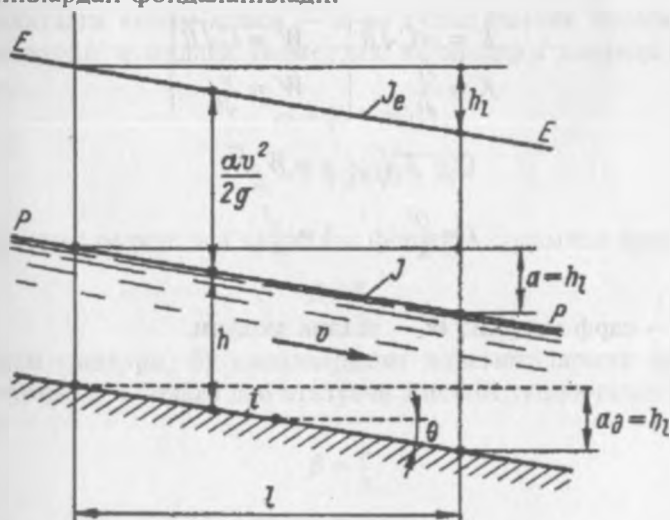
Маълумки, оқимнинг текис барқарор ҳаракатида $h = \text{const}$, $Q = \text{const}$, $v = \text{const}$ шарт бажарилади, яъни узунлик бўйлаб сув оқимининг сарфи, ўртача тезлиги ва чуқурлиги узгармасдан амалга ошадиган ҳаракати *текис барқарор ҳаракат* дейилади.

Ўзланлардаги оқим ҳаракати текис барқарор бўлиши учун қуёнда-
ги шартлар бажарилиши керак:

- а) ўзанининг кундаланг кесими узунлик бўйлаб ўзгармас бўлиши, яъни призматик кўринишда бўлиши;
б) ўзан деворлари ғадир-будурлиги ($n = \text{const}$) ўзгармас бўлиши;
в) маҳаллий напор йўқолиши ўзан узунлиги бўйлаб мавжуд бўлмаслиги;

г) сарф ва чуқурлик ўзгармас бўлиши, яъни ($Q = \text{const}$, $h = \text{const}$).

Амалиётда, асосан, каналларда оқимнинг турбулент ҳаракати мавжуд бўлиб, у текис барқарор ҳаракатдаги квадрат қаршиликлар соҳасида амалга ошганлиги сабабли шу жараён билан танишамиз (7.1-расм). Каналларнинг гидравлик ҳисобларида, асосан, қуйидаги боғлиқликлардан фойдаланилади:



7.1-расм. Сув окимининг каналдаги текис ҳаракати схемаси

$$Q = \omega v = \text{const (оқим бўйлаб)}; \quad (7.1)$$

$$i = \sin \theta, \quad (7.2)$$

бунда Q — оқим сарфи, м³/с;
 ω — ҳаракатдаги кесим юзаси, м²;
 v — оқимнинг ўртача тезлиги, м/с;
 i — канал туби нишаблиги.

$$v = C\sqrt{Ri}, \quad (7.3)$$

бунда C — Шези коэффиценти, м^{0.5}/с;
 R — гидравлик радиус, м.

$$J = i \quad (7.4)$$

бунда J — гидравлик қиялик.

$$i = \frac{v^2}{C^2 R}. \quad (7.5)$$

$$h_l = il = \frac{v^2}{C^2 R} l. \quad (7.6)$$

$$Q = \omega C\sqrt{Ri} \quad (7.7)$$

(7.7) формула текис барқарор ҳаракатни ҳисоблаш формуласи сифатида қабул қилинади.

$$\left. \begin{aligned} K &= \omega C\sqrt{R} \\ K &= \frac{Q}{\sqrt{i}} \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} W &= C\sqrt{R} \\ W &= \frac{v}{\sqrt{i}} \end{aligned} \right\} \quad (7.8)$$

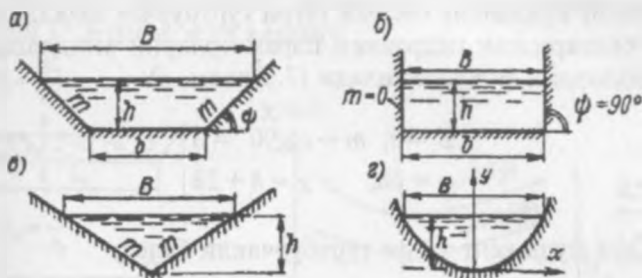
$$Q = K\sqrt{i}; \quad v = W\sqrt{i} \quad (7.9)$$

$$i = \frac{Q^2}{K^2}; \quad i = \frac{v^2}{W^2} \quad (7.10)$$

бунда K — сарф модули; W — тезлик модули.

7.2. КАНАЛДАГИ ОҚИМ КЕСИМИНИНГ АСОСИЙ ГИДРАВЛИК ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Гидротехника амалиётида кўп учрайдиган каналларнинг кўндаланг кесими шакллари 7.2-расмда тасвирланган.



7.2-расм. Каналларнинг кўндаланг кесими шакллари

Симметрик трапециясимон кўндаланг кесим (7.2-расм, а), бунда b — канал тубининг кенглиги; h — каналнинг чуқурлиги; m — каналнинг кўндаланг кесими ён деворининг қиялик коэффиценти:

$$m = \operatorname{ctg} \psi. \quad (7.11)$$

Каналдаги оқим кесимининг сатҳ бўйича кенглиги

$$B = b + 2mh. \quad (7.12)$$

Ҳаракатдаги кесим юзаси — ω ва ҳўлланганлик периметри — χ катталикларни қуйидаги геометрик ифодалар ёрдамида аниқлаш мумкин.

$$\omega = (b + mh)h; \quad (7.13)$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}. \quad (7.14)$$

Гидравлик радиус эса қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \quad (7.15)$$

Бундан ташқари, бу каналларнинг параметрларини аниқлашда канал тубининг кенглиги деб аталувчи нисбий тушунчадан фойдаланилади:

$$\beta = \frac{b}{h}. \quad (7.16)$$

Бу ифодани инобатга олган ҳолда ω ва χ катталиклар қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$\omega = h^2(\beta + m); \quad (7.17)$$

$$\chi = h(\beta + 2\sqrt{1+m^2}). \quad (7.18)$$

Каналнинг кўндаланг кесими тўғри тўртбурчак шаклда бўлганда, юқорида келтирилган гидравлик параметрларни аниқлашда, қуйидаги ифодалардан фойдаланилади (7.2-расм, б):

$$\left. \begin{aligned} B &= b; \quad m = \operatorname{ctg} 90^\circ = 0 \\ \omega &= bh; \quad \chi = b + 2h \end{aligned} \right\} \quad (7.19)$$

Агар узан жуда кенг тўғри тўртбурчакли бўлса,

$$\chi \approx b. \quad (7.20)$$

Каналнинг кўндаланг кесими учбурчак шаклда бўлганда (7.2-расм, в):

$$\left. \begin{aligned} b &= 0; \quad B = 2mh \\ \omega &= mh^2; \quad \chi = 2h\sqrt{1+m^2} \end{aligned} \right\} \quad (7.21)$$

Каналнинг кўндаланг кесими парабола шаклида бўлганда парабола тенгламаси қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$x^2 = 2py, \quad (7.22)$$

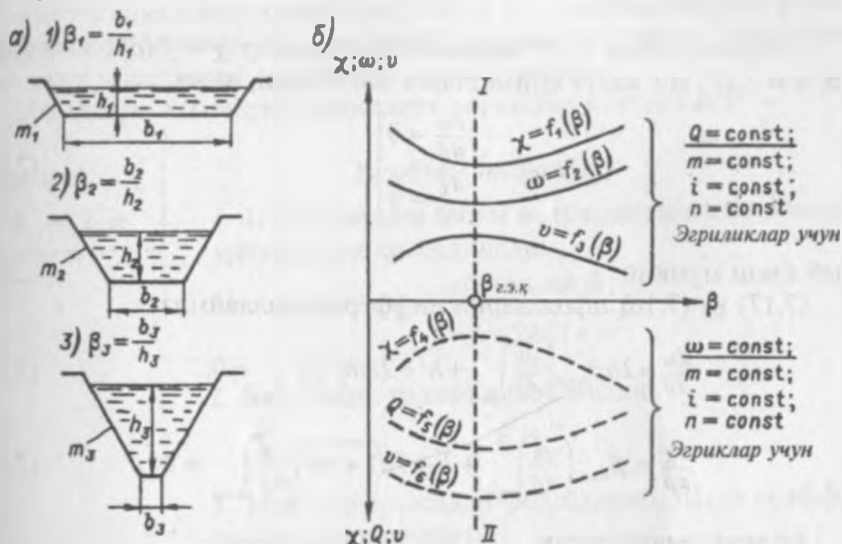
бунда p — парабола периметри; x, y — ўқлар (7.2-расм, г). Оқимнинг сатҳ бўйича кенглиги B қуйидаги формула асосида аниқланиши мумкин:

$$\omega = \frac{2}{3} Bh \quad (7.23)$$

$$\left. \begin{aligned} \chi &\approx B \dots\dots\dots \text{агар} \quad (h : B) \leq 0,15 \\ \chi &\approx B \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{h}{B} \right)^2 \right] \dots\dots\dots \text{агар} \quad (h : B) \leq 0,33 \\ \chi &\approx 1,78h + 0,61B \dots\dots\dots \text{агар} \quad 0,33 < (h : B) < 2,00 \\ \chi &\approx 2h \dots\dots\dots \text{агар} \quad 2,00 \leq (h : B) \end{aligned} \right\} \quad (7.24)$$

7.3. ТРАПЕЦИЯСИМОН КЎНДАЛАНГ КЕСИМЛИ КАНАЛНИНГ ЭНГ ҚУЛАЙ ГИДРАВЛИК ПРОФИЛИ

Фараз қилайлик, каналнинг кўндаланг кесим шакли трапециясимон бўлиб, $m = m_0$, $i = i_0$, $n = n_0$, $Q = Q_0$ катталиклар берилган. Канал кўндаланг кесимининг геометрик ўлчамларини аниқлаш керак бўлсин (7.3-расм, а га қаранг).



7.3-расм. Трапециясимон канал нисбий кенглиги β нинг узгариши натижасида x , ω , v , Q жонли кесим элементларининг узгариши

Бу масала бир неча ечимга эга:

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= m_2 = m_3 = \dots = m_0 = \text{const} \\ i_1 &= i_2 = i_3 = \dots = i_0 = \text{const} \\ n_1 &= n_2 = n_3 = \dots = n_0 = \text{const} \\ Q_1 &= Q_2 = Q_3 = \dots = Q_0 = \text{const} \end{aligned} \right\} \quad (7.25)$$

бунда 1, 2, 3 — ҳар хил вариантдаги каналлар учун индекслар.

Фараз қилайлик, агар каналнинг кўндаланг кесимида ниҳоятда кичик чуқурлик бўлса, керакли сарфни ўтказиш учун у жуда кенг бўлиши, ёки аксинча, кенглиги кичик бўлса, жуда катта чуқурлик мавжуд бўлиши керак.

Бу вариантлар учун

$$v = v_{\text{мин}} \quad (7.26)$$

$$\omega = \omega_{\text{мин}} \quad (7.27)$$

талабга мос келувчи ўлчамлар ($b : h$) мавжуд бўлади.

Демак, берилган m , i , n , Q катталиклар учун энг кичик кўндаланг кесимга ва энг юқори оқим тезлигига эга бўлган кесим мавжуд бўлади. Бундай кесим энг қулай гидравлик кесим дейилади. Энг қулай гидравлик кесимнинг нисбий кенглиги қуйдагича аниқланади.

$$\beta_{\text{э.э.к}} = \left(\frac{b}{h} \right)_{\text{э.э.к}} \quad (7.28)$$

7.3-рasm, б даги I—II вертикал функциялар $\chi = f_1(\beta)$; $\omega = f_2(\beta)$ ва $v = f_3(\beta)$ энг катта қийматларга эга бўлади, яъни

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega}{d\beta} &= 0 \\ \frac{d\chi}{d\beta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7.29)$$

деб ёзиш мумкин.

(7.17) ва (7.18) ифодаларни дифференциаллаймиз:

$$\frac{d\omega}{d\beta} = 2h\beta_{\text{э.э.к}} \left(\frac{dh}{d\beta} \right)_{\text{э.э.к}} + h^2 + 2mh \left(\frac{dh}{d\beta} \right)_{\text{э.э.к}} = 0; \quad (7.30)$$

$$\frac{d\chi}{d\beta} = \beta_{\text{э.э.к}} \left(\frac{dh}{d\beta} \right)_{\text{э.э.к}} + h + 2\sqrt{1+m^2} \left(\frac{dh}{d\beta} \right)_{\text{э.э.к}} = 0 \quad (7.31)$$

Бу тенгламани ечсак,

$$\beta_{\text{э.э.к}} = \left(\frac{b}{h} \right)_{\text{э.э.к}} = 2 \left(\sqrt{1+m^2} - m \right). \quad (7.32)$$

Гидротехника амалиётида канални қуриш таннархини арзонлаштириш учун $\beta = \beta_{\text{э.э.к}}$ шартнинг бажарилиши лойиҳа жараёнида таъминланиши лозим. Лекин, таъкидлаш лозимки, кўпинча энг қулай гидравлик кесимли каналларда аксарият ҳолларда чуқурлик катта қийматга эга бўлади. Бу эса каналлар қуришни ва эксплуатация жараёнини қийинлаштиради. Шу сабабли бу кесимдан 3 + 4 % га фарқ қилувчи энг қулай амалий кесимнинг нисбий кенглиги $\varphi_{\text{э.э.к}}^0$ деган тушунчадан фойдаланилади.

$$\begin{aligned} \beta_{\text{э.э.к}} &\leq \beta_{\text{э.э.к}}^0 \leq (\beta_{\text{э.э.к}})_{\text{огг}} \\ (\beta_{\text{э.э.к}})_{\text{огг}} &= 2,5 + \frac{m}{2} \end{aligned} \quad (7.33)$$

**7.4. КАНАЛЛАРДА СУВ ОҚИМИ ҲАРАКАТ ТЕЗЛИГИНИНГ
ЧЕГАРАВИЙ ҚИЙМАТЛАРИ. ТРАПЕЦИЯСИМОН КЕСИМЛИ
КАНАЛЛАРДА ТЕКИС ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН СУВ ОҚИМИНИ
ҲИСОБЛАШДАГИ АСОСИЙ МАСАЛАЛАР**

Трапециясимон кесимли каналлар асосан қуйидаги олти асосий элементлар билан характерланади. b, h, m — каналнинг кўндаланг кесимини аниқловчи элементлар ва n, i, Q — катталиклар. Бу катталикларнинг бештаси маълум бўлиб, олтинчи номаълум элементни аниқлаш масаланинг моҳиятини ташкил қилади.

Номаълум элементни аниқлашга мисоллар келтирамыз:

Берилган:

h, b, m, i, n

$Q = ?$

Ҳисоблаш тартиби:

1. Ҳаракатдаги кесим ва ҳўлланганлик периметри қийматлари ҳисобланади:

$$\omega = (b + mh)h;$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}.$$

2. Гидравлик радиус ҳисобланади:

$$R = \frac{\omega}{\chi}.$$

3. Ман формуласидан фойдаланиб, Шези коэффи-
циенти аниқланади:

$$c = \frac{1}{h} R^{1/6}.$$

4. Оқимнинг ўртача тезлиги ҳисобланади:

$$v = \sqrt{Ri}.$$

5. Оқим сарфи ҳисобланади:

$$Q = \omega v.$$

Берилган

b, h, m, n, Q

$i = ?$

Ҳисоблаш юқоридаги тартибда бажарилади. Фақат оқимнинг ўртача тезлиги қуйидагича ҳисобланади:

$$v = \frac{Q}{\omega}.$$

Кейин канал тубининг қиялиги ҳисобланади:

$$i = \frac{v^2}{C^2 R}$$

Берилган:
 m, b, n, i, Q

Ҳисоблаш бир неча усулда олиб борилади

h — ?

Танлаб олиш усули:

7.1-жадвал

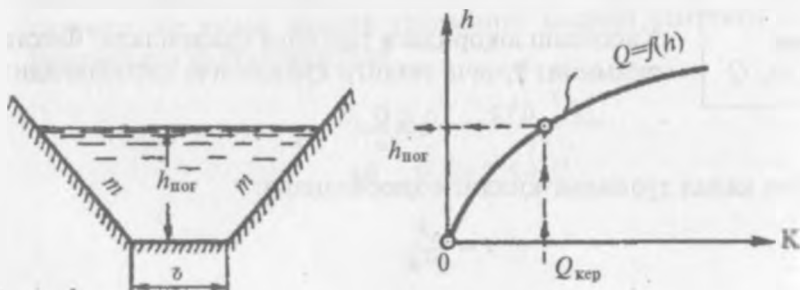
№	Ҳисоблаш формулалари	Улов бирликлари	Берилган катталиклар				Изоҳ
1	h	m	h_1	h_2	h_3	...	
2	mh	m	...	...	...	...	$m = \dots$
3	$b + mh$	m	...	...	...	...	$b = \dots$
4	$\omega = (b + mh)h$	m^2	...	...	...	...	
5	$h(2\sqrt{1+m^2})$	m	...	...	...	...	$2\sqrt{1+m^2} = \dots$
6	$\chi = b + h(2\sqrt{1+m^2})$	m	...	...	...	...	
7	$R = \omega : \chi$	m	...	...	...	...	
8	$C = \frac{1}{h} R^{1/3}$	$m^{0.5} / c$	...	...	...	...	— Маннинг формуласи
9	$Q = v C \sqrt{R i}$	m^3 / c	...	...	...	...	

1. Чуқурликка ихтиёрий қиймат берилиб, юқоридаги жадвалда келтирилган тартибда ҳисоблаш бажарилиб, шу қийматга мос келувчи сарф топилади.

2. Чуқурликка камида 3 та қиймат берилиб, ҳисоблаш $Q_1 < Q < Q_2$, ёки $Q_1 > Q > Q_2$ шарт бажарилгунча бажарилади.

3. Юқоридаги ҳисоблашларга асосан $Q = f(h)$ графигини чизиб, бу графикдан берилган сарфга мос келувчи чуқурлик қиймати танланади (7.4-расм).

Умуман, каналларни лойиҳалаштириш бўйича гидравлик ҳисоблар бажаришда Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механи-



7.4-расм. $Q=f(h)$ графиги

зациялаш инженерлари институтининг «Гидравлика» кафедраси олимлари томонидан кенг миқёсдаги илмий-амалий ишлар олиб борилаётганлигини таъкидлаш жоиздир.

Гидравлика фанининг ривожланишида ўз ҳиссасини қўшган етук олим И. И. Агроскин томонидан каналларнинг қўндаланг кесими профили билан уларнинг шу шаклдаги энг қулай кесимини таққослаш орқали гидравлик ҳисобни бажаришнинг қулай усули таклиф қилинган. Гидравлика ўқув қўлланмаларида келтирилган. Бу олимнинг шогирди, Ўзбекистонда хизмат кўрсатган ирригатор Р. М. Каримов томонидан бу усул умумлаштирилиб, таққослаш учун тўлиқ абсолют энг қулай (ярим айлана) кесим эталон сифатида қабул қилинган. Бу усулнинг яна бир қулай томони шундан иборатки, унда асосий ҳисоблаш формулалари ўлчов бирликларисиз кўринишда келтирилади. Қуйида биз бу усул билан батафсил танишамиз.

КАНАЛЛАРНИ ЛОЙИХАЛАШТИРИШНИНГ ГИДРАВЛИК ҲИСОБИНИ БАЖАРИШДА ҚўЛЛАНИЛАДИГАН Р. М. КАРИМОВ УСУЛИ

7.5. АСОСИЙ ҲИСОБЛАШ ФОРМУЛАЛАРИ

Юқоридаги мулоҳазаларга асосланиб, текис барқарор ҳаракатни ҳисоблаш формуласи:

$$Q = \omega c \sqrt{Ri}. \quad (7.34)$$

Энди бу формулага ҳўлланганлик периметрининг ўлчов бирлигисиз катталигини киритамиз:

$$\bar{\chi} = \frac{\chi}{R} = \frac{\omega}{R^2} = \frac{\chi^2}{\omega} \quad (7.35)$$

7.34 ифодада $\bar{\chi}$ ўлчов бирликсиз катталикини киритиб, қуйидагига эга бўлиш мумкин:

$$Q = \bar{\chi} c R^{2.5} \sqrt{i}. \quad (7.36)$$

Бу формулага тезлик даражаси учун академик Павловский ёки Маннинг формулаларини қабул қилиб ҳамда $\omega = \frac{Q}{v}$ муносабатларни инобатга олиб, гидравлик радиус — R , ҳўлланганлик периметри — χ , ҳаракатдаги кесим юзаси — ω ва ўртача тезлик — v лар учун қуйидаги ифодаларни ёзиш мумкин:

$$R = \left(\frac{Qn}{\bar{\chi} \sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{2.5+y}}, \quad (7.37)$$

$y = \frac{1}{6}$ бўлган ҳолда

$$R = \sqrt[8]{\left(\frac{Qn}{\bar{\chi}\sqrt{f_i}}\right)^3}; \quad (7.37')$$

$$\chi = \left(\bar{\chi}^{1,5+y} \frac{Qn}{\sqrt{f_i}}\right)^{\frac{1}{2,5+y}}, \quad (7.38)$$

$y = \frac{1}{6}$ бўлган ҳолда

$$\chi = \sqrt[8]{\bar{\chi}^5 \left(\frac{Qn}{\sqrt{f_i}}\right)^3}; \quad (7.38')$$

$$\omega = \left[\bar{\chi}^{0,5+y} \left(\frac{Qn}{\sqrt{f_i}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2,5+y}}, \quad (7.39)$$

$y = \frac{1}{6}$ бўлган ҳолда

$$\omega = \sqrt[4]{\bar{\chi} \left(\frac{Qn}{\sqrt{f_i}}\right)^3}; \quad (7.39')$$

$$v = \frac{\sqrt{f_i}}{n} \left(\frac{Qn}{\bar{\chi}\sqrt{f_i}}\right)^{\frac{0,5+y}{2,5+y}}, \quad (7.40)$$

$y = \frac{1}{6}$ бўлган ҳолда

$$v = \sqrt[4]{\frac{Q\sqrt{f_i^3}}{n^3\bar{\chi}}}. \quad (7.40')$$

Ҳаракатдаги кесим юзасини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\omega_l = \omega_{l=1} l^2, \quad (7.41)$$

бунда l — ҳаракатдаги кесимнинг ихтиёрий чизикли катталиги (чуқурлик, кенглик, ҳўланганлик периметри ва ҳ.к.); $\omega_{l=1}$ — $l = 1, 0$ бўлган ҳол учун ҳаракатдаги кесим юзаси.

(7.39) формулага асосан ихтиёрий шаклдаги ҳаракатланувчи кесимнинг чизикли катталигини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$l = \frac{1}{\sqrt{\omega_{l=1}}} \left(\bar{\chi}^{\frac{0,5+y}{2}} \frac{Qn}{\sqrt{f_i}}\right)^{\frac{1}{2,5+y}} \quad (7.42)$$

ёки $y = \frac{1}{6}$ бўлган ҳолда

$$l = \sqrt[4]{\frac{\bar{\chi}}{\omega_l} \left(\frac{Qn}{\sqrt{f_i}}\right)^3} \quad (7.42')$$

Гидравлик радиуси $R = r/2$ ва ҳўлланганлик периметри $\bar{\lambda} = 2\pi$ бўлган гидравлик энг қулай кесим (ярим айлана шакл) учун (7.36) формула қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Q = 2\pi (cR^{2.5})_0 \sqrt{i}, \quad (7.43)$$

бундан

$$(cR^{2.5})_0 = \frac{Q_0}{2\pi\sqrt{i}} \frac{K_0}{2\pi}.$$

Шези коэффиценти учун Маннинг формуласини қабул қилсак,

$$R_0 = \left(\frac{Qn}{2\pi\sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{2.5+y}}; \quad (7.44)$$

$$\omega_0 = \left[(2\pi)^{0.5+y} \left(\frac{Qn}{\sqrt{i}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2.5+y}} = 2\pi R_0^2; \quad (7.45)$$

$$\chi_0 = \left[(2\pi)^{1.5+y} \frac{Qn}{\sqrt{i}} \right]^{\frac{1}{2.5+y}} = 2\pi R_0; \quad (7.46)$$

$$v_0 = \frac{\sqrt{i}}{n} \left(\frac{Qn}{2\pi\sqrt{i}} \right)^{\frac{0.5+y}{2.5+y}} = \frac{\sqrt{i}}{n} R_0^{0.5+y}; \quad (7.47)$$

$$l_0 = \frac{1}{\sqrt{\omega_{b=1}}} \left[(2\pi)^{\frac{0.5+y}{2}} \frac{Qn}{\sqrt{i}} \right]^{\frac{1}{2.5+y}} = \sqrt{\frac{2\pi}{\omega_{b=1}}} R_0, \quad (7.48)$$

$y = \frac{1}{6}$ ҳолат учун

$$R_0 = 0,58 \sqrt[3]{\left(\frac{Qn}{\sqrt{i}} \right)^3}; \quad (7.44')$$

$$\omega_0 = 1,58 \sqrt[3]{\left(\frac{Qn}{\sqrt{i}} \right)^3} = 2\pi R_0^2; \quad (7.45')$$

$$\chi_0 = 3,16 \sqrt[3]{\left(\frac{Qn}{\sqrt{i}} \right)^3} = 2\pi R_0; \quad (7.46')$$

$$v_0 = 0,63 \frac{\sqrt{i}}{n} \sqrt[3]{\frac{Qn}{\sqrt{i}}} = \frac{\sqrt{i}}{n} R_0^{2/3}; \quad (7.47')$$

$$l_0 = \sqrt[3]{\frac{2\pi}{\omega_{b=1}} \left(\frac{Qn}{\sqrt{i}} \right)^3} = \frac{2}{\sqrt{\omega_{b=1}}} R_0, \quad (7.48')$$

бунда

$$\omega_{h_0} = \frac{\omega_0}{h_0^2}; \quad (7.49)$$

$$\omega_{h_0=1} = \frac{\pi}{8}; \quad (7.49')$$

$$\omega_{h_0=1} = \frac{\pi}{2}. \quad (7.49'')$$

(7.44) формула гидравлик радиусни ҳеч қандай махсус жадвал ва графикларсиз аниқ ҳисоблаш имкониятини беради. Бунда ўзгарувчан кўрсаткични тўғри танлаш муаммоси пайдо бўлади. (7.44) формуладаги илдиз кўрсаткичи 2,5 дан катта бўлган ҳолларда бу формуладаги u кўрсаткични ўзгармас деб қабул қилинади.

Бу фикримизнинг исботи учун ε нисбий хатоликни кўриб чиқамиз. R_0 катталикини ҳисоблашда (7.44) формулага асосан

$$y = y_{исм} \pm \Delta y,$$

бинобарин

$$R_0 = \left(\frac{Qn}{2\pi\sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{2,5+y}}.$$

Мутлақ хатолик:

$$\Delta R_0 = - \left(\frac{Qn}{2\pi\sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{2,5+y}} \ln \frac{Qn}{\sqrt{i}} \frac{\Delta y}{(2,5+y)^2};$$

нисбий хатолик:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_0}{R_0} = - \frac{\Delta y}{(2,5+y)^2} \ln \frac{Qn}{\sqrt{i}} = - \frac{2,3\Delta y}{(2,5+y)^2} \lg \frac{Qn}{\sqrt{i}}. \quad (7.50)$$

$y = \frac{1}{6}$ ва $y = \frac{1}{5}$ ўзгармас кўрсаткич катталикларини қабул қиламиз. Амалиётда бу катталиклар ўзгариши $\Delta y = \pm 0,05$ эканлиги аниқланган.

Бунда (7.50) формула асосида:

$y = \frac{1}{6}$ ҳолат учун

$$|\varepsilon| = 0,0162 \left(\lg Q + \lg \frac{n}{\sqrt{i}} \right);$$

$y = \frac{1}{5}$ ҳолат учун

$$|\varepsilon| = 0,0158 \left(\lg Q + \lg \frac{n}{\sqrt{i}} \right).$$

Энди $|\varepsilon|$ катталикини ноқулай вазиятлар учун, яъни $n = 0,0275$ ва $i = 0,0002$ ҳолатлар учун аниқлаймиз

$y = \frac{1}{6}$ бўлганда

$$|\varepsilon_{\max}| = 0,0162(\lg Q + 0,301);$$

$y = \frac{1}{5}$ бўлганда

$$|\varepsilon_{\max}| = 0,0158(\lg Q + 0,301).$$

Бу ифодалардаги хатоликларнинг чегаравий қийматлари 7.2-жадвалда келтирилган.

7.2-жадвал

$Q,$ m^2/cck	0,25	1	5	10	25	50	100
$y = 1/6$ $ \varepsilon_{\max} $	0,00486	0,00486	0,0162	0,021	0,0274	0,0324	0,0372
$y = 1/5$ $ \varepsilon_{\max} $	0,00475	0,00475	0,0158	0,0206	0,0268	0,0316	0,0363

R_0 , χ_0 ва ω_0 катталиклар ушбу жадвал ва графиклар ёрдамида аниқланиши мумкин. Намуна тариқасида 7.5-расм ва 7.3-жадвални келтираимиз.

7.5-расм — R_0 , χ_0 ва ω_0 катталикларни $K = \frac{Q}{J}$ функцияси сифатида $y = \frac{1}{6}$ ҳолат учун аниқлаш имкониятини беради.

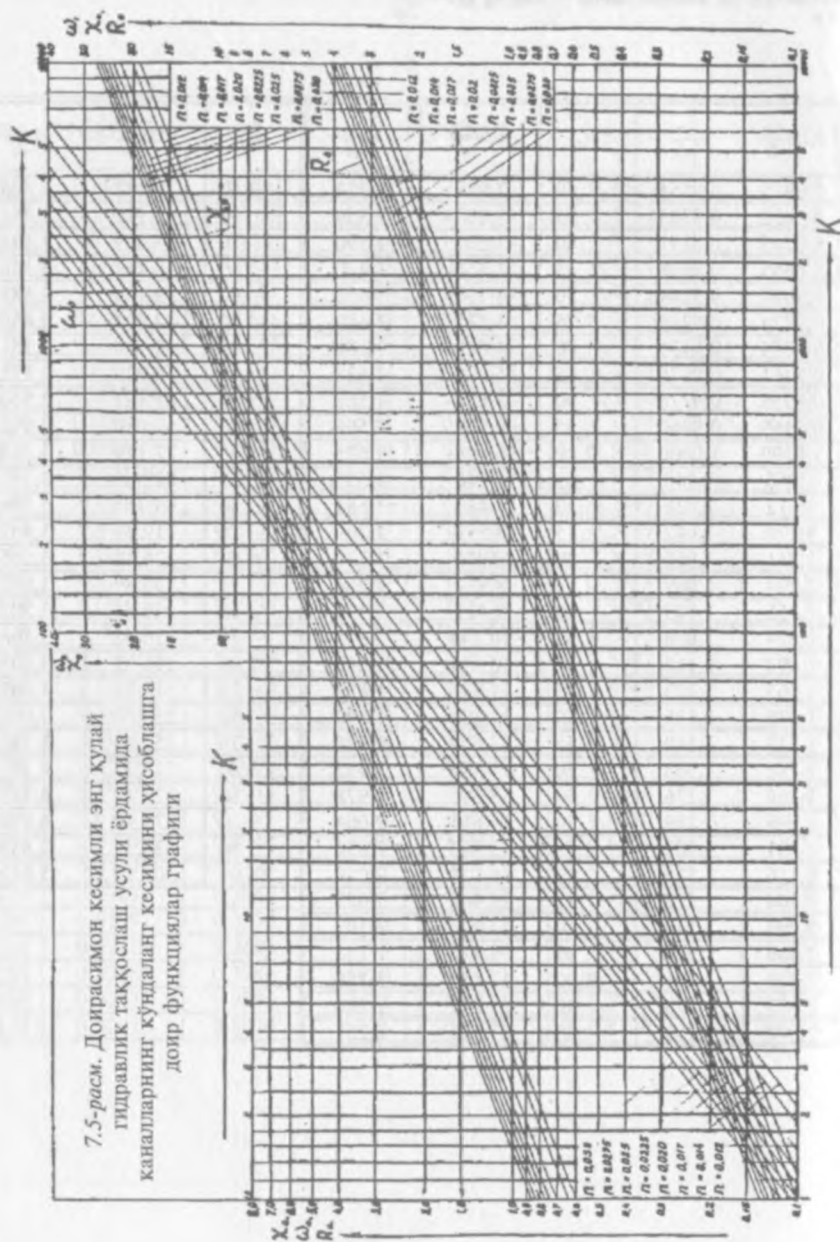
7.3-жадвал эса $y = 0,2$ ва (Q , i ва n) катталикларнинг маълум қийматлари учун v_0 ва R_0 катталикларнинг масштаб қийматларини аниқлаш имкониятини беради.

$0,159 = \frac{0,159}{\sqrt{j}}$ функциядаги R_0 ва $n_0 \frac{n}{\sqrt{j}}$

R_0	$0,159 \frac{0,159}{\sqrt{j}}$	$\frac{n}{\sqrt{j}}$	R_0	$0,159 \frac{0,159}{\sqrt{j}}$	$\frac{n}{\sqrt{j}}$	R_0
0,025	0,000047	0,07561	0,30	0,03875	0,4305	0,80
30	0,000077	0,08590	31	0,04233	0,4405	82
35	0,000117	0,09569	32	0,04612	0,4504	84
40	0,000168	0,1053	33	0,05012	0,4602	86
45	0,000232	0,1141	34	0,05432	0,4699	88
0,050	0,000307	0,1228	0,35	0,05875	0,4796	0,90
55	0,000397	0,1313	36	0,06339	0,4891	92
60	0,000502	0,1395	37	0,06826	0,4986	94
65	0,000624	0,1476	38	0,07335	0,5080	96
70	0,000762	0,1554	39	0,07868	0,5173	98
0,075	0,000918	0,1631	0,40	0,08425	0,5266	1,00
80	0,00109	0,1707	41	0,09006	0,5357	02
85	0,00129	0,1781	42	0,09611	0,5449	04
90	0,00150	0,1853	43	0,1024	0,5539	06
95	0,00174	0,1925	44	0,1085	0,5629	08
0,100	0,00200	0,1995	0,45	0,1158	0,5718	1,10
110	0,00258	0,2133	46	0,1229	0,5807	12
120	0,00326	0,2257	47	0,1302	0,5895	14
130	0,00405	0,2398	48	0,1378	0,5982	16
140	0,00495	0,2525	49	0,1457	0,6069	18
0,150	0,00596	0,2650	0,50	0,1539	0,6156	1,20
160	0,00710	0,2773	52	0,1711	0,6327	22
170	0,00836	0,2893	54	0,1894	0,6497	24
180	0,00976	0,3011	56	0,2090	0,6664	26
190	0,01129	0,3127	58	0,2298	0,6830	28
0,200	0,01297	0,3241	0,60	0,2518	0,6994	1,30
210	0,01479	0,3354	62	0,2751	0,7156	32
220	0,01677	0,3465	64	0,2997	0,7317	34
230	0,01891	0,3575	66	0,3257	0,7476	36
240	0,02121	0,3683	68	0,3530	0,7634	38
0,250	0,02368	0,3789	0,70	0,3817	0,7791	1,40
260	0,02633	0,3895	72	0,4119	0,7946	42
270	0,02915	0,3999	74	0,4435	0,8100	44

катталиклар қийматлари, бунда $0,159 = \frac{1}{2\pi}$

$0,159 \frac{Q_n}{\sqrt{I}}$	$v_0 \frac{n}{\sqrt{I}}$	R_0	$0,159 \frac{Q_n}{\sqrt{I}}$	$v_0 \frac{n}{\sqrt{I}}$	R_0	$0,159 \frac{Q_n}{\sqrt{I}}$	$v_0 \frac{n}{\sqrt{I}}$
0,5475	0,8554	1,50	2,988	1,328	3,50	29,443	2,404
0,5852	0,8703	55	3,265	1,359	60	31,770	2,451
0,6245	0,8851	60	3,557	1,390	70	34,209	2,499
0,6655	0,8998	65	3,866	1,420	80	36,763	2,546
0,7081	0,9144	70	4,190	1,450	90	39,434	2,583
0,7724	0,9289	1,75	4,531	1,480	4,00	42,224	2,439
0,7984	0,9433	80	4,889	1,509	20	48,170	2,731
0,8461	0,9676	85	5,265	1,638	40	54,616	2,821
0,8956	0,9718	90	5,658	1,567	60	61,581	2,910
0,9469	0,9860	95	6,069	1,596	80	69,080	2,998
1,0000	1,0000	2,00	6,498	1,625	5,00	77,129	3,085
1,055	1,040	05	6,946	1,653	25	87,989	3,192
1,112	1,028	10	7,412	1,681	50	99,755	3,298
1,170	1,042	15	7,899	1,709	75	112,49	3,402
1,231	1,055	20	8,405	1,737	6,00	126,18	3,505
1,294	1,069	2,25	8,931	1,764	25	140,89	3,607
1,358	1,083	30	9,477	1,792	50	156,63	3,707
1,424	1,096	35	10,144	1,819	75	173,42	3,806
1,493	1,110	40	10,631	1,846	7,00	191,32	3,905
1,563	1,123	45	11,240	1,873	25	210,34	4,002
1,636	1,136	2,50	11,870	1,899	50	230,50	4,098
1,711	1,149	55	12,522	1,926	75	251,83	4,193
1,788	1,163	60	13,196	1,952	8,00	274,37	4,287
1,866	1,176	65	13,892	1,978	50	323,17	4,473
1,948	1,189	70	14,611	2,004	9,00	377,10	4,656
2,031	1,202	2,75	15,353	2,030	50	436,37	4,835
2,116	1,215	80	16,119	2,056	10,00	501,19	5,012
2,204	1,227	85	16,908	2,082			
2,294	1,240	90	17,721	2,107			
2,386	1,253	95	18,558	2,132			
2,481	1,266	3,00	19,419	2,158			
2,577	1,278	10	21,217	2,208			
2,677	1,291	20	23,116	2,257			



7.6. СОЛИШТИРМА ҲЎЛЛАНГАНЛИК ПЕРИМЕТРИНИНГ ФУНКЦИЯСИ СИФАТИДА ОҚИМ ГИДРАВЛИК ЭЛЕМЕНТЛАРИНИНГ НИСБИЙ ЎЗГАРИШИ

Берилган Q , n , i , ва y катталикларни оқимнинг берилган ўзан кесими ва гидравлик энг қулай кесим — ярим айлана кўринишидаги катталиклари билан таққослаб, $(7.37 \div 7.40)$ ва $(7.44 \div 7.47)$ нисбий элементлар учун қуйидаги ўлчов бирликларисиз формулаларни ола-
миз:

$$y = \frac{1}{6} \text{ ҳолат учун} \quad \frac{R}{R_0} = \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{1}{2.5+y}}; \quad (7.51)$$

$$\frac{R}{R_0} = \frac{2}{\sqrt[3]{\bar{\chi}}}; \quad (7.51')$$

$$y = \frac{1}{6} \text{ ҳолат учун} \quad \frac{\omega}{\omega_0} = \left(\frac{\bar{\chi}}{2\pi} \right)^{\frac{0.5+y}{2.5+y}}; \quad (7.52)$$

$$\frac{\omega}{\omega_0} = 0,6324\sqrt[4]{\bar{\chi}}; \quad (7.52')$$

$$y = \frac{1}{6} \text{ ҳолат учун} \quad \frac{\chi}{\chi_0} = \left(\frac{\bar{\chi}}{2\pi} \right)^{\frac{1.5+y}{2.5+y}}; \quad (7.53)$$

$$\frac{\chi}{\chi_0} = 0,3168\sqrt[8]{\bar{\chi}^5}; \quad (7.53')$$

$$y = \frac{1}{6} \text{ ҳолат учун} \quad \frac{v}{v_0} = \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{0.5+y}{2.5+y}}; \quad (7.54)$$

$$y = \frac{1}{6} \text{ ҳолат учун} \quad \frac{v}{v_0} = \frac{1,582}{\sqrt[4]{\bar{\chi}}}. \quad (7.54')$$

Юқорида келтирилган $y = \frac{1}{6}$ ҳолат учун $(7.51 \div 7.54)$ формулалар-
дан фойдаланишни соддалаштириш мақсадида 7.6-рasm келтирилган.

Юқорида таъкидланганидек, R_0 катталик масштаб сифатида қабул қилинади.

Ўлчов бирлигисиз гидравлик кўрсаткичларни қуйидаги кўринишда ёзиб оламиз:

$$y = 0,2 \text{ ҳолат учун} \quad \frac{R}{R_0} = \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{1}{2.5+y}}; \quad (7.55)$$

$$\frac{R}{R_0} = \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{1}{2.7}}; \quad (7.55')$$

$$\frac{\omega}{R_0^2} = \left[(2\pi^2) \bar{\chi}^{0.5+y} \right]^{\frac{1}{2.5+y}} \quad (7.56)$$

$y = 0,2$ ҳолат учун

$$\frac{\omega}{R_0^2} = \left[(2\pi^2) \bar{\chi}^{0,7} \right]^{\frac{1}{2,7}}; \quad (7.56')$$

$$\frac{\chi}{R_0} = \left(2\pi \bar{\chi}^{1,5+y} \right)^{\frac{1}{2,5+y}}; \quad (7.57)$$

$y = 0,2$ ҳолат учун

$$\frac{\chi}{R_0} = \left(2\pi \bar{\chi}^{1,7} \right)^{\frac{1}{2,7}}; \quad (7.57')$$

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{0,5+y}{2,5+y}} \quad (7.58)$$

$y = 0,2$ ҳолат учун

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{0,7}{2,7}}. \quad (7.58')$$

(7.55) ва (7.58) формулалардан фойдаланиш учун 7.4-жадвал келтирилган.

Бу формулалар асосида $y = 0$ кўрсаткич қиймати учун берилган Q , n , i ва y катталикларга мос келувчи R , ω , χ ва v катталикларнинг ҳар қандай кесимларга каналлар учун $\bar{\chi}$ катталик билан характерланувчи қийматлари аниқланиши мумкин.

Агар ҳаракатдаги кесимлар геометрик ўхшаш бўлса, бунда $\bar{\chi}$ катталик бир хил бўлади.

Ҳар қандай каналнинг чизиқли l элементини энг қулай гидравлик кесимли ярим айлана чизиқли элемент билан таққослаб, кесим нисбий чизиқли элементларини аниқлаш формулаларига эга бўлиш мумкин.

$$\frac{l}{R_0} = \sqrt{\frac{\bar{\chi}}{\omega_{l+1}}} \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{1}{2,5+y}}. \quad (7.59)$$

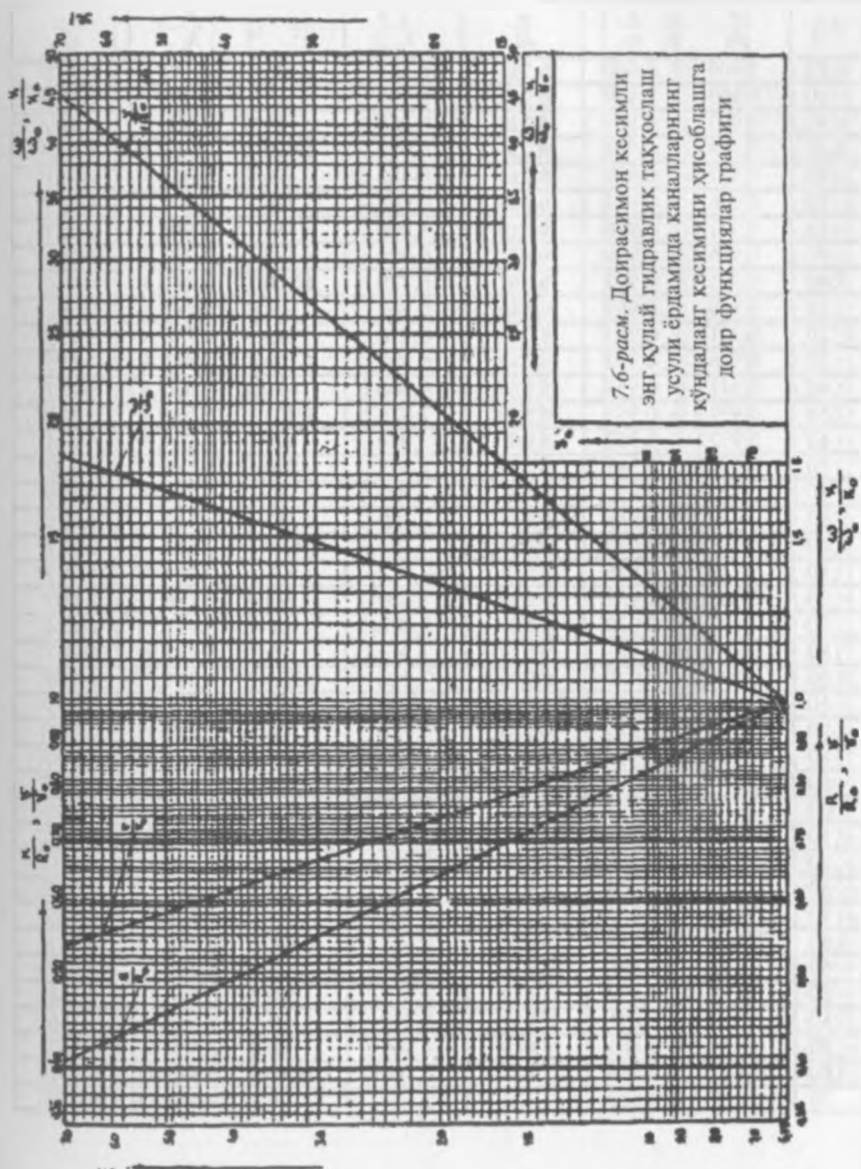
$y = \frac{1}{6}$ ҳолат учун

$$\frac{l}{R_0} = 2 \sqrt{\frac{\bar{\chi}}{\omega_{l+1}}}. \quad (7.59')$$

$y = \frac{1}{5}$ ҳолат учун

$$\frac{l}{R_0} = \sqrt{\frac{\bar{\chi}}{\omega_{l+1}}} \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{1}{2,7}}; \quad (7.59'')$$

$$\frac{l}{l_0} = \sqrt{\frac{\omega}{\omega_{l+1}}} \left(\frac{\bar{\chi}}{2\pi} \right)^{\frac{0,5+y}{5+2y}}. \quad (7.60)$$



$\bar{\chi}$ функцияда $\frac{R}{R_0}$, $\frac{v}{v_0}$, $\frac{\omega}{R_0^2}$

$\bar{\chi}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{v}{v_0}$	$\frac{\omega}{R_0^2}$	$\frac{\chi}{R_0}$	$\bar{\chi}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{v}{v_0}$
6,28	1,000	1,000	6,283	6,283	10,40	0,830	0,878
30	0,999	0,999	6,288	6,294	60	0,824	0,873
40	0,993	0,995	6,313	6,357	80	0,818	0,869
6,50	0,988	0,991	6,338	6,418	11,00	0,813	0,865
60	0,982	0,987	6,364	6,481	20	0,807	0,861
70	0,976	0,983	6,389	6,547	40	0,802	0,857
80	0,971	0,980	6,413	6,604	60	0,797	0,853
90	0,966	0,976	6,438	6,665	80	0,792	0,849
7,00	0,961	0,972	6,462	6,725	12,00	0,787	0,846
10	0,956	0,969	6,486	6,786	20	0,782	0,842
20	0,951	0,965	6,509	6,846	40	0,777	0,838
30	0,946	0,962	6,532	6,905	60	0,773	0,835
40	0,941	0,958	6,555	6,965	80	0,768	0,832
7,50	0,937	0,955	6,579	7,024	13,00	0,764	0,828
60	0,932	0,952	6,601	7,083	20	0,760	0,825
70	0,927	0,949	6,623	7,141	40	0,755	0,822
80	0,923	0,945	6,645	7,200	60	0,751	0,819
90	0,919	0,943	6,665	7,255	80	0,747	0,815
8,00	0,914	0,939	6,689	7,315	14,00	0,743	0,812
10	0,910	0,936	6,711	7,373	20	0,739	0,809
20	0,906	0,933	6,732	7,430	40	0,736	0,807
30	0,902	0,930	6,753	7,487	60	0,732	0,804
40	0,898	0,927	6,774	7,543	80	0,728	0,801
8,50	0,894	0,925	6,796	7,600	15,00	0,724	0,798
60	0,890	0,922	6,816	7,656	20	0,721	0,795
70	0,886	0,919	6,836	7,712	40	0,717	0,793
80	0,883	0,916	6,856	7,768	60	0,714	0,790
90	0,879	0,914	6,877	7,823	80	0,711	0,787
9,00	0,875	0,911	6,897	7,879	16,00	0,707	0,785
10	0,872	0,908	6,917	7,934	20	0,704	0,782
20	0,868	0,906	6,936	7,988	40	0,701	0,780
30	0,865	0,903	6,956	8,043	60	0,698	0,777
40	0,861	0,901	6,975	8,097	80	0,695	0,775
9,50	0,858	0,898	6,994	8,151	17,00	0,692	0,773
60	0,855	0,896	7,013	8,206	20	0,689	0,770
70	0,851	0,894	7,032	8,259	40	0,686	0,768
80	0,848	0,891	7,051	8,312	60	0,683	0,766
90	0,845	0,889	7,069	8,366	80	0,680	0,763
10,00	0,842	0,886	7,088	8,419	18,00	0,677	0,761
20	0,836	0,882	7,124	8,524	20	0,674	0,759

ва $\frac{\bar{X}}{R_0}$ нисбий катталиклар

$\frac{\bar{u}}{R_0}$	$\frac{\bar{X}}{R_0}$	$\bar{X}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{v}{v_0}$	$\frac{\bar{u}}{R_0}$	$\frac{\bar{X}}{R_0}$
7,150	8,630	18,40	0,672	0,757	8,301	12,358
7,196	8,734	60	0,669	0,755	8,325	12,444
7,230	8,837	80	0,666	0,753	8,348	12,528
7,265	8,939	19,00	0,664	0,751	8,371	12,661
7,299	9,042	20	0,661	0,749	8,393	12,694
7,332	9,143	40	0,659	0,747	8,416	12,778
7,366	9,256	60	0,656	0,745	8,438	12,860
7,398	9,343	80	0,654	0,743	8,461	12,943
7,430	9,443	20,00	0,651	0,741	8,483	13,025
7,463	9,542	25	0,648	0,738	8,510	13,127
7,494	9,640	50	0,645	0,736	8,537	13,229
7,525	9,737	75	0,642	0,734	8,564	13,331
7,556	9,834	21,00	0,640	0,731	8,589	13,427
7,587	9,931	25	0,637	0,729	8,618	13,533
7,617	10,027	50	0,634	0,727	8,644	13,633
7,647	10,123	75	0,631	0,725	8,669	13,732
7,676	10,217	22,00	0,629	0,723	8,695	13,831
7,505	10,311	25	0,626	0,720	8,721	13,930
7,734	10,405	50	0,623	0,718	8,746	14,028
7,762	10,499	75	0,621	0,716	8,771	14,127
7,791	10,592	23,00	0,618	0,714	8,796	14,224
7,818	10,684	25	0,616	0,712	8,821	14,321
7,846	10,746	50	0,614	0,710	8,845	14,417
7,874	10,868	75	0,611	0,708	8,870	14,514
7,900	10,958	24,00	0,609	0,706	8,893	14,610
7,927	11,049	25	0,606	0,705	8,917	14,704
7,953	11,138	50	0,604	0,703	8,941	14,801
7,980	11,228	75	0,602	0,701	8,964	14,895
8,006	11,312	25,00	0,600	0,699	8,988	14,990
8,032	11,407	50	0,595	0,695	9,037	15,178
8,057	11,495	26,00	0,591	0,692	9,071	15,364
8,083	11,583	50	0,587	0,689	9,125	15,550
8,108	11,671	27,00	0,583	0,685	9,169	15,734
8,133	11,758	50	0,579	0,682	9,213	15,917
8,158	11,846	28,00	0,575	0,679	9,256	16,099
8,207	11,914	50	0,571	0,676	9,299	16,279
8,207	12,019	29,00	0,568	0,673	9,341	16,458
8,231	12,104	50	0,564	0,670	9,382	16,636
8,254	12,189	30,00	0,560	0,667	9,423	16,813
8,278	12,274					

7.7. КАНАЛЛАРНИ ГИДРАВЛИК ЭНГ ҚУЛАЙ КЕСИМ БИЛАН ТАҚҚОСЛАШ ОРҚАЛИ ҲИСОБЛАШ

Каналларни ҳисоблашда ўн хил кўринишдаги масалалар бўлиши мумкин. Бу масалаларнинг кўриниши ва ҳисобланиш тартиби 7.5-жадвалда келтирилган.

Бу масалаларни ҳисоблаш тартибини алоҳида келтирамыз. Бундан кейин Q , n ва i катталикларни берилган деб ҳисоблаб, қуйидаги кетма-кетлик тартибида кўриб чиқамиз:

№	Берилган	Топиш керак	Ҳисоблаш		
1	Q, v, i	l, β	$\omega = \frac{Q}{v}$	$K = \frac{Q}{\sqrt{i}}$	$R_0 = f(\kappa, n)$
2	Q, i, l	v, β	$K = \frac{Q}{\sqrt{i}}$	$R_0 = f(\kappa, n)$	$\beta = f\left(\frac{l}{R_0}\right)$
3	Q, i, β	v, l	$K = \frac{Q}{\sqrt{i}}$	$R_0 = f(\kappa, n)$	$\frac{l}{R_0} = f(\beta)$
4	v, i, l	Q, β	$R = \left(\frac{vn}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{1}{0.5+y}}$	$\beta = f\left(\frac{l}{R}\right)$	$\omega_{l-1} = f(\beta)$
5	v, i, β	Q, l	$R = \left(\frac{vn}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{1}{0.5+y}}$	$\bar{x} = f(\beta)$	$\frac{R}{R_0} = f(\bar{x})$
6	i, l, β	Q, v	$\omega_{l-1} = f(\beta)$	$\omega = \omega_{l-1} l^2$	$\frac{l}{R_0} = f(\beta)$
7	Q, v, β	i, l	$\omega_{l-1} = f(\beta)$	$\omega = \frac{Q}{v}$	$l = \sqrt{\frac{\omega}{\omega_{l-1}}}$
8	Q, v, l	i, β	$\omega = \frac{Q}{v}$	$\omega_{l-1} = \frac{\omega}{l^2}$	$\beta = f(\omega_{l-1})$
9	Q, i, β	i, v	$\omega_{l-1} = f(\beta)$	$\omega = \omega_{l-1} l^2$	$v = \frac{Q}{\omega}$
10	v, i, β	Q, l	$\omega_{l-1} = f(\beta)$	$\omega = \omega_{l-1} l^2$	$Q = v\omega$

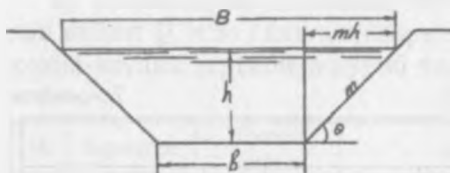
- а) берилган β катталиқ учун;
 б) берилган v катталиқ учун;
 с) берилган h катталиқ учун;
 д) берилган B ва b катталиқлари учун.

7.5-жадвал

тартиби			
$\bar{x} = f\left(\frac{\omega}{R_0}\right)$	$\beta = f(\bar{x})$	$\frac{l}{R_0} = f(\beta)$	$l = R_0 f(\beta)$
$\omega_{l-1} = f(\beta)$	$\omega = \omega_{l-1} l^2$	$v = \frac{Q}{\omega}$	
$l = R_0 f(\beta)$	$\omega_{l-1} = f(\beta)$	$\omega = \omega_{l-1} l^2$	$v = \frac{Q}{\omega}$
$\omega = \omega_{l-1} l^2$	$Q = v\omega$		
$R_0 = \frac{R}{f(\bar{x})}$	$K = f(R_0, n)$	$Q = K \sqrt{i}$	$l = R_0 f(\beta)$
$R_0 = \frac{l}{f(\beta)}$	$K = f(R_0, n)$	$Q = K \sqrt{i}$	$v = \frac{Q}{\omega}$
$\frac{l}{R_0} = f(\beta)$	$R_0 = \frac{l}{f(\beta)}$	$K = f(R_0, n)$	$i = \frac{Q^2}{K^2}$
$\frac{l}{R_0} = f(\beta)$	$R_0 = \frac{l}{f(\beta)}$	$K = f(R_0, n)$	$i = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$
$\frac{l}{R_0} = f(\beta)$	$R_0 = \frac{l}{f(\beta)}$	$K = f(R_0, n)$	$i = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$
$\frac{l}{R_0} = f(\beta)$	$R_0 = \frac{l}{f(\beta)}$	$K = f(R_0, n)$	$i = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$

УМУМЛАШТИРИЛГАН ГИДРАВЛИК ҲИСОБЛАШ УСУЛИНИНГ АНИҚ КЎРИНИШДАГИ КЕСИМГА ЭГА БЎЛГАН КАНАЛЛАР УЧУН ҚўЛЛАНИЛИШИ

7.8. ТРАПЕЦИЯСИМОН КЕСИМЛИ КАНАЛЛАРНИНГ ГИДРАВЛИК ҲИСОБИ



7.7-расм. (7.61+7.66) ифодаларга доир

Умумий ифодаларни ёзиб оламиз:

7.7-расмдаги кесим учун

$$B = b + 2mh = (\beta' + 2m)h = \beta h, \quad (7.61)$$

бу ерда $\beta' = \frac{b}{h}$; $\beta = \frac{B}{h} = \beta' + 2m$; $\beta' = \beta - 2m$.

Сатҳ бўйича кенглиги учун

$$\omega = (b + mh)h = (\beta' + m)h^2 = (\beta - m)h^2. \quad (7.62)$$

Ҳаракатдаги кесим юзаси $h = 1$, $b = 1$ ёки $B = 1$ ҳолат учун

$$\omega_{h=1} = (\beta' + m) = \beta - m; \quad \omega_{b=1} = \frac{\beta' - m}{\beta'^2}; \quad \omega_{B=1} = \frac{\beta - m}{\beta^2}. \quad (7.63)$$

Ҳўлланганлик периметри

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = (\beta' + m')h = (\beta + m' - 2m)h. \quad (7.64)$$

Гидравлик радиус

$$R = \frac{(\beta' + m)}{\beta' + m'} h = \frac{(\beta - m)}{\beta + m' - 2m} h. \quad (7.65)$$

Солиштирма ҳўлланганлик периметри

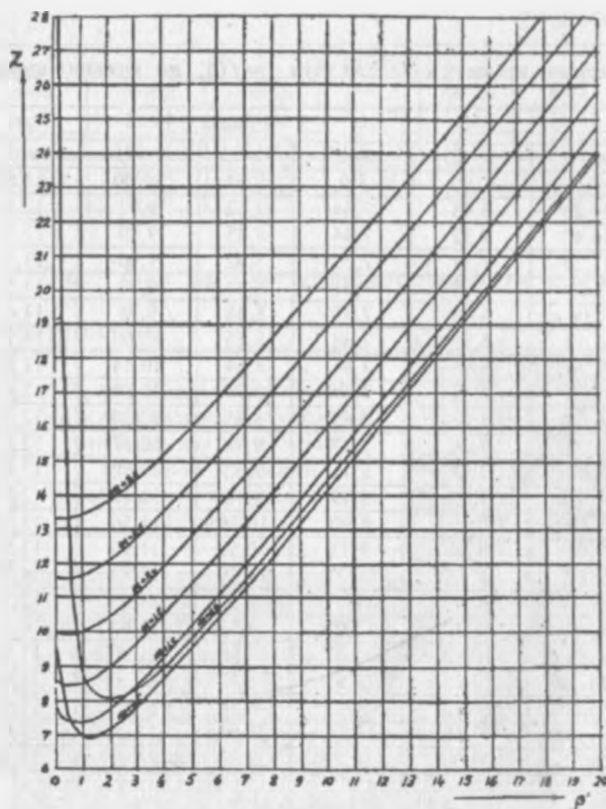
$$\bar{\chi} = \frac{(\beta' + m)^2}{\beta' + m} = \frac{(\beta + m' - 2m)^2}{\beta - m}. \quad (7.66)$$

$f = f(\beta', m)$ боғлиқлик 7.8-расмда график кўринишида ва 7.6-жадвалда ифодаланган. $\bar{\chi} = f(\beta, m)$ ҳолат учун эса 7.7-жадвал тузилган.

(7.59) формуладан $y = 0,2$ ва $y = \frac{1}{6}$ ҳолатлар учун ўлчов бирлик-сиз катталикларни келтирамиз:

$$y = 0,2 \text{ ҳолат учун } \frac{h}{R_0} = \sqrt{\frac{\bar{\chi}}{\omega_{h=1}}} \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{1}{2,7}} = f_1(\beta', m); \quad (7.67)$$

$$y = \frac{1}{6} \text{ ҳолат учун } \frac{h}{R_0} = 2 \sqrt[4]{\frac{\bar{\chi}}{\omega_{h=1}}} = f_1(\beta', m); \quad (7.67'')$$



7.8-расм. $\bar{\chi} = f(\beta', m)$ графиги

$y = 0,2$ ҳолат учун

$$\frac{b}{R_0} = \sqrt{\frac{\bar{\chi}}{\omega_{b=1}}} \left(\frac{2\pi}{\bar{\chi}} \right)^{\frac{1}{2,7}} = f_2(\beta', m); \quad (7.68)$$

$y = \frac{1}{6}$ ҳолат учун

$$\frac{b}{R_0} = 2 \sqrt[8]{\frac{\bar{\chi}}{\omega_{b=1}}} = f_2(\beta', m). \quad (7.68')$$

(7.67') ва (7.68') формулалар асосида 7.9-расмдаги график тузилган.

(7.67) ва (7.68) формулалар учун 7.8-жадвал келтирилган, бунда

$$y = 0,2 \text{ учун } \frac{R}{R_0} = f(\bar{\chi}), \quad \frac{\omega}{R_0^2} = f(\bar{\chi}), \quad \frac{\chi}{R_0} = f(\bar{\chi}), \quad \frac{v}{v_0} = f(\bar{\chi}), \quad \frac{h}{R_0} = f(\bar{\chi}), \quad \frac{b}{R_0} = f(\bar{\chi}).$$

Гидравлик энг қулай трапециясимон кесим. Бу кесим солиштирма ҳўлланганлик периметрининг энг кичик қийматида мавжуд бўлади. Демак,

$$\frac{d\bar{\chi}}{d\beta'} = \frac{2(\beta' + m)(\beta' + m) - (\beta' + m)^2}{(\beta' + m)^2},$$

Трапециясимон кесимли каналлар учун $\bar{\chi} = f(\beta, m)$ функция қийматлари

$\beta = \frac{b}{h}$	$\bar{\chi}$ — белги						
	$m=0$	$m=0,5$	$m=1,0$	$m=1,5$	$m=2,0$	$m=2,5$	$m=3,0$
0	—	10,0	8,0	8,67	10,00	11,60	13,33
0,2	24,20	8,48	7,64	8,52	9,92	11,55	13,30
0,4	14,40	7,72	7,44	8,45	9,89	11,54	13,30
0,6	11,27	7,31	7,35	8,42	9,90	11,55	13,32
0,8	9,80	7,09	7,31	8,44	9,93	11,59	13,36
1,0	9,00	6,98	7,33	8,48	9,98	11,65	13,41
1,2	8,53	6,95	7,38	8,55	10,05	11,72	13,48
1,4	8,26	6,96	7,45	8,64	10,14	11,80	13,56
1,6	8,10	7,01	7,54	8,74	10,24	11,90	13,65
1,8	8,02	7,08	7,65	8,85	10,35	12,01	13,75
2,0	8,00	7,20	7,77	8,98	10,47	12,12	13,86
2,5	8,10	7,48	8,11	9,32	10,80	12,43	14,16
3,0	8,33	7,84	8,49	9,70	11,17	12,78	14,49
3,5	8,64	8,23	8,90	10,10	11,56	13,16	16,85
4,0	9,00	8,64	9,33	10,52	11,96	13,55	15,23
5,0	9,80	9,52	10,21	11,39	12,82	14,38	16,03
6,0	10,67	10,43	11,13	12,30	13,71	15,25	16,88
7,0	11,57	11,37	12,07	13,23	14,62	16,15	17,76
8,0	12,50	12,33	13,03	14,18	15,56	17,06	18,65
9,0	13,44	13,29	13,99	15,13	16,50	17,99	19,57
10,0	14,40	14,26	14,96	16,10	17,45	18,94	20,50
15,0	19,30	19,10	19,80	20,90	22,24	23,65	25,26
20,0	24,15	24,00	24,75	25,80	27,13	28,50	30,12

бундан

$$\beta'_{\min} = \beta'_{\text{г.э.к}} = m' - 2m. \quad (7.69)$$

Бунда

$$\bar{\chi}_{\min} = \bar{\chi}_{\text{г.э.к}} = 4(m' - m). \quad (7.70)$$

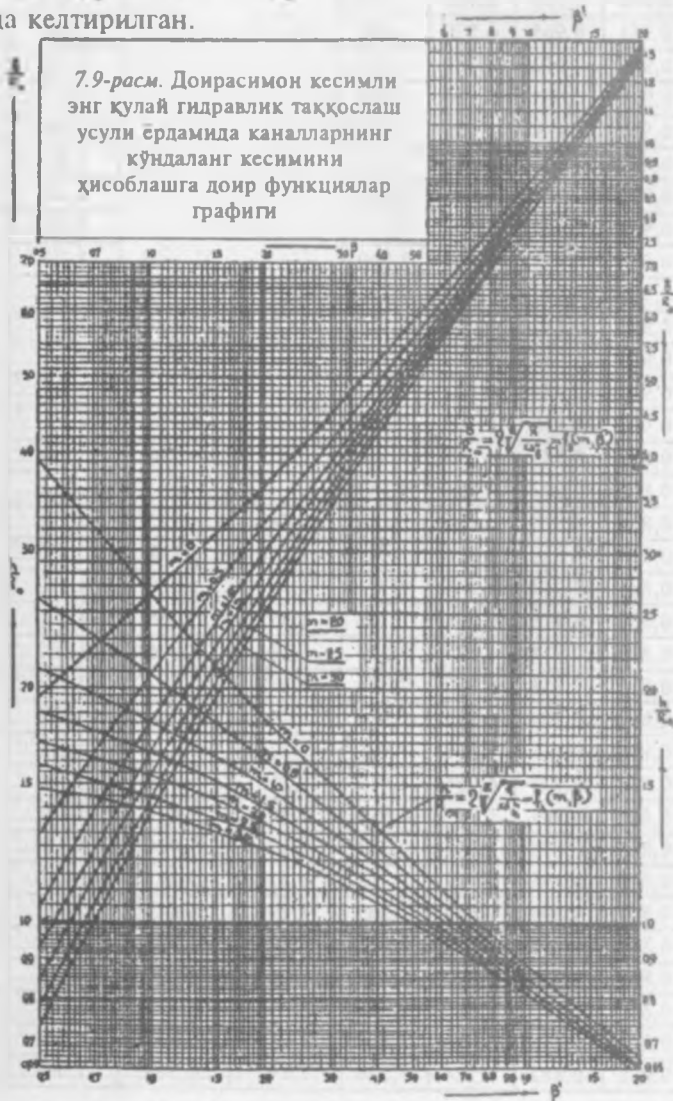
7.7-жадвал

Трапециясимон кесимли каналлар учун $\bar{\chi} = f(\beta, m)$ функция қийматлари

$\beta = \frac{B}{h}$	$\bar{\chi}$ — белги						
	$m=0$	$m=0,5$	$m=1,0$	$m=1,5$	$m=2,0$	$m=2,5$	$m=3,0$
2,0	8,00	6,98	—	—	—	—	—
2,5	8,10	6,99	7,39	—	—	—	—
3,0	8,33	7,20	7,33	8,67	—	—	—
3,5	8,64	7,48	7,50	8,43	—	—	—
4,0	9,00	7,84	7,77	8,48	10,00	—	—
5,0	9,80	8,64	8,49	8,98	9,98	11,60	—
6,0	10,67	9,52	9,33	9,70	10,47	11,65	13,33
7,0	11,57	10,43	10,21	10,52	11,17	12,12	13,41
8,0	12,50	11,37	11,13	11,39	11,96	12,78	13,86
9,0	13,44	12,33	12,07	12,30	12,82	13,55	14,49
10,0	14,40	13,29	13,03	13,23	13,71	14,38	15,23
11,0	15,36	14,26	13,99	14,18	14,62	15,25	16,03

$\beta = \frac{B}{h}$	$\bar{\chi}$ — белги						
	$m=0$	$m=0,5$	$m=1,0$	$m=1,5$	$m=2,0$	$m=2,5$	$m=3,0$
12,0	16,33	15,24	14,96	15,13	15,56	16,15	16,88
13,0	17,31	16,22	15,95	16,10	16,50	17,06	17,76
14,0	18,29	17,20	16,93	17,08	17,45	17,99	18,65
15,0	19,27	18,20	17,91	18,05	18,39	18,94	19,57

$\bar{\beta}$, $\chi_{\text{кат}}$, $\frac{h_{\text{кат}}}{R_0}$, $\frac{B_{\text{кат}}}{R_0}$ ва $\frac{b_{\text{кат}}}{R_0}$ катталикларининг миқдорлари 7.9-жадвалда келтирилган.



Трапециясимон каналларнинг

$\bar{x}$	R/R_0	v/v_0	m/R_0^2	x/R_0	$m=0,0$		$m=0,5$	
					h/R_0	b/R_0	h/R_0	b/R_0
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6,94	0,964	0,974	6,450	6,690			1,924	2,382
7,00	0,961	0,972	6,462	6,725			1,764	2,781
10	0,956	0,969	6,486	6,786			1,665	3,063
20	0,951	0,965	6,509	6,846			1,600	3,268
30	0,946	0,962	6,532	6,905			1,550	3,439
31	0,945	0,961	6,536	6,913			—	—
40	0,941	0,958	6,555	6,965			1,509	3,594
50	0,937	0,955	6,579	7,024			1,472	3,732
60	0,932	0,952	6,601	7,083			1,441	3,862
70	0,927	0,949	6,623	7,141			1,413	3,983
80	0,923	0,945	6,645	7,200			1,386	4,098
90	0,919	0,943	6,665	7,255			1,363	4,210
8,00	0,914	0,939	6,689	7,315	18,29	3,658	1,342	4,316
10	0,910	0,936	6,711	7,373	1,638	4,096	1,322	4,419
20	0,906	0,933	6,732	7,430	1,568	4,295	1,302	4,516
30	0,902	0,930	6,753	7,487	1,516	4,456	1,285	4,616
40	0,898	0,927	6,774	7,543	1,475	4,596	1,268	4,707
42	0,897	0,927	6,778	7,557	—	—	—	—
50	0,894	0,925	6,796	7,600	1,440	4,723	1,253	4,800
60	0,890	0,922	6,816	7,656	1,408	4,839	1,237	4,889
70	0,886	0,919	6,836	7,712	1,381	4,950	1,223	4,976
80	0,883	0,916	6,856	7,768	1,357	5,056	1,209	5,061
90	0,879	0,914	6,877	7,823	1,334	5,156	1,197	5,148
9,00	0,875	0,911	6,897	7,879	1,313	5,252	1,185	5,233
10	0,872	0,908	6,917	7,934	1,294	5,346	1,173	5,311
20	0,868	0,906	6,936	7,978	1,276	5,439	1,162	5,393
30	0,865	0,903	6,956	8,043	1,259	5,526	1,150	5,468
40	0,861	0,901	6,975	8,097	1,243	5,611	1,141	5,550
50	0,858	0,898	6,994	8,151	1,228	5,694	1,130	5,625
60	0,855	0,896	7,012	8,206	1,210	5,791	1,120	5,698
70	0,851	0,894	7,032	8,259	1,198	5,845	1,111	5,777
9,80	0,848	0,891	7,051	8,312	1,185	5,953	1,102	5,849
89	0,845	0,889	7,067	8,363	—	—	—	—
90	0,845	0,889	7,069	8,366	1,175	6,013	1,093	5,921
10,00	0,842	0,886	7,088	8,419	1,164	6,092	1,084	5,994
20	0,836	0,882	7,124	8,524	1,142	6,243	1,068	6,136

ҳисобиға доир

$m=1,0$		$m=1,5$		$m=2,0$		$m=2,5$		$m=3,0$	
h/R_0	b/R_0	h/R_0	b/R_0	h/R_0	b/R_0	h/R_0	b/R_0	h/R_0	b/R_0
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	0,830	0,878	7,160	8,630	1,121	6,388	1,053	6,277
60	0,824	0,873	7,196	8,734	1,102	6,532	1,038	6,411
80	0,818	0,869	7,230	8,837	1,084	6,667	1,024	6,547
11,00	0,813	0,865	7,265	8,939	1,068	6,805	1,012	6,682
20	0,807	0,861	7,299	9,042	1,053	6,941	0,999	6,806
40	0,802	0,857	7,332	9,143	1,038	7,070	0,987	6,933
54	0,798	0,854	7,355	9,216	—	—	—	—
60	0,797	0,853	7,366	9,246	1,024	7,021	0,975	7,060
80	0,792	0,849	7,398	9,343	1,010	7,324	0,954	7,184
12,00	0,787	0,846	7,430	9,443	0,998	7,448	0,955	7,310
20	0,782	0,842	7,463	9,542	0,986	7,568	0,944	7,427
40	0,777	0,838	7,494	9,640	0,974	7,689	0,936	7,554
60	0,773	0,835	0,725	9,737	0,964	7,812	0,926	7,670
80	0,768	0,832	7,556	9,834	0,954	7,932	0,917	7,785
13,00	0,764	0,828	7,587	9,931	0,943	8,042	0,908	7,903
20	0,760	0,825	7,617	10,027	0,934	8,162	0,900	8,018
30	0,757	0,823	7,632	10,077	—	—	—	—
40	0,755	0,822	7,647	10,123	0,925	8,278	0,892	8,131
60	0,751	0,819	7,776	10,217	0,915	8,385	0,884	8,235
80	0,747	0,815	7,705	10,311	0,906	8,495	0,877	8,351
14,00	0,743	0,812	7,734	10,405	0,899	8,611	0,870	8,464
20	0,739	0,809	7,762	10,499	0,891	8,724	0,863	8,575
40	0,736	0,807	7,791	10,592	0,883	8,742	0,856	8,686
60	0,732	0,804	7,818	10,684	0,875	8,845	0,850	8,793
80	0,728	0,801	7,846	10,776	0,868	9,041	0,844	8,907
15,00	0,724	0,798	7,874	10,868	0,861	9,144	0,838	9,019
20	0,721	0,795	7,900	10,958	0,854	9,249	0,832	9,123
40	0,717	0,793	7,927	11,049	0,847	9,349	0,826	9,226
60	0,714	0,790	7,959	11,138	0,841	9,457	0,820	9,327
15,80	0,711	0,787	7,980	11,228	0,835	9,561	0,814	9,425
16,00	0,707	0,785	8,006	11,312	0,829	9,664	0,808	9,518
20	0,704	0,782	8,032	11,437	0,823	9,763	0,802	9,613
40	0,701	0,780	8,057	11,495	0,817	9,860	0,797	9,715
60	0,697	0,777	8,083	11,583	0,811	9,954	0,792	9,816
80	0,696	0,775	8,108	11,671	0,806	10,059	0,787	9,915
17,00	0,692	0,772	8,133	11,758	0,801	10,160	0,782	10,005
20	0,689	0,770	8,158	11,847	0,796	10,260	0,777	10,105
40	0,686	0,768	8,170	11,914	0,791	10,358	0,772	10,197
60	0,683	0,766	8,207	12,019	0,786	10,453	0,767	10,286
80	0,680	0,763	8,231	12,104	0,781	10,547	0,763	10,387
18,00	0,677	0,761	8,254	12,189	0,776	10,638	0,759	10,489

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1,073	5,601	1,156	4,464	1,366	2,509	$z = \frac{(\beta' + m')^2}{\beta' + m}$			
1,056	5,749	1,134	4,644	1,308	2,880				
1,042	5,895	1,114	4,820	1,268	3,167				
1,029	6,040	1,096	4,993	1,234	3,424				
1,015	6,175	1,078	5,055	1,203	3,662				
1,008	6,315	1,062	5,317	1,176	3,883				
—	—	—	—	—	—	1,595	0,613		
0,991	6,450	1,046	5,473	1,151	4,094	1,487	1,234		
0,979	6,581	1,032	5,624	1,129	4,293	1,379	1,917		
0,968	6,713	1,018	5,774	1,109	4,485	1,317	2,355		
0,957	6,842	1,005	5,918	1,090	4,670	1,269	2,707		
0,947	6,966	0,993	6,061	1,072	4,843	1,228	3,005		
0,937	7,088	0,981	6,200	1,056	5,016	1,210	3,318		
0,928	7,216	0,970	6,338	1,040	5,181	1,170	3,536		
0,919	7,338	0,959	6,473	1,026	5,343	1,144	3,768		
0,910	7,456	0,949	6,609	1,012	5,498	1,122	3,989		
—	—	—	—	—	—	—	—	1,514	0,492
0,902	7,577	0,939	6,671	0,997	5,669	1,101	4,194	1,390	1,333
0,894	7,696	0,929	6,867	0,987	5,805	1,082	4,493	1,308	1,947
0,886	7,813	0,921	6,998	0,975	5,948	1,064	4,582	1,255	2,374
0,879	7,927	0,911	7,119	0,964	6,093	1,048	4,767	1,215	2,723
0,871	8,040	0,903	7,243	0,954	6,238	1,032	4,942	1,182	3,030
0,864	8,148	0,894	7,364	0,943	6,372	1,018	5,113	1,153	3,305
0,857	8,262	0,887	7,488	0,933	6,508	1,004	5,278	1,127	3,556
0,850	8,375	0,880	7,610	0,924	6,644	0,991	5,437	1,105	3,791
0,844	8,486	0,872	7,697	0,915	6,776	0,979	5,995	1,084	4,012
0,838	8,597	0,865	7,845	0,906	6,904	0,968	5,754	1,067	4,229
0,832	8,706	0,858	7,960	0,898	7,035	0,957	5,905	1,051	4,436
0,826	8,813	0,851	8,072	0,890	7,162	0,946	6,049	1,035	4,628
0,820	8,917	0,844	8,180	0,882	7,285	0,936	6,192	1,019	4,809
0,814	9,021	0,838	8,298	0,874	7,407	0,926	6,333	1,003	4,978
0,808	9,118	0,832	8,402	0,867	7,529	0,917	6,473	0,991	51,57
0,803	9,225	0,826	8,519	0,860	7,650	0,908	6,608	0,979	5,328
0,798	9,330	0,820	8,626	0,853	7,767	0,899	6,740	0,967	5,490
0,793	9,435	0,814	8,731	0,846	7,881	0,891	6,874	0,955	5,644
0,778	9,533	0,809	8,840	0,809	8,005	0,883	7,006	0,944	5,795
0,783	9,635	0,803	8,493	0,834	8,119	0,875	7,129	0,934	5,951
0,778	9,731	0,798	9,052	0,828	8,234	0,868	7,259	0,924	6,098
0,773	9,927	0,793	9,159	0,822	8,346	0,861	73,86	0,915	6,246
0,769	9,932	0,788	9,263	0,816	8,455	0,854	7,508	0,906	6,388
0,765	10,030	0,783	9,362	0,811	8,568	0,847	7,630	0,897	6,523

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,674	0,759	8,278	12,274	0,771	10,727	0,755	10,585
40	0,672	0,757	8,301	12,358	0,766	10,813	0,751	10,681
60	0,659	0,755	8,325	12,444	0,762	10,912	0,747	10,776
80	0,666	0,753	8,348	12,528	0,758	11,010	0,743	10,869
19,00	0,664	0,751	8,371	12,611	0,754	11,105	0,739	10,965
20	0,661	0,749	8,393	12,694	0,750	11,199	0,735	11,050
40	0,659	0,747	8,416	12,778	0,746	11,291	0,731	11,137
60	0,656	0,745	8,438	12,860	0,742	11,382	0,727	11,224
80	0,654	0,743	8,461	12,943	0,738	11,470	0,723	11,309
20,00	0,651	0,741	84,83	13,025	0,734	11,558	0,720	11,412
25	0,648	0,738	8,510	13,127	0,729	11,664	0,716	11,524
50	0,645	0,736	8,537	13,228	0,724	11,768	0,712	11,640
75	0,642	0,734	8,564	13,331	0,720	11,886	0,708	11,755
21,00	0,640	0,731	8,589	13,427	0,716	12,001	0,704	11,865
25	0,637	0,729	8,618	13,533	0,711	12,098	0,700	11,976
50	0,634	0,727	8,644	13,633	0,707	12,208	0,696	12,082
75	0,631	0,725	8,669	13,732	0,703	12,318	0,692	12,187
22,00	0,629	0,723	8,695	13,831	0,699	12,427	0,688	12,298
25	0,626	0,720	8,721	13,930	0,695	12,460	0,684	12,392
50	0,623	0,718	8,746	14,028	0,691	12,632	0,680	12,490
75	0,621	0,716	8,771	14,127	0,686	12,733	0,677	12,606
23,00	0,618	0,714	8,796	14,224	0,684	12,850	0,674	12,720
23,25	0,616	0,712	8,821	14,321	0,680	12,968	0,670	12,834
50	0,614	0,710	8,845	14,417	0,676	12,042	0,667	12,924
75	0,611	0,708	8,870	14,514	0,673	13,154	0,664	13,034
24,00	0,609	0,706	8,893	14,610	0,670	13,269	0,661	13,130
25	0,606	0,705	8,917	14,705	0,666	13,354	0,658	13,227
50	0,605	0,703	8,941	14,801	0,663	13,461	0,654	13,330
75	0,602	0,701	8,964	14,895	0,660	13,567	0,651	13,433
25,00	0,600	0,699	8,988	14,990	0,657	13,609	0,648	13,539
50	0,595	0,695	9,034	15,178	0,651	13,879	0,643	13,745
26,00	0,591	0,692	9,071	15,364	0,645	14,078	0,637	13,948
50	0,587	0,689	9,125	15,550	0,639	14,263	0,632	14,144
27,00	0,583	0,685	9,169	15,734	0,634	14,471	0,626	14,332
50	0,579	0,682	9,213	15,917	0,628	14,649	0,621	14,528
28,00	0,575	0,679	9,256	16,099	0,623	14,825	0,616	14,721
50	0,571	0,676	9,299	16,279	0,618	15,038	0,611	14,910
29,00	0,568	0,673	9,341	16,458	0,614	15,239	0,606	15,161
50	0,564	0,670	9,382	16,636	0,608	15,401	0,602	15,294
30,00	0,560	0,667	9,423	16,813	0,604	15,600	0,598	15,484
50	0,557	0,664	9,464	16,989	0,599	15,784	0,593	15,671
31,00	0,554	0,661	9,504	17,164	0,595	15,970	0,589	15,855

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0,760	10,125	0,778	9,464	0,805	8,675	0,840	7,744	0,889	6,665
0,755	10,212	0,773	9,561	0,800	8,788	0,834	7,866	0,881	6,801
0,751	10,310	0,768	9,656	0,795	8,898	0,828	7,986	0,873	6,932
0,747	10,407	0,764	9,763	0,790	9,005	0,822	8,102	0,865	7,059
0,743	10,508	0,760	9,867	0,785	9,106	0,816	8,213	0,858	7,186
0,739	10,595	0,756	9,969	0,780	9,214	0,810	8,325	0,851	7,316
0,735	10,687	0,752	10,070	0,775	9,315	0,804	8,433	0,844	7,440
0,731	10,777	0,748	10,169	0,770	9,414	0,799	8,548	0,837	7,560
0,728	10,881	0,744	10,262	0,765	9,510	0,794	8,662	0,831	7,685
0,725	10,981	0,740	10,359	0,761	9,621	0,789	8,776	0,825	7,810
0,720	11,089	0,735	10,479	0,756	9,749	0,783	8,910	0,818	7,961
0,716	11,208	0,730	10,593	0,751	9,877	0,777	9,045	0,811	8,110
0,712	11,326	0,725	10,706	0,746	10,003	0,771	9,176	0,804	8,256
0,708	11,433	0,721	10,830	0,741	10,172	0,766	9,312	0,797	8,396
0,704	11,555	0,716	10,937	0,736	10,247	0,760	9,441	0,790	8,532
0,700	11,666	0,712	11,056	0,731	10,364	0,754	9,561	0,784	8,675
0,696	11,775	0,708	11,174	0,726	10,479	0,749	9,693	0,778	8,814
0,692	11,874	0,704	11,291	0,722	10,601	0,744	9,825	0,772	8,950
0,688	11,988	0,700	11,403	0,717	10,716	0,739	9,945	0,756	9,082
0,684	12,091	0,696	11,514	0,713	10,838	0,734	10,068	0,760	9,211
0,681	12,210	0,692	11,623	0,709	10,958	0,729	10,187	0,756	9,349
0,667	12,312	0,689	11,745	0,705	11,076	0,725	10,324	0,750	9,485
0,673	12,426	0,685	11,874	0,701	11,215	0,720	10,458	0,745	9,644
0,670	12,519	0,681	11,956	0,697	11,305	0,715	10,544	0,740	9,744
0,667	12,631	0,678	12,075	0,693	11,417	0,711	10,668	0,735	9,869
0,664	12,727	0,675	12,183	0,689	11,528	0,707	10,796	0,730	9,991
0,660	12,831	0,671	12,290	0,685	11,634	0,703	10,909	0,725	10,113
0,657	12,938	0,667	12,385	0,681	11,739	0,699	11,026	0,720	10,230
0,654	13,044	0,664	12,497	0,673	11,860	0,695	11,141	0,716	10,359
0,651	13,152	0,661	12,604	0,675	11,971	0,692	11,269	0,712	10,490
0,645	13,359	0,655	12,820	0,668	12,192	0,684	11,493	0,704	10,731
0,639	13,558	0,649	13,032	0,661	12,407	0,677	11,712	0,696	10,964
0,634	13,759	0,643	13,234	0,655	12,624	0,670	11,938	0,688	11,201
0,628	13,953	0,637	13,437	0,649	12,868	0,663	12,156	0,681	11,431
0,623	14,150	0,632	13,637	0,643	13,049	0,657	12,378	0,674	11,666
0,618	14,351	0,626	13,840	0,638	13,254	0,651	12,595	0,668	11,874
0,613	14,545	0,621	14,035	0,632	13,460	0,645	12,808	0,661	12,110
0,608	14,734	0,616	14,234	0,627	13,658	0,639	13,015	0,654	12,321
0,604	14,935	0,611	14,438	0,622	13,863	0,634	13,228	0,648	12,537
0,600	15,129	0,607	14,637	0,617	14,062	0,628	13,436	0,642	12,748
0,594	15,316	0,602	14,823	0,612	14,261	0,623	13,636	0,636	12,963
0,591	15,498	0,597	15,009	0,6,7	14,453	0,618	13,838	0,631	13,172

m	$\beta'_{\bar{x},k}$	$\beta_{\bar{x},k}$	$\bar{x}_{\bar{x},k}$	$\frac{h_{\bar{x},k}}{R_0}$	$\frac{b_{\bar{x},k}}{R_0}$	$\frac{B_{\bar{x},k}}{R_0}$
0,0	2,00	2,00	8,00	1,834	3,668	3,668
0,5	1,24	2,24	6,94	1,923	2,380	4,303
1,0	0,828	2,83	7,31	1,900	1,573	5,373
1,5	0,606	3,61	8,42	1,800	1,090	6,490
2,0	0,472	4,47	9,89	1,695	0,800	7,580
2,5	0,385	5,39	11,54	1,600	0,615	8,615
3,0	0,325	6,33	13,30	1,515	0,491	9,581

Умуман, $\bar{x} > \bar{x}_{\bar{x},k}$ учун β' қиймат қуйидагича ҳисобланади:

$$\beta'_1 = \frac{\bar{x} - 2m' \pm \sqrt{x[\bar{x} - 4(m' - m)]}}{2}, \quad (7.71)$$

бунда $\bar{x} < \left(\frac{4m'}{m}\right)^2$ ҳолат учун чегараланувчи қийматлар мавжуд

$$0 < \beta' < \beta'_{\bar{x},k} \quad \text{ва} \quad \beta'_{\bar{x},k} < \beta'_2 < \frac{2m'}{m} \beta'_{\bar{x},k}.$$

$\bar{x} > \left(\frac{4m'}{m}\right)^2$ ҳолат учун

$$\beta' < \frac{2m'}{m} \beta'$$

Намунавий масалалар.

1-масала. Каналдаги b ва h катталикини берилган $Q=25 \text{ м}^3/\text{сек}$, $i=0,0007$, $\beta'=5,3$, $m=1,5$, $n=0,025$ қийматлар учун аниқлаймиз.

1. Жадвал ва график ёрдамида ҳисоблаш.

а) $\bar{x}$ катталикини (7.66) формулага асосан ҳисоблаймиз:

$$\bar{x} = \frac{(\beta' + m'^2)}{\beta' + m} = \frac{(5,3 + 2\sqrt{1 + 1,5^2})^2}{5,3 + 1,5} = \frac{79,21}{6,8} = 11,65;$$

б) қуйидагиларни ҳисоблаймиз:

$$0,159 \frac{Qn}{\sqrt{i}} = 0,159 \frac{25 \cdot 0,025}{\sqrt{0,0007}} = 3,76;$$

с) изланаётган катталикларни аниқлаймиз.

Графикка асосан $h=1,05R_0 = 1,05 \cdot 1,62 = 1,70 \text{ м}$;

$$b=5,55R_0 = 5,55 \cdot 1,62 = 9,0 \text{ м}.$$

Жадвалга асосан $h=1,043 \cdot 1,63 = 1,70 \text{ м}$;

$$b=5,51 \cdot 1,63 = 9,0 \text{ м}.$$

II. Жадвал ва графикларсиз ҳисоблаш.

а) R_0 катталикини (7.44) формулага асосан ҳисоблаймиз:

$$R_0 = 0,5 \sqrt[3]{\left(\frac{Qn}{\sqrt{i}}\right)^3} = 0,5 \sqrt[3]{\left(\frac{25 \cdot 0,025}{0,0007}\right)^3} = 1,62 \text{ м.}$$

б) (7.66) формуладан фойдаланиб,

$$\omega_{h=1} = \beta' + m = 5,3 + 1,5 = 6,8$$

$$\omega_{b=1} = \frac{\beta' - m}{\beta'^2} = \frac{5,3 - 1,5}{5,3^2} = 0,135.$$

с) (7.67') формула асосида ўлчов бирликсиз чуқурликни (7.68') формула ёрдамида ўлчов бирликсиз туб бўйича кенгликларни аниқлаймиз:

$$\frac{h}{R_0} 2 \sqrt[8]{\frac{\bar{\chi}}{\omega_{h=1}^4}} = \frac{2}{\sqrt[8]{6,8}} \sqrt[8]{11,65} = 1,05;$$

$$\frac{b}{R_0} = \frac{2}{\sqrt[8]{\omega_{b=1}}} \sqrt[8]{\bar{\chi}} = \frac{2}{\sqrt[8]{0,135}} \sqrt[8]{11,65} = 5,55$$

ёки

$$\frac{b}{R_0} = \beta' \frac{h}{R_0} = 5,3 \cdot 1,05 = 5,55;$$

д) изланаётган катталикларни аниқлаймиз:

$$h = 1,05 \quad R_0 = 1,05 \cdot 1,62 = 1,7 \text{ м}$$

$$b = 5,55 \quad R_0 = 5,55 \cdot 1,62 = 9,0 \text{ м}$$

2-масала. Трапециясимон кесимли каналдаги чуқурликни $Q = 5 \text{ м}^3/\text{сек}$, $i = 0,0004$, $b = 5,3$, $m = 1,0$, $n = 0,0225$ қийматлар учун аниқлаймиз.

а) қуйидаги катталикларни аниқлаймиз:

$$0,159 \frac{Qn}{\sqrt{i}} = 0,159 \frac{5 \cdot 0,0225}{\sqrt{0,0004}} = 0,895$$

б) 7.3-жадвалдан $0,159 \frac{Qn}{\sqrt{i}} = 0,895$ катталикка мос келувчи $R_0 = 0,96 \text{ м}$ ни аниқлаймиз.

с) b ва R_0 орасидаги муносабатни аниқлаймиз:

$$\frac{b}{R_0} = \frac{3,0}{0,96} = 3,13$$

д) 7.8-жадвалдан $\frac{b}{R_0} = 3,13$ ва $m = 1,0$ га мос келувчи $\frac{h}{R_0} = 1,46$ муносабатни аниқлаймиз.

е) изланаётган катталикини аниқлаймиз.

$$h = 1,46 R_0 = 1,46 \cdot 0,96 = 1,4 \text{ м.}$$

3-масала. $b = 5,0 \text{ м}$, $h = 1,5 \text{ м}$, $i = 0,0003$, $m = 1,5$, $n = 0,025$ катталикларга мос келувчи Q сарфни аниқлансин.

а) $\bar{\chi}$ катталикни (7.66) формулага асосан аниқлаймиз:

$$\bar{\chi}' = \frac{(\beta' + m)^2}{\beta' + m} = \frac{(3,33 + 3,6)^2}{3,33 + 1,5} = \frac{48}{4,83} 9,96,$$

бунда

$$\beta_1 = \frac{b}{h} = \frac{5,0}{1,5} = 3,33.$$

б) 7.8-жадвалдан $m = 1,5$ га мос келувчи $\bar{\chi} = 9,96$, $\frac{h}{R_0} = 1,212$ ва $\frac{b}{R_0} = 4,025$ катталикларни аниқлаймиз.

с) Бундан R_0 катталикни аниқлаймиз.

$$R_0 = \frac{h}{1,212} = \frac{1,5}{1,212} = 1,24 \text{ м}$$

ски

$$R_0 = \frac{b}{4,025} = \frac{5,0}{4,025} = 1,24 \text{ м.}$$

д) 7.3-жадвалдан $R_0 = 1,24$ ва $0,159 \frac{Qn}{\sqrt{i}} = 1,788$ мос келади. Демак,

$$Q = \frac{1788 \sqrt{i}}{0,159} = 11,26 \frac{\sqrt{0,0003}}{0,025} = 7,8 \text{ м}^3/\text{сек}$$

7.9. ПАРАБОЛА КЎРИНИШИДАГИ КЕСИМНИНГ ГИДРАВЛИК ҲИСОБИ

7.3-расмда парабола кўринишидаги кесимнинг турли даража кўрсаткичли турлари келтирилган.

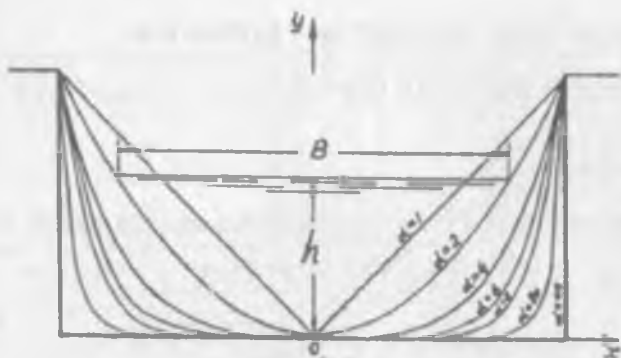
$$x^a = ay. \quad (7.72)$$

Бунда $\sqrt{\frac{a}{2}} = P$, P — парабола периметри.

Квадрат парабола учун

$$a = 2P.$$

Бу тенглама орқали ифодаланган парабола кўрсаткичда учбурчак шаклдан ($a = \infty$) кўрсаткичда тўртбурчак шаклгача ўзгариши мумкин. (7.72) тенглама асосида тузилган парабола шаклидаги кесимлар учун $y = h$, $2x = B$ ва $\frac{B}{h} = \beta$ га тенг.



7.10-расм.

Сатҳ буйича кенглик $\beta = 2\sqrt{ah}$ (7.73)

Ҳаракатдаги кесим юзаси $\omega = \frac{\alpha}{\alpha + 1} \beta h^2$ (7.74)

$h = 1, B = 1, a = 1$ ҳолатлар учун

$$\omega_{h=1} = \frac{\alpha}{\alpha + 1} \beta; \omega_{B=1} = \frac{\alpha}{\alpha + 1} \frac{1}{\beta}; \omega_{a=1} = \frac{\alpha}{\alpha + 1} \frac{4^{\frac{\alpha}{\alpha-1}}}{\beta^{\frac{\alpha+1}{\alpha-1}}}. \quad (7.75)$$

Ён девор қиялик коэффиценти

$$m = \operatorname{ctg} \theta = \frac{1}{2\alpha} \beta \quad (7.76)$$

Ҳўлланганлик периметри

$$\chi = 2 \int_0^{B/2} \sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{a^2} x^{2(\alpha-1)}} dx \quad (7.77)$$

Парабола шаклидаги кесимларнинг гидравлик ҳисобидаги ҳўлланганлик периметрини аниқлашда параболанинг эгрилик баландлиги — интеграл узунлигини параболанинг иккинчи даражаси учунгина ҳисоблаш мумкин. Юқори даражадаги параболанинг эгрилик баландлигини аниқлаш, яъни ҳўлланганлик периметри ва унинг ҳосилавий бирликлари (солиштирма ҳўлланганлик периметри, гидравлик радиуси) учун тақрибий интеграллаш усулларидадан фойдаланилади.

Услуб муаллифи бу масалани амалий нуқтаи-назардан қабул қилиб, (7.77) формулани Гаусснинг тақрибий усулидан фойдаланиб ечишни таклиф этган.

Гаусс формуласининг кўриниши қуйидагича:

$$\int_a^b f(x) dx = (b-a) [A_1 f(x_1) + A_2 f(x_2) + \dots + A_n f(x_n)], \quad (7.78)$$

бунда $x_i = a + (b-a)x_i$

(7.77) формулани Гаусс формуласини қўллаб қулай кўринишга келтирилган: $b = \frac{b}{2}$; $B = \sqrt{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \beta \sqrt{\omega}$ учун

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\alpha+1}{\alpha}} \beta \sqrt{\omega} \sum_{i=1}^{i=n} A_i \sqrt{1 + \frac{4\alpha^2}{\beta^2} x_i^{2(\alpha-1)}}, \quad (7.79)$$

бунда A_i ва x_i — $n = 8$ қиймат учун Гаусс формуласининг саккизта ординатасининг абцисса ва коэффициентлари:

$A_1 = A_8 = 0,05061427$	$x_1 = 0,1985507$	$x_8 = 0,59171732$
$A_2 = A_7 = 0,11119052$	$x_2 = 0,101666676$	$x_6 = 0,76276621$
$A_3 = A_6 = 0,15685332$	$x_3 = 0,23723379$	$x_5 = 0,899833324$
$A_4 = A_5 = 0,18134189$	$x_4 = 0,40828268$	$x_4 = 0,98014493$

Ўлланганлик периметри

$$\bar{x} = \frac{\alpha+1}{\alpha} \beta \left[\sum_{i=1}^{i=8} A_i \sqrt{1 + \frac{4\alpha^2}{\beta^2} x_i^{2(\alpha-1)}} \right] = f(\beta, \alpha) \quad (7.80)$$

(7.59' ва 7.75) формулаларга асосан ўлчов бирликсиз катталиклар аниқланади:

$$\begin{cases} \frac{h}{R_0} = 2 \sqrt{\frac{\bar{x}}{\omega_{h=1}^4}} = f_1(\beta, \alpha) \\ \frac{B}{R_0} = 2 \sqrt{\frac{\bar{x}}{\omega_{B=1}^4}} = f_2(\beta, \alpha) \\ \frac{a^{\frac{1}{\alpha-1}}}{R_0} = 2 \sqrt{\frac{\bar{x}}{\omega_{a=1}^4}} = f_3(\beta, \alpha) \end{cases} \quad (7.81)$$

Бу формулалар асосида Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси В.Н.Романовский номидаги математика институти ҳисоблаш марказида α ва β катталикларнинг турли қийматлари учун $\bar{x}$; $\frac{h}{R_0}$;

$\frac{B}{R_0}$; $\frac{a^{\alpha-1}}{R_0}$ функциялар ҳисобланиб, 7.10-жадвал учун $\bar{\chi} = f(\beta, \alpha)$ ва 11-график $\bar{\chi} = f(\beta, \alpha)$; $\frac{h}{R_0} = f_1(\beta, \alpha)$; $\frac{B}{R_0} = f_2(\beta, \alpha)$; $\frac{a^{\alpha-1}}{R_0} = f_3(\beta, \alpha)$ функциялар учун тузилган. Бу катталиклар парабола шаклидаги кесимли каналлар учун асосий катталиклардир

7.10-жадвал

Парабола қўрнинишидаги каналларнинг ҳисобига доир

β	$\bar{\chi}$	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	β	$\bar{\chi}$	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$
2,00	8,000	2,594	5,187	8,00	17,00	1,425	11,40
20	8,036	2,474	5,444	20	17,38	1,411	11,57
40	8,133	2,373	5,694	40	17,75	1,398	11,74
60	8,277	2,285	5,940	60	18,13	1,385	11,92
80	8,457	2,207	6,181	80	18,51	1,373	12,08
3,00	8,667	2,139	6,417	9,00	18,89	1,361	12,25
20	8,900	2,078	6,650	20	19,27	1,350	12,42
40	9,153	2,023	6,878	40	19,65	1,339	12,58
60	9,422	1,973	7,103	60	20,03	1,328	12,75
80	9,705	1,928	7,325	80	20,42	1,317	12,91
4,00	10,000	1,886	7,544	10,00	20,80	1,307	13,07
20	10,30	1,847	7,559	20	21,18	1,297	13,23
40	10,62	1,812	7,971	40	21,57	1,288	13,39
60	10,94	1,778	8,181	60	21,95	1,278	13,55
80	11,27	1,747	8,388	80	22,34	1,269	13,71
5,00	11,00	1,718	8,592	11,00	22,73	1,260	13,86
20	11,60	1,700	8,794	20	23,11	1,251	14,02
40	12,28	1,665	8,993	40	23,50	1,243	14,17
60	12,63	1,641	9,190	60	23,89	1,235	14,32
6,00	12,98	1,618	9,585	12,00	24,88	1,222	14,63
20	13,69	1,575	9,768	20	25,05	1,211	14,78
40	14,05	1,556	9,956	40	25,45	1,204	14,93
60	14,41	1,537	10,14	60	25,83	1,196	15,07
80	14,78	1,519	10,33	80	26,23	1,189	15,22
7,00	15,14	1,501	10,51	13,00	26,62	1,182	15,37
20	15,51	1,485	10,69	20	27,01	1,175	15,52
40	15,88	1,469	10,87	60	27,40	1,169	15,65
60	16,25	1,454	11,05	60	27,79	1,162	15,81
80	16,63	1,439	11,23	80	28,18	1,156	15,95

β	$\bar{x}$	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{1}{\frac{\alpha\alpha-1}{R_0}}$	β	$\bar{x}$	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{1}{\frac{\alpha\alpha-1}{R_0}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,056	6,560	2,161	4,442	2,284	8,00	12,98	1,193	9,546	19,09
20	6,573	2,090	4,597	2,529	20	13,26	1,182	9,690	19,86
40	6,629	2,003	4,807	2,884	40	13,54	1,171	9,833	20,65
60	6,720	1,928	5,012	3,258	60	13,82	1,160	9,974	21,44
80	6,838	1,861	5,212	3,649	80	14,10	1,149	10,11	22,25
3,00	6,979	1,803	5,409	4,057	9,00	14,38	1,139	10,25	23,07
20	7,138	1,751	5,602	4,482	20	14,66	1,130	10,39	23,90
40	7,312	1,703	5,792	4,923	40	14,94	1,120	10,58	24,75
60	7,499	1,661	5,979	5,381	60	15,22	1,111	10,67	25,60
80	7,697	1,622	6,163	5,854	80	15,51	1,102	10,80	26,47
4,00	7,905	1,586	6,344	6,344	10,00	15,79	1,094	10,94	27,34
20	8,120	1,553	6,522	6,848	20	16,08	1,085	11,07	28,23
40	8,343	1,522	6,698	7,368	40	16,36	1,077	11,20	29,13
60	8,572	1,494	6,872	7,903	60	16,65	1,069	11,33	30,04
80	8,806	1,467	7,044	8,452	80	16,93	1,062	11,47	30,96
5,00	9,046	1,443	7,213	9,016	11,00	17,22	1,054	11,60	31,89
20	9,290	1,419	7,380	9,594	20	17,51	1,047	11,72	32,83
40	9,537	1,397	7,546	10,19	40	17,80	1,040	11,85	33,78
60	9,788	1,377	7,709	10,79	60	18,08	1,033	11,98	34,74
80	10,04	1,357	7,871	11,41	80	18,37	1,026	12,11	35,72
6,00	10,30	1,338	8,031	12,05	12,00	18,66	1,019	12,23	36,70
20	10,56	1,321	8,189	12,69	20	18,95	1,013	12,36	37,69
40	10,82	1,304	8,346	13,35	40	19,24	1,007	12,48	38,70
60	11,09	1,288	8,501	14,03	60	19,53	1,001	12,61	39,71
80	11,35	1,273	8,654	14,71	80	19,82	0,995	12,73	40,74
7,00	11,62	1,258	8,806	15,41	13,00	20,11	0,999	12,85	41,77
20	11,89	1,244	8,957	16,12	20	20,40	0,983	12,97	42,81

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	12,16	1,231	9,106	16,85	40	20,69	0,977	13,10	43,87
60	12,44	1,218	9,254	17,58	60	20,98	0,972	13,22	44,93
80	12,71	1,205	9,400	18,33	80	21,28	0,966	13,34	46,01
2,112	6,381	2,003	4,231	2,174	8,00	11,82	1,112	8,894	8,894
20	6,385	1,963	4,319	2,265	20	12,06	1,101	9,027	9,140
40	6,422	1,881	4,514	2,472	40	12,30	1,090	9,160	9,386
60	6,489	1,809	4,704	2,682	60	12,54	1,080	9,291	9,633
80	6,581	1,747	4,891	2,893	80	12,79	1,071	9,421	9,880
3,00	6,694	1,691	5,073	3,107	9,00	13,03	1,061	9,550	10,13
20	6,823	1,641	5,252	3,322	20	13,28	1,052	9,678	10,38
40	6,965	1,596	5,428	3,538	40	13,52	1,043	9,805	10,63
60	7,120	1,556	5,600	3,757	60	13,77	1,034	9,931	10,87
80	7,285	1,518	5,770	3,977	80	14,02	1,026	10,06	11,13
4,00	7,458	1,484	5,938	4,198	10,00	14,27	1,018	10,18	11,38
20	7,639	1,453	6,102	4,422	20	14,52	1,010	10,30	11,64
40	7,827	1,424	6,265	4,646	40	14,77	1,003	10,43	11,89
60	8,020	1,397	6,425	4,872	60	15,02	0,995	10,55	12,14
80	8,219	1,372	6,584	5,100	80	15,27	0,988	10,67	12,40
5,00	8,422	1,348	6,740	5,328	11,00	15,52	0,981	10,79	12,65
20	8,630	1,326	6,894	5,559	20	15,77	0,974	10,91	12,91
40	8,841	1,305	7,047	5,790	40	16,02	0,967	11,03	13,17
60	9,056	1,285	7,198	6,022	60	16,28	0,961	11,15	13,42
80	9,274	1,267	7,347	6,256	80	16,53	0,955	11,26	13,68
6,00	9,495	1,249	7,495	6,491	12,00	16,78	0,948	11,38	13,94
20	9,718	1,232	7,641	6,727	20	17,04	0,942	11,50	14,20
40	9,944	1,216	7,785	6,964	40	17,29	0,937	11,61	14,46
60	10,17	1,201	7,929	7,202	60	17,55	0,931	11,73	14,72
80	10,40	1,187	8,070	7,441	80	17,80	0,925	11,84	14,98
7,00	10,63	1,173	8,211	7,680	13,00	18,06	0,920	11,96	15,24
20	10,87	1,160	8,350	7,921	20	18,31	0,914	12,07	15,50

40	11,10	1,147	8,488	8,163	40	18,57	0,909	12,18	15,76
60	11,34	1,135	8,624	8,406	60	18,83	0,904	12,29	16,03
80	11,58	1,123	8,760	8,650	80	19,08	0,899	12,40	16,29
2,147	6,390	1,924	4,130	2,112	8,00	11,32	1,071	8,566	6,799
20	6,392	1,901	4,182	2,159	20	11,54	1,060	8,693	6,957
40	6,419	1,821	4,370	2,322	40	11,77	1,050	8,820	7,115
60	6,475	1,751	4,554	2,485	60	11,99	1,040	8,945	7,273
80	6,555	1,690	4,733	2,647	80	12,22	1,031	9,070	7,431
3,00	6,654	1,636	4,908	2,809	9,00	12,44	1,021	9,193	7,589
20	6,768	1,588	5,080	2,971	20	12,67	1,013	9,316	7,747
40	6,896	1,544	5,249	3,132	40	12,90	1,004	9,437	7,904
60	7,034	1,504	5,414	3,293	60	13,12	0,996	9,558	8,061
80	7,182	1,468	5,577	3,454	80	13,35	0,988	9,678	8,219
4,00	7,339	1,434	5,737	3,614	10,00	13,58	0,980	9,797	8,377
20	7,502	1,404	5,895	3,775	20	13,81	0,972	9,916	8,534
40	7,672	1,375	6,051	3,935	40	14,05	0,965	10,03	8,691
60	7,848	1,349	6,204	4,095	60	14,28	0,968	10,15	8,846
80	8,028	1,324	6,356	4,255	80	14,51	0,951	10,27	9,005
5,00	8,213	1,301	6,506	4,415	11,00	14,74	0,944	10,38	9,162
20	8,402	1,279	6,653	4,574	20	14,98	0,937	10,50	9,319
40	8,595	1,259	6,799	4,734	40	15,21	0,931	10,61	9,476
60	8,791	1,240	6,944	4,893	60	15,45	0,924	10,72	9,637
80	8,980	1,222	7,086	5,053	80	15,68	0,918	10,84	9,790
6,00	9,192	1,205	7,227	5,212	12,00	15,92	0,912	10,95	9,946
20	9,396	1,188	7,367	5,371	20	16,15	0,906	11,06	10,10
40	9,603	1,173	7,505	5,530	40	16,39	0,901	11,17	10,26
60	9,812	1,158	7,642	5,689	60	16,63	0,895	11,28	10,42
80	10,02	1,144	7,778	5,848	80	16,86	0,890	11,39	10,57
7,00	10,24	1,130	7,912	6,007	13,00	17,10	0,884	11,50	10,73
20	10,45	1,117	8,045	6,065	20	17,34	0,879	11,61	10,88
40	10,67	1,105	8,177	6,324	40	17,58	0,874	11,71	11,04
60	10,88	1,093	8,308	6,482	60	17,81	0,869	11,82	11,20
80	11,10	1,082	8,437	6,641	80	18,05	0,864	11,93	11,35

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,165	6,446	1,881	4,072	2,078	8,00	11,08	1,046	8,371	5,919
20	6,446	1,865	4,102	2,100	20	11,29	1,036	8,494	6,044
40	6,469	1,786	4,286	2,243	40	11,51	1,026	8,617	6,168
60	6,520	1,718	4,466	2,384	60	11,72	1,016	8,739	6,292
80	6,593	1,657	4,641	2,524	80	11,93	1,007	8,860	6,416
3,00	6,685	1,604	4,812	2,663	9,00	12,14	0,998	8,980	6,540
20	6,791	1,556	4,980	2,800	20	12,36	0,989	9,099	6,663
40	6,910	1,513	5,144	2,937	40	12,58	0,981	9,218	6,786
60	7,040	1,474	5,305	3,073	60	12,79	0,972	9,335	6,909
80	7,178	1,438	5,464	3,208	80	13,01	0,964	9,452	7,031
4,00	7,325	1,405	5,620	3,342	10,00	13,23	0,967	9,568	7,164
20	7,478	1,374	5,774	3,475	20	13,45	0,949	9,683	7,275
40	7,635	1,347	5,925	3,608	40	13,67	0,942	9,797	7,397
60	7,803	1,321	6,075	3,741	60	13,89	0,935	9,911	7,519
80	7,973	1,296	6,222	3,818	80	14,11	0,929	10,02	7,640
5,00	8,147	1,274	6,368	4,003	11,00	14,33	0,921	10,14	7,761
20	8,325	1,252	6,511	4,134	20	14,55	0,915	10,25	7,882
40	8,507	1,232	6,653	4,264	40	14,77	0,909	10,36	8,002
60	8,691	1,213	6,794	4,394	60	15,00	0,902	10,47	8,122
80	8,879	1,195	6,982	4,523	80	15,22	0,896	10,58	8,242
6,00	9,09	1,175	7,070	4,652	12,00	15,45	0,890	10,69	8,362
20	9,262	1,162	7,205	4,780	20	15,67	0,885	10,79	8,482
40	9,458	1,147	7,347	4,910	40	15,90	0,879	10,90	8,601
60	9,655	1,132	7,473	5,036	60	16,12	0,874	11,01	8,720
80	9,854	1,118	7,605	5,153	80	16,35	0,868	11,11	8,839
7,00	10,06	1,105	7,735	5,290	13,00	16,57	0,863	11,22	8,958
20	10,26	1,092	7,864	5,416	20	16,80	0,858	11,33	9,077
40	10,46	1,080	7,993	5,543	40	17,03	0,853	11,43	9,193
60	10,67	1,068	8,120	5,668	60	17,25	0,848	11,53	9,313
80	10,88	1,057	8,246	5,794	80	17,48	0,843	11,64	9,431
2,176	6,513	1,851	4,027	2,048	8,00	10,97	1,030	8,242	5,438

20	6,513	1,841	4,050	2,064	20	11,17	1,020	8,364	5,545
40	6,533	1,763	4,232	2,194	40	11,37	1,010	8,484	5,652
60	6,581	1,696	4,408	2,323	60	11,55	1,000	8,604	5,759
80	6,651	1,636	4,581	2,450	80	11,78	0,991	8,722	5,865
3,00	6,738	1,583	4,749	2,575	9,00	11,99	0,982	8,840	5,971
20	6,839	1,536	4,914	2,699	20	12,19	0,974	8,957	6,077
40	6,953	1,493	5,076	2,822	40	12,40	0,965	9,073	6,182
60	7,077	1,454	5,250	2,944	60	12,61	0,957	9,188	6,285
80	7,211	1,419	5,391	3,065	80	12,82	0,949	9,303	6,392
4,00	7,351	1,386	5,544	3,184	10,00	13,03	0,942	9,416	6,496
20	7,498	1,355	5,695	3,303	20	13,24	0,934	9,529	6,600
40	7,652	1,328	5,844	3,421	40	13,45	0,927	9,641	6,703
60	7,810	1,302	5,991	3,538	60	13,67	0,920	9,752	6,806
80	7,973	1,278	6,135	3,656	80	13,88	0,913	9,863	6,910
5,00	8,140	1,256	6,278	3,770	11,00	14,09	0,907	9,973	7,012
20	8,311	1,234	6,419	3,885	20	14,31	0,900	10,08	7,115
40	8,486	1,214	6,558	4,000	40	14,52	0,894	10,19	7,217
60	8,664	1,196	6,696	4,113	60	14,74	0,888	10,30	7,319
80	8,844	1,178	6,832	4,227	80	14,95	0,882	10,41	7,420
6,00	9,027	1,151	6,967	4,339	12,00	15,17	0,876	10,51	7,522
20	9,212	1,145	7,100	4,451	20	15,39	0,870	10,62	7,623
40	9,400	1,130	7,232	4,563	40	15,60	0,865	10,72	7,723
60	9,560	1,115	7,362	4,674	60	15,82	0,859	10,83	7,824
80	9,781	1,102	7,491	4,784	80	16,04	0,854	10,93	7,924
7,00	9,975	1,088	7,619	4,894	13,00	16,27	0,849	11,04	8,024
20	10,17	1,076	7,746	5,004	20	16,48	0,844	11,14	8,124
40	10,37	1,064	7,842	5,113	40	16,69	0,839	11,24	8,224
60	10,56	1,052	7,996	5,222	60	16,91	0,834	11,35	8,323
80	10,76	1,041	8,120	5,330	80	17,13	0,829	11,45	8,422
2,181	6,580	1,833	3,998	2,028	8,00	10,91	1,019	8,152	5,136
20	6,580	1,824	4,013	2,039	20	11,10	1,009	8,272	5,233
40	6,599	1,747	4,193	2,161	40	11,30	0,999	8,391	5,329
60	6,645	1,680	4,368	2,282	60	11,50	0,989	8,509	5,425

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80	6,712	1,621	4,539	2,400	80	11,70	0,980	8,626	5,521
3,00	6,797	1,569	4,706	2,517	9,00	11,90	0,971	8,742	5,616
20	6,896	1,522	4,829	2,633	20	12,10	0,963	8,857	5,711
40	7,006	1,479	5,029	2,747	40	12,30	0,954	8,971	5,805
60	7,127	1,440	5,186	2,860	60	12,51	0,946	9,085	5,899
80	7,257	1,405	5,340	2,971	80	12,71	0,939	9,197	5,993
4,00	7,393	1,373	5,491	3,082	10,00	12,92	0,931	9,309	6,087
20	7,537	1,342	5,640	3,191	20	13,12	0,924	9,421	6,180
40	7,686	1,315	5,787	3,300	40	13,33	0,916	9,531	6,273
60	7,840	1,290	5,932	3,408	60	13,53	0,910	9,641	6,365
80	7,999	1,266	6,075	3,514	80	13,74	0,903	9,750	6,457
5,00	8,161	1,243	6,216	3,621	11,00	13,95	0,896	9,858	6,549
20	8,328	1,222	6,355	3,726	20	13,16	0,890	9,966	6,640
40	8,497	1,202	6,492	3,830	40	14,37	0,884	10,07	6,731
60	8,670	1,184	6,628	3,939	60	14,58	0,878	10,18	6,822
80	8,845	1,166	6,762	4,038	80	14,79	0,872	10,28	6,913
6,00	9,023	1,149	6,895	4,140	12,00	15,00	0,866	10,39	7,003
20	9,204	1,133	7,026	4,242	20	15,21	0,860	10,49	7,093
40	9,386	1,118	7,156	4,343	40	15,42	0,855	10,60	7,183
60	9,571	1,104	7,285	4,444	60	15,63	0,849	10,70	7,272
80	9,757	1,090	7,412	4,545	80	15,85	0,844	10,80	7,361
7,00	9,945	1,077	7,538	4,644	13,00	16,06	0,836	10,91	7,450
20	10,13	1,064	7,653	4,744	20	16,27	0,834	11,01	7,539
40	10,33	1,052	7,787	4,842	40	16,48	0,829	11,11	7,626
60	10,52	1,041	7,910	4,941	60	16,70	0,824	11,21	7,715
80	10,71	1,030	8,032	5,038	80	16,91	0,820	11,31	7,803
2,183	6,643	1,819	3,971	2,010	8,00	10,89	1,011	8,086	4,929
20	6,643	1,812	3,987	2,021	20	11,08	1,001	8,205	5,019
40	6,661	1,736	4,165	2,138	40	11,27	0,991	8,322	5,108
60	6,706	1,669	4,339	2,252	60	11,47	0,981	8,439	5,197
80	6,772	1,610	4,508	2,365	80	11,66	0,972	8,554	5,285

3,00	6,856	1,558	4,674	2,476	9,00	11,86	0,963	8,669	5,374
20	6,953	1,511	4,836	2,586	20	12,06	0,955	8,783	5,461
40	7,061	1,469	5,094	2,694	40	12,25	0,946	8,896	5,549
60	7,180	1,430	5,150	2,800	60	12,45	0,938	9,008	5,635
80	7,307	1,395	5,302	2,906	80	12,65	0,931	9,120	5,722
4,00	7,442	1,363	5,452	3,010	10,00	12,85	0,923	9,231	5,803
20	7,582	1,333	5,600	3,113	20	13,05	0,916	9,341	5,894
40	7,729	1,306	5,746	3,215	40	13,26	0,909	9,450	5,980
60	7,880	1,280	5,889	3,317	60	13,46	0,902	9,558	6,066
80	8,035	1,256	6,030	3,417	80	13,66	0,895	9,666	6,150
5,00	8,195	1,234	6,170	3,516	11,00	13,86	0,888	9,773	6,234
20	8,358	1,213	6,308	3,615	20	14,07	0,882	9,880	6,318
40	8,524	1,193	6,444	3,713	40	14,27	0,876	9,986	6,402
60	8,693	1,175	6,578	3,810	60	14,48	0,870	10,09	6,486
80	8,865	1,157	6,711	3,907	80	14,69	0,864	10,20	6,569
6,00	9,040	1,140	6,842	4,003	12,00	14,89	0,858	10,30	6,652
20	9,217	1,125	6,972	4,098	20	15,10	0,853	10,40	6,735
40	9,395	1,110	7,101	4,192	40	15,31	0,847	10,51	6,817
60	9,576	1,095	7,228	4,286	60	15,51	0,842	10,61	6,899
80	9,758	1,081	7,354	4,380	80	15,72	0,837	10,71	6,981
7,00	9,943	1,068	7,479	4,472	13,00	15,93	0,832	10,81	7,062
20	10,13	1,056	7,603	4,565	20	16,14	0,827	10,91	7,144
40	10,32	1,044	7,725	4,656	40	16,35	0,822	11,01	7,225
60	10,50	1,032	7,847	4,748	60	16,56	0,817	11,11	7,306
80	10,69	1,021	7,967	4,838	80	15,77	0,812	11,21	7,386
2,182	6,700	1,811	3,951	1,997	8,00	10,88	1,005	8,036	4,778
20	6,700	1,803	3,966	2,007	20	11,07	0,994	8,154	4,863
40	6,719	1,727	4,144	2,102	40	11,26	0,985	8,270	4,947
60	6,764	1,660	4,317	2,230	60	11,45	0,975	8,386	5,031
80	6,830	1,602	4,485	2,234	80	11,55	0,966	8,500	5,115
3,00	6,912	1,550	4,650	2,446	9,00	11,84	0,957	8,614	5,198
20	7,008	1,503	4,810	2,551	20	12,03	0,949	8,727	5,280
40	7,116	1,461	4,968	2,654	40	12,23	0,940	8,839	5,363

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60	7,233	1,423	5,122	2,756	60	12,43	0,932	8,950	5,441
80	7,359	1,388	5,274	2,857	80	12,62	0,925	9,061	5,526
4,00	7,491	1,356	5,423	2,957	10,00	12,82	0,917	9,105	5,607
20	7,631	1,326	5,570	3,056	20	13,02	0,910	9,279	5,988
40	7,631	1,299	5,714	3,153	40	13,22	0,903	9,388	5,768
60	7,922	1,273	5,857	3,250	60	13,41	0,896	9,495	5,848
80	8,787	1,249	5,997	3,345	80	13,61	0,889	9,602	5,928
5,00	8,235	1,227	6,135	3,440	11,00	13,81	0,883	9,708	6,007
20	8,395	1,206	6,272	3,534	20	14,02	0,876	9,814	6,086
40	8,559	1,286	6,407	3,627	40	14,22	0,870	9,919	6,165
60	8,726	1,168	6,540	3,719	60	14,42	0,864	10,02	6,243
80	8,895	1,150	6,672	3,811	80	14,62	0,858	10,13	6,321
6,00	9,067	1,134	6,802	3,902	12,00	14,82	0,852	10,23	6,399
20	9,241	1,118	6,931	3,992	20	15,03	0,847	10,33	6,476
40	9,417	1,103	7,059	4,082	40	15,23	0,841	10,43	6,554
60	9,595	1,089	7,185	4,171	60	15,44	0,836	10,54	6,631
80	9,775	1,075	7,310	4,259	80	15,64	0,831	10,64	6,707
7,00	9,956	1,062	7,434	4,347	13,00	15,85	0,826	10,74	6,784
20	10,14	1,050	7,557	4,434	20	16,05	0,821	10,84	6,860
40	10,32	1,038	7,678	4,521	40	16,26	0,816	10,94	6,935
60	10,51	1,026	7,798	4,607	60	16,46	0,811	11,03	7,011
80	10,70	1,015	7,918	4,693	80	16,67	0,807	11,13	7,086
2,177	6,754	1,805	3,930	1,986	8,00	10,89	0,996	7,997	4,664
20	6,754	1,796	3,950	1,996	20	11,08	0,989	8,113	4,745
40	6,773	1,720	4,127	2,106	40	11,27	0,980	8,229	4,826
60	6,819	1,654	4,800	2,213	60	11,46	0,970	8,344	4,906
80	6,884	1,595	4,467	2,319	80	11,65	0,961	8,458	4,986
3,00	6,966	1,544	4,631	2,422	9,00	11,84	0,952	8,571	5,063
20	7,062	1,497	4,791	2,524	20	12,03	0,944	8,683	5,144
40	7,169	1,455	4,948	2,624	40	12,22	0,936	8,794	5,222
60	7,285	1,417	5,101	2,723	60	12,42	0,928	8,904	5,299

80	7,410	1,382	5,252	2,820	80	12,61	0,920	9,014	5,378
4,00	7,541	1,350	5,401	2,916	10,00	12,80	0,912	9,123	5,455
20	7,679	1,321	5,546	3,012	20	13,00	0,905	9,231	5,532
40	7,822	1,293	5,690	3,106	40	13,20	0,898	9,339	5,608
60	7,970	1,268	5,832	3,199	60	13,39	0,891	9,446	5,684
80	8,121	1,244	5,971	3,290	80	13,59	0,884	9,552	5,760
5,00	8,277	1,222	6,109	3,382	11,00	13,79	0,878	9,657	5,836
20	8,436	1,201	6,244	3,472	20	13,99	0,872	9,762	5,911
40	8,598	1,181	6,379	3,561	40	14,18	0,865	9,866	5,986
60	8,763	1,163	6,511	3,650	60	14,38	0,859	9,970	6,060
80	8,930	1,145	6,642	3,738	80	14,58	0,854	10,07	6,134
6,00	9,100	1,129	6,771	3,825	12,00	14,78	0,848	10,18	6,208
20	9,272	1,113	6,899	3,912	20	14,99	0,842	10,28	6,282
40	9,446	1,098	7,026	3,998	40	15,19	0,837	10,38	6,355
60	9,621	1,084	7,152	4,083	60	15,39	0,832	10,48	6,428
80	9,799	1,070	7,276	4,168	80	15,59	0,826	10,58	6,501
7,00	9,978	1,057	7,399	4,252	13,00	15,79	0,821	10,68	6,574
20	10,16	1,045	7,520	4,335	20	16,00	0,816	10,78	6,646
40	10,34	1,033	7,641	4,418	40	16,20	0,812	10,88	6,718
60	10,52	1,021	7,761	4,501	60	16,40	0,807	10,97	6,789
80	10,71	1,010	7,879	4,583	80	16,61	0,802	11,07	6,861
2,165	6,853	1,799	3,895	1,962	8,00	10,93	0,992	7,940	4,503
20	6,853	1,785	3,927	1,981	20	11,12	0,982	8,055	4,503
40	6,874	1,710	4,104	2,086	40	11,30	0,973	8,169	4,654
60	6,920	1,644	4,275	2,189	60	11,49	0,963	8,283	4,729
80	6,896	1,586	4,441	2,210	80	11,67	0,954	8,396	4,803
3,00	7,067	1,535	4,604	2,388	9,00	11,86	0,945	8,507	4,877
20	7,162	1,488	4,763	2,485	20	12,05	0,937	8,618	4,950
40	7,268	1,447	4,918	2,581	40	12,24	0,929	8,728	5,023
60	7,383	1,409	5,071	2,675	60	12,43	0,921	8,838	5,096
80	7,506	1,374	5,221	2,767	80	12,62	0,913	8,946	5,168
4,00	7,636	1,342	5,368	2,858	10,00	12,81	0,905	9,054	5,240
20	7,772	1,313	5,513	2,949	20	13,00	0,898	9,161	5,312

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	7,912	1,285	5,655	3,038	40	13,19	0,891	9,268	5,383
60	8,058	1,260	5,795	3,126	60	13,39	0,884	9,873	5,454
80	8,207	1,236	5,933	3,210	80	13,58	0,878	9,478	5,524
5,00	8,360	1,214	6,070	3,299	11,00	13,77	0,871	9,583	5,595
20	8,517	1,193	6,204	3,384	20	13,97	0,865	9,686	5,664
40	8,676	1,174	6,337	3,468	40	14,16	0,859	9,789	5,734
60	8,838	1,155	6,468	3,552	60	14,36	0,853	9,892	5,803
80	9,003	1,138	6,598	3,634	80	14,55	0,847	9,994	5,872
6,00	9,170	1,121	6,726	3,716	12,00	14,75	0,841	10,09	5,940
20	9,339	1,105	6,853	3,798	20	14,95	0,836	10,20	6,009
40	9,510	1,090	6,979	3,879	40	15,15	0,830	10,30	6,077
60	9,683	1,076	7,103	3,959	60	15,34	0,825	10,40	6,144
80	9,857	1,063	7,226	4,038	80	15,54	0,820	10,49	6,212
7,00	10,03	1,050	7,347	4,117	13,00	15,74	0,815	10,59	6,279
20	10,21	1,037	7,468	4,195	20	15,94	0,810	10,69	6,346
40	10,39	1,025	7,588	4,273	40	16,14	0,805	10,79	6,412
60	10,57	1,014	7,706	4,350	60	16,34	0,800	10,89	6,479
80	10,75	1,003	7,823	4,427	80	16,54	0,796	10,98	6,545
2,164	6,942	1,793	3,880	1,952	8,00	10,98	0,988	7,900	4,395
20	6,943	1,778	3,912	1,970	20	11,16	0,977	8,015	4,467
40	6,964	1,703	4,088	2,073	40	11,35	0,968	8,128	4,539
60	7,009	1,638	4,258	2,172	60	11,53	0,958	8,241	4,610
80	7,075	1,580	4,424	2,270	80	11,71	0,949	8,353	4,681
3,00	7,156	1,529	4,586	2,365	9,00	11,90	0,940	8,464	4,751
20	7,250	1,482	4,744	2,459	20	12,08	0,932	8,574	4,821
40	7,355	1,441	4,899	2,551	40	12,27	0,924	8,683	4,890
60	7,469	1,403	5,050	2,642	60	12,46	0,916	8,792	4,987
80	7,590	1,368	5,199	2,731	80	12,65	0,908	8,900	5,028
4,00	7,719	1,336	5,345	2,819	10,00	12,83	0,901	9,007	5,097
20	7,853	1,307	5,489	2,906	20	13,02	0,893	9,113	5,165
40	7,992	1,280	5,631	2,991	40	13,21	0,886	9,218	5,232

60	8,136	1,254	5,770	3,076	60	13,40	0,880	9,323	5,300
80	8,284	1,231	5,908	3,158	80	13,60	0,873	9,428	5,367
5,00	8,436	1,209	6,043	3,248	11,00	13,79	0,866	9,531	5,433
20	8,591	1,188	6,177	3,324	20	13,98	0,860	9,660	5,500
40	8,749	1,168	6,309	3,405	40	14,17	0,854	9,736	5,566
60	8,909	1,150	6,439	3,485	60	14,36	0,848	9,838	5,631
80	9,072	1,132	6,568	3,564	80	14,56	0,842	9,939	5,697
6,00	9,237	1,116	6,695	3,643	12,00	14,75	0,837	10,04	5,762
20	9,404	1,100	6,821	3,721	20	14,95	0,831	10,14	5,826
40	9,574	1,085	6,946	3,798	40	15,14	0,826	10,24	5,891
60	9,745	1,071	7,069	3,865	60	15,34	0,820	10,34	5,955
80	9,917	1,058	7,191	3,951	80	15,53	0,815	10,44	6,019
7,00	10,09	1,045	7,312	4,026	13,00	15,73	0,810	10,53	6,082
20	10,27	1,032	7,432	4,101	20	15,93	0,805	10,63	6,146
40	10,44	1,020	7,551	4,175	40	16,12	0,801	10,73	6,209
60	10,62	1,009	7,668	4,249	60	16,32	0,796	10,82	6,272
80	10,80	0,998	7,785	4,322	80	16,52	0,791	10,92	6,334
2,163	7,014	1,787	3,866	1,943	8,00	11,03	0,984	7,872	4,317
20	7,018	1,773	3,901	1,963	20	11,21	0,974	7,986	4,387
40	7,038	1,698	4,076	2,063	40	11,39	0,964	8,099	4,456
60	7,083	1,633	4,246	2,160	60	11,57	0,955	8,211	4,525
80	7,148	1,575	4,411	2,256	80	11,76	0,946	8,322	4,593
3,00	7,228	1,524	4,572	2,349	9,00	11,94	0,937	8,432	4,661
20	7,321	1,478	4,730	2,440	20	12,13	0,928	8,542	4,728
40	7,425	1,436	4,884	2,530	40	12,31	0,920	8,651	4,795
60	7,539	1,399	5,035	2,618	60	12,50	0,912	8,759	4,862
80	7,660	1,364	5,183	2,705	80	12,68	0,905	8,866	4,928
4,00	7,787	1,332	5,329	2,791	10,00	12,87	0,897	8,972	4,994
20	7,921	1,303	5,472	2,875	20	13,06	0,890	9,078	5,060
40	8,059	1,276	5,613	2,958	40	13,25	0,883	9,183	5,125
60	8,203	1,250	5,752	3,040	60	13,44	0,876	9,287	5,190
80	8,350	1,227	5,889	3,125	80	13,63	0,870	9,391	5,254
5,00	8,501	1,205	6,024	3,202	11,00	13,82	0,863	9,494	5,318

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	8,655	1,184	6,157	3,281	20	14,01	0,857	9,596	5,382
40	8,812	1,164	6,288	3,359	40	14,20	0,851	9,698	5,445
60	8,971	1,146	6,418	3,437	60	14,39	0,845	9,799	5,509
80	9,133	1,129	6,546	3,514	80	14,58	0,839	9,899	5,571
6,00	9,298	1,112	6,673	3,590	12,00	14,77	0,833	9,999	5,634
20	9,464	1,096	6,798	3,665	20	14,97	0,828	10,10	5,696
40	9,632	1,082	6,922	3,740	40	15,16	0,822	10,20	5,758
60	9,802	1,067	7,045	3,814	60	15,35	0,817	10,30	5,820
80	9,974	1,054	7,166	3,888	80	15,55	0,812	10,39	5,881
7,00	10,15	1,041	7,287	3,961	13,00	15,74	0,807	10,49	5,942
20	10,32	1,029	7,406	4,033	20	15,93	0,802	10,59	6,003
40	10,50	1,017	7,524	4,105	40	16,13	0,797	10,68	6,064
60	10,67	1,005	7,641	4,176	60	16,32	0,793	10,78	6,124
80	10,85	0,994	7,757	4,247	80	16,52	0,788	10,87	6,184
2,163	7,072	1,784	3,859	1,938	8,00	11,08	0,981	7,850	4,259
20	7,077	1,769	3,892	1,957	20	11,26	0,971	7,964	4,327
40	7,097	1,695	4,067	2,055	40	11,44	0,961	8,076	4,394
60	7,141	1,629	4,236	2,151	60	11,62	0,952	8,188	4,461
80	7,205	1,572	4,401	2,245	80	11,80	0,943	8,299	4,527
3,00	7,285	1,521	4,562	2,336	9,00	11,90	0,934	8,409	4,593
20	7,378	1,475	4,719	2,426	20	12,17	0,926	8,518	4,659
40	7,482	1,433	4,873	2,514	40	12,36	0,918	8,626	4,724
60	7,595	1,395	5,023	2,600	60	12,54	0,910	8,734	4,787
80	7,716	1,361	5,171	2,685	80	12,73	0,902	8,840	4,853
4,00	7,843	1,329	5,316	2,769	10,00	12,91	0,895	8,946	4,917
20	7,977	1,300	5,459	2,851	20	13,10	0,887	9,052	4,981
40	8,115	1,273	5,600	2,933	40	13,29	0,880	9,156	5,044
60	8,258	1,247	5,738	3,013	60	13,48	0,874	9,260	5,107
80	8,405	1,224	5,874	3,091	80	13,66	0,867	9,363	5,170
5,00	8,556	1,202	6,009	3,171	11,00	13,85	0,861	9,466	5,232
20	8,710	1,181	6,141	3,248	20	14,04	0,854	9,568	5,294

40	8,867	1,162	6,272	3,325	40	14,23	0,848	9,669	5,356
60	9,026	1,143	6,402	3,401	60	14,42	0,842	9,770	5,417
80	9,188	1,126	6,530	3,476	80	14,61	0,836	9,870	5,478
6,00	9,352	1,109	6,656	3,550	12,00	14,80	0,831	9,969	5,539
20	9,518	1,094	6,781	3,624	20	15,00	0,825	10,07	5,599
40	9,686	1,079	6,904	3,697	40	15,19	0,820	10,17	5,659
60	9,855	1,065	7,027	3,769	60	15,38	0,815	10,26	5,719
80	10,03	1,051	7,148	3,841	80	15,57	0,809	10,36	5,778
7,00	10,20	1,038	7,268	3,912	13,00	15,77	0,804	10,46	5,838
20	10,37	1,026	7,386	3,982	20	15,96	0,800	10,55	5,897
40	10,55	1,014	7,504	4,052	40	16,15	0,795	10,65	5,955
60	10,72	1,003	7,620	4,121	60	16,35	0,790	10,75	6,014
80	10,90	0,992	7,736	4,190	80	16,54	0,786	10,84	6,072
2,162	7,128	1,781	3,851	1,934	8,00	11,13	0,979	7,834	4,214
20	7,122	1,766	3,885	1,952	20	11,31	0,969	7,947	4,280
40	7,142	1,691	4,059	2,049	40	11,49	0,959	8,059	4,346
60	7,186	1,626	4,228	2,144	60	11,67	0,950	8,171	4,411
80	7,250	1,569	4,393	2,236	80	11,85	0,941	8,281	4,476
3,00	7,331	1,518	4,553	2,326	9,00	12,04	0,932	8,391	4,541
20	7,424	1,472	4,710	2,414	20	12,22	0,924	8,500	4,605
40	7,528	1,430	4,863	2,501	40	12,40	0,916	8,608	4,669
60	7,641	1,393	5,014	2,586	60	12,59	0,908	8,715	4,732
80	7,762	1,358	5,161	2,669	80	12,77	0,900	8,821	4,795
4,00	7,890	1,327	5,306	2,751	10,00	12,96	0,893	8,927	4,858
20	8,024	1,297	5,449	2,833	20	13,14	0,885	9,032	4,920
40	8,163	1,270	5,589	2,913	40	13,33	0,878	9,136	4,982
60	8,307	1,245	5,727	2,992	60	13,52	0,872	9,239	5,044
80	8,454	1,221	5,863	3,069	80	13,71	0,865	9,342	5,105
5,00	8,605	1,199	5,997	3,147	11,00	13,90	0,859	9,444	5,166
20	8,759	1,179	6,130	3,223	20	14,08	0,852	9,546	5,226
40	8,916	1,159	6,260	3,298	40	14,27	0,846	9,647	5,286
60	9,076	1,141	6,389	3,373	60	14,46	0,840	9,747	5,346
80	9,238	1,124	6,517	3,446	80	14,65	0,834	9,847	5,406

7.10-жадвалнинг давоми

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6,00	9,402	1,107	6,643	3,519	12,00	14,84	0,829	9,946	5,465
20	9,569	1,092	6,767	3,591	20	15,03	0,823	10,104	5,524
40	9,737	1,077	6,891	3,663	40	15,22	0,818	10,14	5,582
60	9,906	1,063	7,013	3,737	60	15,42	0,813	10,24	5,641
80	10,08	1,049	7,133	3,804	80	15,61	0,808	10,34	5,699
7,00	10,25	1,036	7,253	3,874	13,00	15,80	0,803	10,43	5,757
20	10,42	1,024	7,371	3,943	20	15,99	0,798	10,53	5,814
40	10,60	1,012	7,489	4,011	40	16,18	0,793	10,62	5,872
60	10,78	1,001	7,605	4,079	60	16,38	0,788	10,72	5,929
80	10,95	0,990	7,720	4,147	80	16,57	0,784	10,81	5,985

7.10. КАНАЛЛАРДА СУВ ОҚИМИ ТЕЗЛИГИНИНГ ЧЕГАРАВИЙ ЖОИЗ ҚҲЙМАТЛАРИ

Умуман, каналларнинг гидравлик ҳисобини бажариш жараёнида турли хил усуллардан фойдаланилади. Булар: оқим тезлигининг чегаравий жоиз қийматлари усули, ҳаракатлантирувчи куч усули, тартиб назарияси, морфометрик боғлиқликлар ва умумлаштирилган усуллардир.

Қўпинча, аниқлик нуқтаи назаридан устун бўлганлиги сабабли, оқим тезлигининг чегаравий жоиз қийматлари усулидан кенг фойдаланилади. Бу усулга асосан, каналда оқимнинг ўртача тезлиги шундай катталиққа эга бўлиши керакки, бунда каналнинг иш жараёни ишончли бўлгани ҳолда унда лойқа босиш ва ювилиш жараёнлари рўй бермаслиги керак.

Фараз қилайлик, каналда ҳаракатланаётган оқимнинг ҳаракат тезлиги ножоиз катта тезликка эга, яъни $v > v_{\text{кат.т}}$, бунда, канал қирғоғи ва туби ювила бошлайди. Натижада канал ишдан чиқиши мумкин. Ёки бошқа ҳолат, каналда ҳаракатланаётган оқимнинг тезлиги ниҳоятда кичик бўлиб, ножоиз қийматга эга, яъни $v < v_{\text{кат.т}}$. Бунда, оқим таркибида ҳаракатланаётган лойқа заррачаларининг канал тубига чўкиш жараёни бошланиб, секин-аста каналнинг сув ўтказувчанлик хусусияти камаё боради ва бу жараён ҳам кейинчалик каналнинг ишдан чиқишига олиб келади.

Амалиётда каналда ҳаракатланаётган оқим тезлигининг икки чегаравий қиймати қабул қилинади. Лойиҳалаштириш жараёнида оқим ўртача тезлигининг шундай энг катта қийматини қабул қилиш керакки, бунда каналда ювилиш жараёни содир бўлмаслиги керак. Оқим ўртача тезлигининг бундай қиймати — *оқим ўртача тезлигининг жоиз ювилмас ўртача тезлиги* деб аталади.

Оқим ўртача тезлигининг лойқа чўкиш жараёни бошланмайдиган энг кичик тезлиги *лойқа босмас тезлик* деб аталади ва v_d ҳарфи билан белгиланади.

Юқорида келтирилган тезликларнинг чегаравий катталикларини аниқлаш учун жуда кўп тадқиқотлар, кузатишлар ва тажрибалар ўтказилган ва бир неча усуллар таклиф этилган. Айниқса, бу борада Ц.Е.Мирцхулав томонидан тажриба ва тадқиқотлар жуда самарали ўтказилган. Оқим тезлигининг чуқурлик бўйлаб тақсимланиши логарифмик қонуниятга бўйсунушига асосланиб, бу тезлик қиймати аниқланган. Бунда, бир хил жинсли грунтлар учун ғадир-будурлик баландлиги $\Delta = 0,7d$ деб қабул қилинган. Бунда d — ёпишқоқ бўлмаган грунт заррачаларининг ўртача диаметри.

Ҳар хил жинсли грунтлар учун $\Delta = 0,7d_{95}$, бунда, d_{95} — берилган грунтда 95 % ни ташкил этувчи заррачалар диаметридан катта заррачалар диаметри.

Ёпишқоқ бўлмаган грунтлар билан танишиб чиқамиз. Агар $d_{95}/d_{10} \leq 5$, шарт бажарилса, бундай грунтлар *бир жинсли грунтлар* дейилади. Бундай бир жинсли ёпишқоқ бўлмаган грунтлар учун H чуқурликдаги оқим учун қуйидаги формулалар ўринлидир.

$$\begin{aligned} v_{\text{ю}} &= \lg \frac{8,8h}{d} \sqrt{\frac{2m}{0,44\rho n} [g(\rho_{\text{т}} - \rho)d + 2C_{\text{гн}}^n]} \\ v_{\Delta\text{ю}} &= 1,25 \sqrt{\frac{2m}{0,44\rho n} [g(\rho_{\text{т}} - \rho)d + 2C_{\text{гн}}^n]} \end{aligned} \quad (7.82)$$

бунда, $v_{\text{ю}}$ — кесим бўйича ўртача ювилмас тезлик, м/с; $v_{\Delta\text{ю}}$ — ғадир-будирликнинг Δ баландлигидаги тубга яқин оқим қатламининг ўртача ювилмас тезлиги, м/с; $\rho_{\text{т}}, \rho$ — грунт заррачаси ва сув зичлиги, кг/м³; d — грунтнинг ўртача диаметри, м; $C_{\text{гн}}^n$ — ёпишқоқ бўлмаган грунтнинг чегаравий узилиш мустаҳкамлиги, Па. Бу катталиқ билан майда заррачали грунтлар ёпишқоқлик кучларининг сезиларли миқдори пайдо бўлиши ҳисобга олинади ($d < 0,25$ мм ҳолат учун). m — ёпишқоқ бўлмаган грунтлардан ўтадиган каналлар учун лойқа заррачаларининг оқимнинг ювувчанлигига таъсирини белгиловчи коэффициент бўлиб, *иш шароити коэффициенти* дейилади. Агар, сувда тупроқсимон заррачалар миқдори 0,1 кг/м³ бўлса, $m = 1,0$ деб қабул қилинади; агар бу миқдордан кўп бўлса, $m > 1,0$ деб қабул қилинади. n — зуриқиш коэффициенти бўлиб, тезлик тебраниши ҳисобига оқимнинг ювувчанлик қобилиятини ҳисобга олади. k — ёпишқоқлик кучини ўзининг ўртача қийматиға мос келмаслик даражасини характерловчи коэффициент, бу катталиқ амалий ҳисобларда $k = 0,5$ деб қабул қилинади.

$C_{\text{гн}}^n = 1,72 \cdot 10^{-4} d^{-1}$ курунишда аниқланиши мумкин. Бунда d — метрда, $C_{\text{гн}}^n$ эса Па ўлчов бирликларида қабул қилинади.

$$n = \left(\frac{u_{\Delta\text{max}}}{\bar{u}_{\Delta}} \right)^2$$

бунда u_{Δ} ва $\bar{u}_{\Delta}$ — ғадир-будурлик баландлигидаги оқимнинг оқиш ва ўртача туб оқимидаги тезлиги.

Агар $d < 0,001$ м бўлса,

$$n = 1 + \frac{d}{0,00005 + 0,3d} \quad (7.83)$$

Агар $d > 0,001$ м бўлса, $n = 4$.

$\rho_{\text{т}} = 2650$ кг/м³ ва $m = 1$ ҳолат учун $v_{\text{ю}}$ ва $v_{\Delta\text{ю}}$ тезликлар қиймати 7.11-жадвалда келтирилган.

Грунт зарра- часининг ўртача катталиги d , мм	Ғадир-будурлик яқинидаги оқимнинг тубга яқин ўртача тезлиги, $v_{\text{до}}$ м/с	h , м чуқурликда оқимнинг ўртача ювилмас тезликлари			
		0,5	1	3	5
0,05	0,13	0,52	0,55	0,6	0,62
0,15	0,1	0,36	0,38	0,42	0,44
0,25	0,11	0,37	0,39	0,41	0,45
0,37	0,12	0,38	0,41	0,46	0,48
0,5	0,13	0,41	0,44	0,5	0,52
0,75	0,16	0,47	0,51	0,57	0,59
1	0,17	0,51	0,55	0,62	0,65
2	0,24	0,64	0,7	0,79	0,83
2,5	0,27	0,69	0,75	0,86	0,9
3	0,29	0,73	0,8	0,91	0,96
5	0,37	0,87	0,96	1,1	1,17
10	0,52	1,1	1,23	1,42	1,51
15	0,64	1,26	1,42	1,65	1,76
20	0,73	1,37	1,55	1,84	1,96
25	0,82	1,48	1,65	1,98	2,12
30	0,89	1,56	1,76	2,1	2,26
40	1,03	1,68	1,93	2,32	2,5
75	1,42	2,01	2,35	2,89	3,14
100	1,63	2,15	2,54	3,14	3,46
150	2	2,35	2,84	3,62	3,96
200	2,31	2,47	3,03	3,92	4,31
300	2,82	2,9	3,32	4,4	4,94

Агар ёпишқоқ бўлмаган грунтлар ҳар хил жинсли бўлса, маълум шароитларда йирик фракция билан қопланиш ҳодисасини ҳисобга олишга тўғри келади. Агар маълум миқдорда ювилиш руй берса, ўзан юзасини йирик фракцияли грунтлар қоплаб олади ва ювилиш тезлиги қиймати сезиларли даражада ошиши мумкин. Бунда ювилиш чуқурлиги умумий чуқурликнинг $h_{\text{ю}} = 5\%$ гача бўлиши мумкин. Бу ҳолат учун ($h_{\text{ю}} \leq 5h$) ҳар хил жинсли грунтларга татбиқан $v_{\text{ю}}$ тезлик қийматлари 7.12-жадвалда келтирилган.

Ёпишқоқ грунтлар (глина, суглинок, супес) учун ювилмас тезликлар қиймати Ц.Е.Мирицхулав томонидан қуйидагича таклиф этилган:

$$v_{\text{ю}} = \left(\lg \frac{8,8h}{d} \right) \sqrt{\frac{2m}{2,6\rho n} \left[g(\rho_{\text{гр}} - \rho)d + 1,25C_{\text{юи}}^n k \right]} \quad \left. \begin{array}{l} \\ v_{\text{до}} = 1,25 \sqrt{\frac{2m}{2,6\rho n} \left[g(\rho_{\text{гр}} - \rho)d + 1,25C_{\text{юи}}^n k \right]} \end{array} \right\} \quad (7.84)$$

бунда $C_{\text{юи}}^n$ — ёпишқоқ грунт учун чегаравий мустаҳкамликнинг меъёрий қиймати.

Солиштирма ёпишқоқлигининг меъёрий қийматини 7.13-жадвал асосида қабул қилинади.

d_{yp} мм	$\nu_{0.1}$ М/с - ҳар хил жинсли гурунлар учун, $\lambda_{0.1} \leq 0,05$ м											
	$k = \frac{d_{yp}}{d_{0.5}} = 0,5$				$k = \frac{d_{yp}}{d_{0.3}} = 0,3$				$k = \frac{d_{yp}}{d_{0.5}} = 0,2$			
	$h=0,5$ м	$h=1$ м	$h=3$ м	$h=5$ м	$h=0,5$ м	$h=1$ м	$h=3$ м	$h=5$ м	$h=0,5$ м	$h=1$ м	$h=3$ м	$h=5$ м
0,25	0,44	0,47	0,52	0,55	0,53	0,58	0,64	0,68	0,62	0,67	0,76	0,80
0,37	0,48	0,52	0,58	0,61	0,59	0,64	0,72	0,75	0,65	0,75	0,84	0,89
0,50	0,53	0,57	0,64	0,67	0,63	0,70	0,79	0,83	0,67	0,81	0,92	0,97
0,75	0,59	0,65	0,73	0,77	0,68	0,79	0,89	0,94	0,70	0,87	1,05	1,11
1,0	0,63	0,70	0,79	0,83	0,71	0,83	0,96	1,02	0,70	0,89	1,13	1,20
2,0	0,79	0,89	1,04	1,10	0,83	1,01	1,26	1,34	0,76	0,99	1,41	1,56
2,5	0,84	0,96	1,13	1,20	0,87	1,06	1,36	1,46	0,78	1,02	1,46	1,70
3,0	0,88	1,02	1,21	1,28	0,90	1,11	1,44	1,56	0,80	1,04	1,54	1,78
5,0	1,01	1,18	1,45	1,56	0,98	1,23	1,67	1,86	1,86	1,11	1,68	1,98
10	0,18	1,42	1,82	2,00	1,10	1,39	1,97	2,26	0,95	1,21	1,83	2,22
15	1,29	1,57	2,05	2,28	1,17	1,48	2,13	2,48	1,02	1,29	1,92	2,34
20	1,38	1,68	2,22	2,48	1,23	1,55	2,24	2,64	1,07	1,35	1,99	2,42
25	1,44	1,76	2,36	2,65	1,28	1,61	2,33	2,75	1,11	1,40	2,05	2,48
30	1,50	1,83	2,47	2,79	1,32	1,66	2,40	2,84	1,15	1,44	2,10	2,54
40	1,59	1,95	2,64	3,01	1,39	1,74	2,52	2,99	1,20	1,52	2,19	2,63
75	1,79	2,22	3,05	3,51	1,51	1,94	2,79	3,31	1,28	1,68	2,43	2,88
100	1,87	2,35	3,24	3,75	1,56	2,02	2,93	3,48	1,30	1,74	2,55	3,02
150	1,98	2,52	3,54	4,09	1,60	2,14	3,14	3,71				

Грунт	кўрсаткичи	m коэффициентига нисбатан грунтлар характеристикаси						
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супес	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,15 30	0,11 29	0,08 27	-	-	-	-
	$0,25 < J_L \leq 0,75$	0,13 28	0,09 26	0,06 24	0,03 21	-	-	-
Сутли- нок	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,47 26	0,37 25	0,31 24	0,25 23	0,22 22	0,19 20	-
	$0,25 \leq J_L \leq 0,5$	0,39 24	0,34 23	0,28 22	0,23 21	0,18 19	0,15 17	-
	$0,5 \leq J_L \leq 0,75$	-	-	0,25 19	0,20 18	0,16 16	0,14 14	0,12 12
Глина	$0 \leq J_L \leq 0,25$	-	0,81 21	0,68 20	0,54 19	0,47 18	0,41 16	0,36 14
	$0,25 \leq J_L \leq 0,5$	-	-	0,57 18	0,50 17	0,43 16	0,37 14	0,32 11
	$0,5 \leq J_L \leq 0,75$	-	-	0,45 15	0,41 14	0,36 12	0,33 10	0,29 7

$$C_{\text{ун}}^n = 0,035C^n$$

C^n — грунт солиштира ёпишқоқлигининг меъёрий қиймати; d — тенг ҳажмли шар шаклида деб фараз қилинган грунтнинг ўртача диаметри; $-иш$ шароити коэффициенти, k — ёпишқоқ грунтнинг бир жинслилик коэффициенти. Бу коэффициент меъёрий қийматдан фарқланувчи ёпишқоқлик миқдорини белгилайди. $k = 0,5$. n — зуриқиш коэффициенти, ўсувчи турбулентлик ҳолати учун $n = 4$. m — иш шароити коэффициенти қийматини эса 7.14-жадвалдан фойдаланиб топишимиз мумкин.

7.14-жадвал

Грунт, канал ишлаш шароити	m коэффициент қиймати		
	Магистрал каналлар	Сув ҳужалигига тақсимловчи каналлар	Ҳужаликларга тақсимловчи каналлар
Кум: майда ва ўртача катталиклаги йирик ва шағалсимон	1,3 1,5	1,4 1,6	1,5 1,7
Шағал: майда ўрта йирик	1,5 1,4 1,2	1,6 1,5 1,3	1,7 1,6 1,4
Тупроқсимон грунтлар: оқим таркибида $0,1 \text{ кг/м}^3$ дан кам $0,1 \text{ кг/м}^3$ дан кўп туб бўйлаб ҳаракатланувчи миқдор	1 1,3 0,75	1 1,4 0,8	1 1,6 0,85
Туб ва ён девор ўсимлик билан қопланган	1,1	1,15	1,2
Анча ишқаланган каналлар: намлик кам районлар учун намгарчилиги етарли булган районлар учун	0,2 0,6	0,22 0,7	0,25 0,8

Агар, $m \neq 1$ бўлса, 7.5- ва 7.7-жадваллардан олинган қийматлар $\sqrt{m}$ катталиikka кўпайтирилиб, кейин қабул қилинади.

Агар, грунт шўрланган бўлса, $C_{\text{хс}}$ катталик 7.9-жадвалга асосан қабул қилинади.

Лойқа босмас тезлик — оқимнинг шундай ҳолатдаги тезлигига мос келадики, бунда оқим таркибидаги оқувчи лойқалар миқдори, унинг ташувчанлик қобилияти (ρ_τ) га тенг бўлади. *Оқимнинг ташувчанлик қобилияти* деб, сувнинг бирлик ҳажмидаги лойқа миқдори, чўктирмасдан олиб ўтиш қобилиятига айтилади. Бу катталикни аниқлаш учун Е.А.Замарин формуласини келтирамиз. Бу формула $\rho_\tau = 5 + 6 \text{ кг/м}^3$ ҳолатлар учун ўринлидир.

$0,0004 < \omega < 0,002 \text{ м/с}$ ҳолат учун

$$\rho_\tau = 11v \sqrt{\frac{v}{\omega}} \sqrt{Ri}; \quad (7.85)$$

$0,002 < \omega < 0,008 \text{ м/с}$ ҳолат учун

$$\rho_\tau = 0,022 \left(\frac{v}{\omega} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{Ri}, \quad (7.86)$$

бунда, ω — гидравлик катталик, м/с.

Лойқа заррачаларининг гидравлик катталиги деб, тинч ҳолатдаги сувда лойқа заррачасининг чуқиш тезлигига айтилади. Гидравлик катталик асосан, лойқа заррачасининг шакли ва катталигига боғлиқдир. Гидравлик ҳисобларда, кўпинча, унинг ўртача қиймати қабул қилинади.

7.7 ва 7.8 формулалардан тезлик қийматини аниқлаш мумкин. $0,0004 < \omega < 0,002 \text{ м/с}$ ҳолат учун

$$v_x (C\sqrt{R})_x \sqrt{i}; \quad (7.87)$$

$$\omega \rho^2 = 121v_x^3 Ri,$$

бундан,

$$(C^{0.6} \sqrt{R})_x \sqrt{i} = 0,383 \rho^{0.4} \omega^{0.2}. \quad (7.88)$$

$0,002 < \omega < 0,008 \text{ м/с}$ ҳолат учун

$$(C^{0.6} \sqrt{R})_x \sqrt{i} = 4,6 \rho^{0.4} \omega^{0.6} \quad (7.89)$$

$\varphi(R_x) = (C^{0.6} \sqrt{R})_x$ катталиги қийматлари 7.15-жадвалда келтирилган.

v_x катталикни аниқлаш тартиби қуйидагича: берилган ρ ва ω катталиклар асосида 7.15-жадвалдан Φ_x лойқа функцияси катталиги ва $\frac{\Phi}{\sqrt{i}}$ катталик аниқланади. Бунга асосан, 7.16-жадвалдан R_x катталик топилади. Кейин эса 7.17-жадвалдан $(C\sqrt{R})_x$ топилади. Ниҳоят, v_x катталик

$$v_x = (C\sqrt{R})_x \sqrt{i}$$

формулага асосан аниқланади.

ρ , кг/м ³	ν , м/с									
	0,004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009	0,0010	0,0015	0,0020	
0,10	0,0319	0,0334	0,0346	0,0357	0,0366	0,0375	0,0383	0,0415	0,0441	
0,25	0,0460	0,0482	0,0500	0,0515	0,0528	0,0541	0,0552	0,0599	0,0636	
0,50	0,0607	0,0636	0,0659	0,0680	0,0697	0,0714	0,0729	0,0790	0,0839	
0,75	0,0714	0,0748	0,0775	0,0799	0,0820	0,0840	0,0857	0,0929	0,0987	
1,00	0,0801	0,0839	0,0870	0,0897	0,0920	0,0943	0,0962	0,1042	0,1107	
1,50	0,0942	0,0987	0,1023	0,1055	0,1082	0,1109	0,1131	0,1226	0,1303	
2,00	0,1057	0,1107	0,1148	0,1183	0,1213	0,1244	0,1269	0,1375	0,1461	
2,50	0,1156	0,1211	0,1255	0,1294	0,1327	0,1360	0,1388	0,1504	0,1598	
3,00	0,124	0,130	0,135	0,139	0,143	0,146	0,149	0,162	0,172	
3,50	0,132	0,139	0,144	0,148	0,152	0,156	0,159	0,172	0,183	
4,00	0,139	0,146	0,151	0,156	0,160	0,164	0,167	0,181	0,193	
4,50	0,146	0,153	0,159	0,164	0,168	0,172	0,176	0,190	0,202	
5,00	0,152	0,160	0,166	0,171	0,175	0,179	0,183	0,198	0,211	
6,00	0,164	0,172	0,178	0,184	0,188	0,193	0,197	0,213	0,227	
7,00	0,174	0,183	0,189	0,195	0,200	0,205	0,209	0,227	0,241	
8,00	0,184	0,193	0,200	0,206	0,211	0,217	0,221	0,239	0,254	
9,00	0,193	0,202	0,209	0,216	0,221	0,227	0,232	0,251	0,267	
10,00	0,201	0,211	0,219	0,225	0,231	0,237	0,242	0,262	0,278	
15,00	0,237	0,248	0,257	0,265	0,272	0,278	0,284	0,308	0,327	
0,10	0,0025	0,0030	0,0035	0,0040	0,0045	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	
0,25	0,0504	0,0561	0,0616	0,0667	0,0716	0,0762	0,0850	0,0932	0,1011	
0,50	0,0727	0,0809	0,0888	0,0962	0,1033	0,1099	0,1226	0,1345	0,1459	
0,75	0,0959	0,1067	0,1172	0,1270	0,1364	0,1451	0,1618	0,1775	0,1925	
1,00	0,1128	0,1255	0,1378	0,1493	0,1604	0,1706	0,1903	0,2088	0,2264	
1,50	0,1266	0,1409	0,1547	0,1675	0,1800	0,1915	0,2136	0,2343	0,2541	
2,00	0,1489	0,1656	0,1819	0,1970	0,2116	0,2252	0,2512	0,2755	0,2988	
2,50	0,1670	0,1859	0,2041	0,2211	0,2375	0,2567	0,2818	0,3092	0,3353	

$\varphi(R_n)$ катталиги қийматлари

R_n	$n=0,014$	$n=0,017$	$n=0,020$	$n=0,0225$	$n=0,025$	$n=0,0275$	$n=0,030$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,025	1,50	1,22	0,99	0,83	0,68	0,52	0,43
050	2,28	1,90	1,60	1,40	1,22	1,01	0,92
055	2,41	2,02	1,71	1,50	1,31	1,10	1,01
060	2,54	2,13	1,81	1,59	1,40	1,18	1,09
065	2,66	2,24	1,91	1,68	1,48	1,27	1,17
070	2,78	2,35	2,00	1,77	1,57	1,34	1,25
075	2,90	2,46	2,09	1,86	1,65	1,42	1,32
080	3,01	2,55	2,18	1,94	1,73	1,49	1,39
085	3,12	2,65	2,27	2,03	1,80	1,56	1,46
090	3,22	2,74	2,36	2,11	1,88	1,64	1,53
0,10	3,43	2,92	2,52	2,27	2,03	1,77	1,67
15	4,34	3,74	3,27	2,97	2,69	2,39	2,27
20	5,14	4,45	3,92	3,57	3,27	2,94	2,80
25	5,85	5,06	4,50	4,12	3,79	3,43	3,28
30	6,49	5,68	5,15	4,64	4,27	3,89	3,72
35	7,10	6,22	5,53	5,09	4,71	4,31	4,14
40	7,66	6,73	6,00	5,60	5,13	4,71	4,53
45	8,19	7,21	6,44	5,96	5,53	5,08	4,94
0,50	8,71	7,66	6,87	6,37	5,92	5,46	5,26
55	9,18	8,11	7,28	6,76	6,28	5,81	5,60
60	9,66	8,53	7,67	7,13	6,64	6,14	5,93
65	10,1	8,95	8,05	7,48	6,98	6,46	6,25
70	10,5	9,33	8,41	7,83	7,31	6,79	6,55
75	11,0	9,73	8,77	8,17	7,64	7,08	6,86
80	11,4	10,1	9,10	8,47	7,96	7,38	7,15
85	11,8	10,5	9,46	8,81	8,26	7,67	7,43
0,90	12,1	10,8	9,77	9,12	8,55	7,96	7,71

0,95	12,5	11,2	10,1	9,40	8,85	8,24	7,98
1,00	12,9	11,5	10,4	9,73	9,12	8,51	8,24
10	13,6	12,1	11,1	10,3	9,68	9,04	8,67
20	14,3	12,7	11,6	10,9	10,2	9,55	9,27
30	14,9	13,4	12,1	11,4	10,7	10,0	9,77
40	15,6	13,9	12,7	11,9	11,2	10,5	10,2
50	16,2	14,5	13,2	12,4	12,1	10,9	10,7
60	16,8	15,1	13,7	12,9	12,6	11,4	11,1
1,70	17,4	15,6	14,2	13,3	13,1	11,8	11,5
80	18,0	16,1	14,7	13,8	13,5	12,3	11,9
1,90	18,5	16,6	15,2	14,3	13,9	12,7	12,4
2,00	19,1	17,1	15,6	14,7	14,2	13,1	12,7
20	20,1	18,1	16,5	15,6	14,7	13,9	13,5
40	21,1	19,0	17,4	16,4	15,5	14,6	14,3
60	22,0	19,9	18,2	17,2	16,3	15,4	15,0
2,80	23,0	20,8	19,1	18,0	17,0	16,1	15,7
3,00	23,8	21,6	19,8	18,7	17,7	16,8	16,4
25	25,0	22,5	20,8	19,6	18,6	17,6	17,1
50	26,0	23,6	21,7	20,5	19,4	18,4	18,0
3,75	27,0	24,5	22,5	21,3	20,2	19,1	18,7
4,00	28,1	25,4	23,4	22,1	21,0	19,9	19,5
25	29,0	26,3	24,2	22,9	21,8	20,7	20,2
50	29,9	27,2	25,0	23,7	22,5	21,4	20,9
4,75	30,9	28,0	25,8	24,5	23,3	22,1	21,6
5,00	31,8	28,8	26,6	25,2	24,0	22,8	22,3

$R, \text{м}$	$n=0,012$		$n=0,014$		$n=0,017$		$n=0,020$	
	$CR^{2,5}$	$C\sqrt{R}$	$CR^{2,5}$	$C\sqrt{R}$	$CR^{2,5}$	$C\sqrt{R}$	$CR^{2,5}$	$C\sqrt{R}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,05	0,034	13,48	0,027	10,82	0,020	8,00	0,015	6,02
06	0,054	15,10	0,044	12,19	0,033	9,10	0,025	6,94
07	0,081	16,63	0,066	13,48	0,050	10,15	0,039	7,81
08	0,116	18,07	0,094	14,70	0,071	11,14	0,055	8,64
90	0,157	19,44	0,128	15,87	0,098	12,08	0,076	9,44
0,10	0,207	20,74	0,170	16,98	0,130	12,99	0,102	10,20
11	0,266	22,00	0,218	18,05	0,168	13,87	0,132	10,94
12	0,333	23,21	0,275	19,09	0,210	14,72	0,168	11,66
13	0,411	24,38	0,339	20,09	0,262	15,54	0,209	12,36
14	0,500	25,51	0,411	21,06	0,319	16,34	0,255	13,04
15	0,598	26,61	0,495	22,01	0,385	17,12	0,309	13,71
16	0,709	27,69	0,588	22,93	0,459	17,88	0,368	14,35
17	0,830	28,73	0,690	23,83	0,538	18,63	0,433	14,99
18	0,960	29,75	0,800	24,70	0,625	19,35	0,502	15,61
19	1,11	30,75	0,926	25,57	0,725	20,07	0,585	16,23
0,20	1,27	31,72	1,06	26,40	0,826	20,76	0,673	16,82
21	1,44	32,68	1,20	27,23	0,943	21,45	0,769	17,41
22	1,63	33,61	1,35	28,03	1,07	22,12	0,871	17,99
23	1,83	34,54	1,52	28,83	1,20	22,78	0,982	18,56
24	2,04	35,44	1,70	29,61	1,35	23,43	1,10	19,12
25	2,27	36,33	1,90	30,38	1,50	24,07	1,23	19,67
26	2,51	37,20	2,11	31,14	1,67	24,70	1,36	20,21
27	2,77	38,06	2,32	31,88	1,85	25,32	1,51	20,74
28	3,05	38,90	2,56	32,61	2,03	25,94	1,67	21,28
29	3,34	39,74	2,80	33,33	2,23	26,54	1,83	21,80
0,30	3,65	40,56	3,06	34,05	2,44	27,14	2,01	22,30
31	3,98	41,37	3,34	34,75	2,67	27,72	2,19	22,81
32	4,32	42,17	3,64	35,44	2,90	28,31	2,39	23,32
33	4,67	42,97	3,94	36,14	3,14	28,89	2,59	23,82

34	5,06	43,75	4,26	36,81	3,40	29,46	2,80	24,31
35	5,45	44,52	4,59	37,49	3,68	30,02	3,04	24,80
36	5,87	45,28	4,95	38,15	3,97	30,58	3,27	25,28
37	6,29	46,04	5,32	38,80	4,25	31,13	3,52	25,76
38	6,76	46,78	5,70	39,45	4,54	31,68	3,79	26,24
39	7,23	47,52	6,10	40,09	4,90	32,21	4,06	26,70
0,40	7,72	48,25	6,52	40,73	5,24	32,75	4,35	27,17
41	8,23	48,97	6,95	41,36	5,59	33,28	4,64	27,63
42	8,76	49,68	7,40	41,97	5,95	33,80	4,93	28,08
43	9,32	50,38	7,86	42,59	6,33	34,31	5,26	28,53
44	9,90	51,08	8,36	43,20	6,74	34,83	5,61	28,97
45	10,5	51,78	8,87	43,80	7,16	35,34	5,96	29,42
46	11,1	52,47	9,40	44,41	7,58	35,85	6,32	29,87
47	11,7	53,15	9,94	45,00	8,03	36,35	6,71	30,30
48	12,4	53,82	10,5	45,58	8,49	36,84	7,09	30,73
49	13,1	54,49	11,1	46,17	8,96	37,34	7,46	31,16
0,50	13,8	55,14	11,7	46,74	9,46	37,82	7,90	31,58
52	15,3	56,45	12,9	47,88	10,5	38,78	8,77	32,42
54	16,8	57,74	14,3	49,00	11,6	39,73	9,71	33,24
56	18,5	59,01	15,7	50,11	12,8	40,67	10,7	34,06
58	20,3	60,26	17,2	51,20	14,0	41,59	11,7	34,87
0,60	24,1	62,70	20,5	53,33	16,7	43,41	14,0	36,46
62	24,1	62,70	20,5	53,33	16,7	43,41	14,0	36,46
64	26,2	63,91	22,3	54,39	18,1	44,30	15,2	37,24
66	28,3	65,10	24,10	55,44	19,7	45,19	16,6	38,02
68	30,7	66,27	26,1	56,46	21,3	46,06	17,9	38,78
0,70	33,0	67,41	28,2	57,46	23,0	46,91	19,3	39,53
72	35,6	68,55	30,3	58,46	24,7	47,75	20,9	40,27
74	38,2	69,58	32,6	59,45	26,6	48,60	22,5	41,00
76	40,9	70,80	34,8	60,43	28,6	49,43	24,1	41,74
78	43,7	71,90	37,3	61,39	30,6	50,25	25,8	42,46
0,80	46,7	72,99	39,9	62,35	32,7	51,07	27,7	43,17
82	49,7	74,07	42,6	63,30	34,8	51,88	29,5	43,89

1	2	3	4	5	6	7	8	9
84	52,9	75,13	45,2	64,23	37,2	52,67	31,4	44,58
86	56,5	76,18	48,2	65,16	39,6	53,46	33,4	45,27
88	59,9	77,23	51,2	66,08	42,0	54,24	35,5	45,96
0,90	63,4	78,27	54,3	66,99	44,6	55,02	37,7	46,65
92	67,1	79,31	57,5	67,90	47,2	55,80	40,0	47,34
94	71,0	80,32	60,8	68,79	50,5	56,56	42,4	48,00
96	74,9	81,32	64,2	69,67	52,9	57,31	44,8	48,67
98	79,1	82,32	67,6	70,55	55,8	58,06	47,4	49,23
1,00	83,3	83,32	71,4	71,43	58,8	58,81	50,0	50,00
02	87,7	84,31	75,2	72,30	62,0	59,56	52,7	50,65
04	92,2	85,28	79,4	73,15	65,3	60,28	55,6	51,29
06	97,1	86,24	83,3	74,00	68,6	61,01	58,5	51,92
08	102	87,20	87,3	74,84	71,9	61,73	61,4	52,56
1,10	107	88,15	91,7	75,68	75,6	62,45	64,5	53,19
12	112	89,10	96,1	76,51	79,2	63,16	67,6	53,82
14	117	90,04	100	77,34	83,0	63,87	70,9	54,45
16	122	90,98	105	78,17	87,0	64,58	74,1	55,08
18	128	91,89	110	78,97	90,9	65,27	77,5	55,68
1,20	134	92,81	115	79,78	95,0	65,96	81,1	56,29
22	140	93,72	120	80,58	99,2	66,64	84,8	56,90
24	146	94,62	125	81,38	103	67,33	88,5	57,50
26	152	95,52	130	82,17	108	68,00	92,3	58,10
28	158	96,41	136	82,96	113	68,98	96,1	58,70
1,30	164	97,30	142	83,74	118	69,36	100	59,30
32	171	98,19	147	84,53	122	70,03	104	59,90
34	178	99,06	153	85,30	127	70,69	109	60,48
36	185	99,94	159	86,07	132	71,36	113	61,06
38	192	100,79	165	86,82	137	72,00	117	61,63
1,40	200	101,64	172	87,58	142	72,65	122	62,21
42	207	102,49	178	88,32	148	73,29	127	62,78
44	214	103,34	185	89,07	153	73,93	131	63,35

46	222	104,18	192	89,81	159	74,57	136	63,91
48	230	105,02	198	90,55	165	75,21	141	64,47
1,50	238	105,86	205	91,30	171	75,95	146	65,04
55	259	107,92	224	93,12	186	77,41	159	66,43
60	281	109,96	243	94,92	202	78,97	173	67,80
65	305	111,96	263	96,69	219	80,49	188	69,15
70	330	113,95	284	98,45	237	82,00	204	70,49
1,75	355	115,92	307	100,19	256	83,50	220	71,82
80	382	117,85	330	101,89	275	84,97	237	73,13
85	410	119,76	355	103,59	296	86,43	254	74,43
90	439	121,66	380	105,27	317	87,88	273	75,72
1,95	469	123,52	406	106,92	340	89,30	292	76,98
2,00	501	125,37	434	108,56	363	90,72	313	78,24
05	535	127,21	463	110,19	387	92,12	334	79,49
10	569	129,01	493	111,78	412	93,50	356	80,71
15	605	130,80	524	113,36	438	94,86	379	81,92
20	641	132,57	556	114,94	466	96,22	402	83,13
2,25	680	134,34	590	116,50	494	97,58	427	84,34
30	720	136,09	625	118,06	523	98,92	452	84,54
35	761	137,80	662	119,58	554	100,24	479	86,71
40	804	139,51	669	121,09	585	101,54	507	87,87
45	847	141,21	736	122,59	617	102,85	535	89,03
2,50	893	142,92	776	124,09	651	104,14	565	90,19
55	940	144,57	817	125,58	685	105,43	595	91,34
60	988	146,21	859	127,03	721	106,69	625	92,46
65	1038	147,84	902	128,48	738	107,94	658	93,58
70	1089	149,46	947	129,92	796	109,19	690	94,69
2,75	1142	151,07	993	131,35	835	110,43	725	95,80
80	1196	152,67	1041	132,78	875	111,67	760	96,90
85	1253	154,27	1090	134,20	917	112,90	796	98,00
90	1312	155,86	1140	135,61	960	114,13	833	99,10
2,95	1370	157,41	1192	136,99	1004	115,32	870	100,16
3,00	1431	158,95	1245	138,36	1049	116,51	909	101,22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1557	162,02	1356	141,08	1142	118,87	992	103,33
20	1690	165,05	1472	143,78	1241	121,21	1080	105,43
30	1830	168,03	1595	146,43	1345	123,51	1170	107,48
40	1977	170,98	1723	149,06	1454	125,80	1266	109,52
3,50	2130	173,91	1858	151,67	1569	128,06	1366	111,55
60	22,91	176,78	1999	154,22	1688	130,28	1471	113,54
70	2459	179,63	2146	156,76	1814	132,49	1581	115,51
80	2635	182,45	2300	159,28	1945	134,68	1696	117,48
3,90	2818	185,22	2457	161,74	2079	136,83	1815	119,40
4,00	3006	187,97	2632	164,19	2222	138,96	1942	121,31
20	3411	193,38	2985	169,01	2525	143,15	2208	125,07
40	3846	198,67	3367	173,73	2849	147,27	2494	128,76
60	4310	203,90	3759	178,40	3195	151,34	2793	132,41
80	4808	209,03	4219	182,93	35,84	155,29	3135	135,96
5,00	5350	214,00	4686	187,42	3980	159,21	3487	139,47
25	6068	220,14	5317	192,90	4520	163,99	3963	143,76
50	6841	226,15	5998	198,27	5103	168,68	4476	147,98
75	7673	232,09	6731	203,58	5713	173,32	5031	152,16
6,00	8563	237,86	7514	208,73	6402	177,83	5624	156,21
50	10527	249,15	9246	218,84	7887	186,67	6936	164,17
7,00	12743	260,06	11200	228,60	9766	195,22	8422	171,87

R, м	n=0,0225		n=0, 25		n=0,0275		n=0,030	
	$CR^{2,5}$	$C\sqrt{R}$	$CR^{2,5}$	$C\sqrt{R}$	$CR^{2,5}$	$C\sqrt{R}$	$CR^{2,5}$	$C\sqrt{R}$
1	10	11	12	13	14	15	16	17
0,05	0,012	4,78	0,009	3,79	0,007	2,98	0,006	2,30
06	0,020	5,58	0,016	4,49	0,013	3,60	0,010	2,86
07	0,031	6,34	0,025	5,17	0,021	4,21	0,017	3,40
08	0,045	7,07	0,037	5,81	0,031	4,79	0,025	3,93
09	0,063	7,77	0,052	6,44	0,043	5,35	0,036	4,44
0,10	0,084	8,45	0,070	7,04	0,059	5,89	0,049	4,94
11	0,110	9,10	0,093	7,63	0,077	6,42	0,066	5,42
12	0,140	9,74	0,118	8,20	0,100	6,94	0,085	5,89
13	0,175	10,36	0,148	8,76	0,126	7,45	0,107	6,36
14	0,215	10,97	0,183	9,30	0,156	7,94	0,133	6,81
15	0,260	11,56	0,221	9,83	0,190	8,43	0,163	7,25
16	0,311	12,13	0,265	10,36	0,228	8,90	0,197	7,69
17	0,368	12,71	0,314	10,87	0,271	9,37	0,235	8,12
18	0,430	13,26	0,368	11,37	0,318	9,83	0,277	8,55
19	0,499	13,81	0,429	11,87	0,371	10,29	0,324	8,97
0,20	0,575	14,34	0,494	12,35	0,429	10,73	0,375	9,37
21	0,658	14,87	0,566	12,83	0,493	11,17	0,431	9,78
22	0,746	15,38	0,644	13,30	0,561	11,59	0,493	10,17
23	0,841	15,90	0,728	13,77	0,637	12,02	0,559	10,57
24	0,945	16,40	0,820	14,22	0,717	12,44	0,631	10,96
25	1,06	16,90	0,917	14,67	0,804	12,86	0,709	11,34
26	1,18	17,38	1,02	15,12	0,897	13,26	0,792	11,72
27	1,30	17,86	1,13	15,55	1,00	13,66	0,881	12,09
28	1,44	18,34	1,25	15,99	1,10	14,06	0,977	12,46
29	1,58	18,81	1,38	16,41	1,22	14,46	1,08	12,83
0,30	1,74	19,28	1,52	16,84	1,34	14,85	1,20	13,90
31	1,89	19,72	1,66	17,25	1,46	15,22	1,30	13,54
32	2,07	20,18	1,81	17,66	1,60	15,61	1,42	13,89

1	10	11	12	13	14	15	16	17
34	2,43	21,08	2,14	18,48	1,89	16,37	1,69	14,60
35	2,64	21,52	2,31	18,89	2,05	16,74	1,83	14,95
36	2,84	21,96	2,50	19,29	2,22	17,71	1,98	15,29
37	3,07	22,39	2,69	19,68	2,39	17,47	2,14	15,63
38	3,28	22,82	2,87	20,08	2,58	17,84	2,31	15,97
39	3,53	22,24	3,11	20,46	2,77	18,19	2,48	16,30
0,40	3,79	23,66	3,32	20,85	2,96	18,55	2,66	16,63
41	4,05	24,08	3,57	21,23	3,17	18,90	2,85	16,96
42	4,31	24,49	3,79	21,60	3,40	19,25	3,05	17,28
43	4,61	24,89	4,06	21,97	3,62	19,59	3,26	17,60
44	4,90	25,29	4,33	22,34	3,86	19,93	3,47	17,92
45	5,20	25,70	4,60	22,72	4,11	20,28	3,70	18,25
46	5,52	26,10	4,89	23,09	4,36	20,62	3,93	18,57
47	5,85	26,50	5,18	23,45	4,63	20,96	4,17	18,88
48	6,21	26,89	5,52	23,80	4,90	21,29	4,42	19,19
49	6,54	27,28	5,81	24,16	5,19	21,62	4,67	19,50
0,50	6,92	27,65	6,13	24,51	5,49	21,94	4,95	19,80
52	7,69	28,48	6,80	25,21	6,10	22,59	5,52	20,41
54	8,47	29,17	7,55	25,90	6,78	23,23	6,13	21,00
56	9,35	29,92	8,34	26,59	7,48	23,87	6,76	21,60
58	10,3	30,65	9,17	27,26	8,24	24,49	7,46	22,19
0,60	11,3	31,38	10,1	27,93	9,04	25,12	8,20	22,77
62	12,3	32,09	11,0	28,59	9,90	25,73	9,00	23,34
64	13,4	32,80	12,00	29,25	10,8	26,34	9,80	23,91
66	14,6	33,51	13,0	29,90	11,7	26,95	10,7	24,49
68	15,8	34,21	14,1	30,54	12,7	27,54	11,6	25,05
0,70	17,1	34,88	15,3	31,16	13,8	28,12	12,5	25,53
72	18,4	35,56	16,5	31,78	14,9	28,70	13,5	26,17
74	19,8	36,23	17,8	32,41	16,0	29,28	14,6	26,68
76	21,3	36,90	19,1	33,03	17,2	29,86	15,7	27,22
78	22,8	37,56	20,4	33,63	28,5	30,42	16,9	27,75

0,80	24,4	38,21	21,9	34,23	19,8	30,98	18,1	28,28
82	26,1	38,86	23,4	34,84	21,2	31,55	19,4	28,80
84	27,9	39,50	25,0	35,42	22,6	32,09	20,7	29,31
86	29,7	40,13	26,6	36,00	24,1	32,54	22,1	29,83
88	31,6	40,76	28,3	36,58	25,6	33,18	23,4	30,34
0,90	33,5	41,39	30,1	37,17	27,3	33,72	24,9	30,85
92	35,6	42,02	31,9	37,75	29,0	34,26	26,5	31,36
94	37,7	42,62	33,9	38,31	30,8	34,79	28,2	31,85
96	39,9	43,23	35,8	38,87	32,6	35,31	29,9	32,35
98	42,0	43,84	37,9	39,43	34,4	35,84	31,6	32,84
1,00	44,4	44,44	40,0	40,00	36,4	36,36	33,3	33,33
02	46,9	45,05	42,2	40,55	38,3	36,38	35,1	33,82
04	49,4	45,63	44,4	41,09	40,5	37,39	37,0	34,30
06	51,9	46,21	46,7	41,63	42,6	37,89	39,0	34,77
08	54,6	46,79	49,2	42,17	44,8	38,40	41,1	35,25
1,10	57,5	47,37	51,8	42,71	47,1	38,90	43,3	35,72
12	60,2	47,95	54,3	43,24	49,5	39,40	45,4	36,19
14	62,9	48,53	56,6	43,78	51,8	39,90	47,6	36,67
16	66,1	49,11	59,5	44,32	54,3	40,40	50,0	37,14
18	69,2	49,67	62,4	44,83	56,8	40,89	52,4	37,59
1,20	72,3	50,22	65,3	45,34	59,6	41,37	54,8	38,05
22	75,6	50,77	68,2	45,85	62,3	41,85	57,3	38,50
24	78,9	51,32	71,4	46,37	65,1	42,33	59,9	38,95
26	82,6	51,87	74,6	46,88	68,0	42,80	62,5	39,40
28	86,2	52,43	77,5	47,39	70,9	43,28	65,4	39,86
1,30	89,5	52,98	80,9	47,9	74,0	43,76	68,1	40,31
32	93,2	53,52	84,3	48,41	76,9	44,24	70,9	40,76
34	97,1	54,06	87,7	48,91	80,3	44,70	74,1	41,20
36	101	54,60	91,4	49,41	83,5	45,17	76,9	41,64
38	105	55,12	95,0	49,89	86,9	45,62	80,0	42,07
1,40	109	55,64	98,7	50,38	90,3	46,08	83,3	42,50
42	113	56,16	102	50,86	93,8	46,53	86,69	42,93
44	118	56,69	106	51,35	97,5	46,99	90,1	43,36

1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	122	57,21	110	51,83	101	47,44	93,6	43,79
48	126	57,73	114	52,31	105	47,89	96,9	44,22
1,50	131	58,25	119	52,80	109	48,35	100	44,64
55	143	59,52	130	53,98	119	49,46	110	45,69
60	156	60,79	141	55,16	129	50,57	120	46,73
65	169	62,03	153	56,31	140	51,65	130	47,75
70	183	63,26	166	57,46	152	52,72	141	48,77
1,75	198	64,49	179	58,60	165	53,80	152	49,79
80	213	65,69	194	59,72	178	54,85	164	50,78
85	229	66,88	208	60,83	191	55,89	177	51,77
90	245	68,07	223	61,94	205	56,94	190	52,76
95	263	69,24	240	63,02	220	57,95	204	53,73
2,00	282	70,39	257	64,10	236	58,97	219	54,68
05	300	71,55	274	65,18	252	59,98	234	55,64
10	320	72,67	291	66,23	269	60,96	249	56,57
15	341	73,79	310	67,27	286	61,94	266	57,50
20	363	74,91	330	68,31	305	62,92	283	58,43
2,25	385	76,02	351	69,35	323	63,90	300	59,35
30	408	77,13	372	70,38	343	64,87	319	60,28
35	433	78,21	394	71,39	364	65,82	338	61,17
40	457	79,28	417	72,39	385	66,76	357	62,07
45	483	80,35	440	73,39	406	67,70	377	62,96
2,50	510	81,42	465	74,39	429	68,64	398	63,85
55	536	82,48	490	75,38	452	69,58	420	64,74
60	565	83,52	515	76,35	476	70,49	443	65,60
65	595	84,55	543	77,31	500	71,39	467	66,46
70	625	85,57	571	78,27	526	72,30	491	67,32
2,75	654	86,60	599	79,22	553	73,20	516	68,17
80	685	87,62	628	80,18	581	74,10	541	69,03
85	719	88,64	658	81,13	609	75,00	568	69,88
90	754	89,65	690	82,08	638	75,88	595	70,13

95	789	90,64	722	83,00	668	76,76	623	71,55
3,00	825	91,62	755	83,91	699	77,62	651	72,37
10	899	93,57	824	85,74	762	79,34	711	74,00
20	978	95,51	897	87,58	830	81,05	775	75,63
30	1061	97,41	973	89,33	901	82,73	841	77,22
40	1148	99,30	1053	91,10	976	84,40	911	78,81
3,50	1239	101,18	1138	92,86	1054	86,06	985	80,39
60	1335	103,02	1226	94,58	1136	87,68	1062	81,94
70	1435	104,85	1318	96,29	1223	89,30	1143	83,47
80	1540	106,67	1415	98,00	1313	90,92	1228	85,01
90	1650	108,45	1515	99,66	1406	92,49	1314	86,51
4,00	1764	110,22	1621	101,32	1508	94,06	1408	88,51
20	2004	113,70	1845	104,59	1715	97,14	1605	90,93
40	2268	117,12	2088	107,79	1938	100,17	1814	93,82
60	2538	120,51	2336	110,96	2183	103,18	2037	96,69
80	2849	123,81	2625	114,06	2445	106,10	2294	99,46
5,00	3177	127,07	2928	117,13	2725	109,00	2556	102,23
25	3612	131,06	3331	120,87	3102	112,55	2911	105,60
50	4083	134,98	3768	124,55	3510	116,03	3295	108,92
75	4501	138,86	4239	128,20	3951	119,49	3710	112,22
6,00	5135	142,63	4742	131,73	4422	122,84	4155	115,41
50	6339	150,03	5860	138,69	5468	129,43	5142	121,71
7,00	7703	157,20	7126	145,43	6655	135,82	6262	127,80

Текшириш учун саволлар

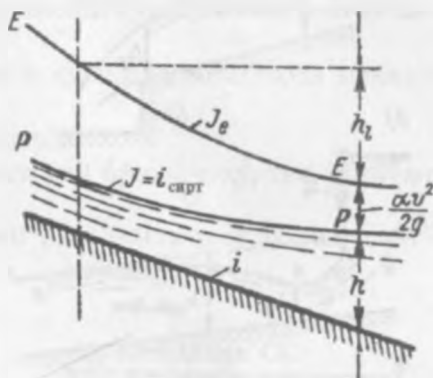
1. Каналдаги текис барқарор ҳаракат қандай хусусиятлари билан ажралиб туради?
2. Каналнинг энг қулай гидравлик профили деб нимага айтилади?
3. Шеэи коэффициентини ҳисоблашда каналнинг периметри бўйича бир жинсли бўлмаган ғадир-будурлиги ҳисобга олинадими? Нима учун?
4. Ўзандаги сув оқими тезлигининг чегаравий қийматларини тушунтиринг.
5. Каналларнинг қандай курунишдаги кундаланг кесим юзалари бор?
6. Каналнинг асосий гидравлик элементларини айтиб беринг.
7. Трапециясимон кесимли каналнинг энг қулай гидравлик профилини чизиб тушунтиринг.
8. Каналларнинг гидравлик ҳисобини бажаришдаги Р.М.Каримов тавсия қилган усулнинг ижобий томонларини тушунтиринг.
9. Солиштирма ҳулланганлик периметри нима?
10. Парабола курунишидаги кесим ҳисоби қандай бажарилади?
11. Каналлардаги сув оқими тезлигининг чегаравий жоиз қийматлари нимага тенг?
12. Лойқа заррачаларининг гидравлик катталиги деб нимага айтилади?

VIII БОБ

ОЧИҚ ҲАЗАНЛАР ВА КАНАЛЛАРДА СУВНИНГ НОТЕКИС БАРҚАРОР ҲАРАКАТИ

8.1. ДАСТЛАБКИ ТУШУНЧАЛАР

Ушбу бобда суюқликнинг турбулент тартибли квадрат қаршилик соҳасидаги ҳаракатини ўрганамиз. Бунда асосан суюқликнинг текис ўзгарувчан нотекис ҳаракати мавжуд бўлади. Сувнинг бундай ҳолатдаги ҳаракати 8.1-расмда ифодаланган.



8.1-расм. Каналдаги сувнинг нотекис ҳаракати

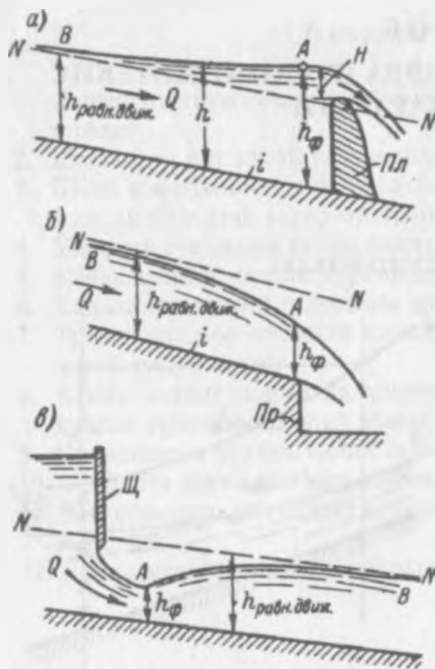
Фараз қилайлик, бирор қаттиқ жисм юқоридан пастга тушмоқда. Бунда унинг ҳаракати тезланувчан бўлади, лекин вақт ўтиши билан ҳавонинг қаршилиги ошиб, ҳаракат тезланувчан ҳолатдан текис ҳолатга ўта бошлайди. Бундай текис ҳаракатда жисмнинг оғирлик кучи ҳавонинг қаршилиги билан мувозанатлашади. Агар цилиндрсимон каналларга сув оқими кириб келса, каналга тушган дастлабки сув миқдори нотекис ҳаракатлана бошлайди. Лекин, бу ҳолатда ҳам сувнинг тезлиги ошиши билан, ҳаракатга тўсқинлик қилувчи қаршилик (ишқаланиш) кучлари миқдори оша бошлайди.

Шу сабабли, агар ҳаракат тезланувчан ҳолатда бошланган бўлса, оғирлик кучи катталигини қаршилик кучи билан мувозанатлашиши ҳисобига, вақт ўтиши билан сув текис ҳаракатлана бошлайди.

Шундай қилиб, таъкидлаш керакки, ҳар қандай оқим ҳаракати давомида оғирлик кучининг бажарган иши қаршилик кучи бажарган ишга тенглаша бориши сабабли, вақт ўтиши билан текис ҳаракатлана бошлайди. Умуман, сувнинг нотекис ҳаракати ҳаракат тартибига таъсир этилгандагина пайдо бўлади.

Оқим йўналиши бўйлаб, тезлик ва чуқурлик ўзгариши билан ҳаракатланувчи $u \neq \text{const}$, $h \neq \text{const}$ — нотекис ҳаракатга мисол келтирамиз.

1. Тўғри нишабли цилиндрсимон ўзанли каналларда оқимнинг нотекис ҳаракати ($i > 0$).



8.2-расм. Тўғри нишабли цилиндрсимон каналларда нотекис ҳаракат

$h_\phi = h_{\text{теку } x-T}$ чуқурлик ўзгариши ҳисобига вужудга келар экан.

2. Текис ва тескари нишабли цилиндрсимон каналларда оқимнинг нотекис ҳаракати (8.3-расм).

Шези формуласининг кўриб чиқилишининг ўзи бундай ҳолатларда фақат оқимнинг нотекис ҳаракати мавжуд бўлишини кўрсатади.

$i=0$ бўлган ҳолатда Шези тенгламасига асосан $v=0$, $i<0$ бўлганда эса физик нуқтаи назардан, сувнинг текис ҳаракати бўлиши мумкин эмас. Демак, бундай ҳолатларда суюқликнинг нотекис ҳаракати мавжуд бўлади.



8.3-расм. Текис $i=0$ ва тескари нишабли $i<0$ цилиндрсимон ўзанли каналларда оқимнинг нотекис ҳаракати

Цилиндрсимон каналлар деганда, биз канал кундаланг кесимининг узунлик бўйлаб ўзгармаслигини назарда тутмоқдамиз. Бундай ҳолатда оқимнинг текис ҳаракати қуйидаги вазиятларда бузилиши мумкин.

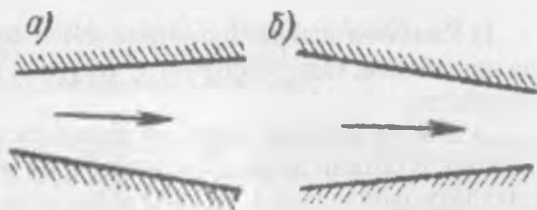
а) агар каналда тўғон қурилган бўлса, оқим эркин сиртининг А нуқтасида ўзгариш бўлиб, унда $h_\phi \neq h_{\text{теку } x-T}$ чуқурлик мавжуд бўлади. (8.2-расм, а).

б) канал тубининг кескин пастга тушиши оқибатида ҳам чуқурлик ўзгариши ва нотекис ҳаракат вужудга келиши мумкин (8.2-расм, б).

в) каналга тусиқ ўрнатилган ҳолатда ҳам $h_\phi \neq h_{\text{теку } x-T}$ чуқурлик ўзгаради ва нотекис ҳаракат вужудга келади. (8.2-расм, в)

Демак, тўғри нишабли цилиндрсимон ўзанли каналларда ($i>0$) оқимнинг нотекис ҳаракати

3. Ноцилиндрик ўзанларда (кенгаювчи ва тораювчи) оқимнинг нотекис ҳаракати (8.4-расм).



8.4-расм. Ноцилиндрик ўзанлар

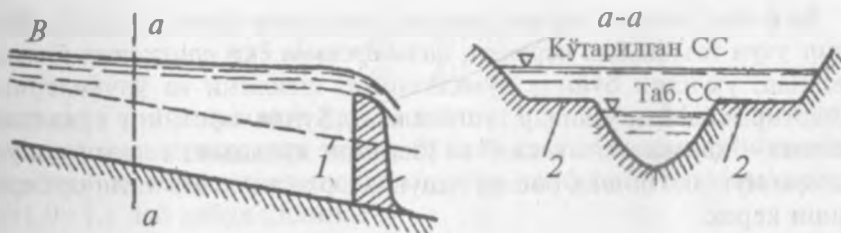
Юқорида кўриб чиққан ҳолатлар асосида қуйидагича хулоса қилишимиз мумкин:

Сув оқимининг нотекис ҳаракати қуйидаги ҳолатларда мавжуд бўлиши мумкин:

1) Цилиндрсимон ўзанли каналларда:

а) агар ўзан тубининг нишаблиги $i > 0$ бўлса, чуқурлик ўзгарган ҳолатда $h_p \neq h_{\text{таб.с.с.}}$ (8.2-расм);

б) ўзан тубининг нишаблиги $i = 0$ ёки $i < 0$ га тенг бўлган ҳолатларда (8.3-расм).



8.5-расм. Узунлик бўйича (чапда) ва кўндаланг (ўнгда) кесимлар

2) Ноцилиндрик узанли каналларда (8.4-расм).

Шуни таъкидлаш керакки, гидротехника амалиётида аксарият ҳолларда оқимнинг нотекис ҳаракати мавжуд бўлиб, унда суюқлик оқимининг эркин сирти ҳолатини ўрганишга тўғри келади. Масалан:

а) эркин сирт эгрилиги (AB) ни билган ҳолда сувнинг ихтиёрий h чуқурлигини топишимиз мумкин. Бу, бизга кўп амалий муаммоларни ҳал қилишда ёрдам беради;

б) AB эгрилик шаклини билиб (8.5-расм), дарёда қурилаётган тўғон таъсирида қирғоқнинг қанча қисмини сув босишини ва сув босадиган майдон қандай катталиқда бўлишини билишимиз мумкин.

Шундай қилиб, оқимнинг нотекис ҳаракатида эркин сирт эгрилиги AB ни қуриш масаласи қўйилиши ва ҳал қилинишини қуйидагича ифодалаш мумкин:

1) Ўзанининг шакли, геометрик ўлчамлари, тубининг узунлик бўйича нишаблиги, ғадир-будурлиги, чуқурлик ва сарф берилган деб, фараз қилайлик.

2) Сув оқимининг нотекис ҳаракати мавжуд бўлган ўзанда элементар ds соҳани ажратиб оламиз ва бу ҳолатга мос гидравлик ифодалардан фойдаланиб, бу соҳа учун оқим ҳаракатининг дифференциал тенгламасини ёзамиз. Бу тенглама сув оқимининг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламаси дейилади.

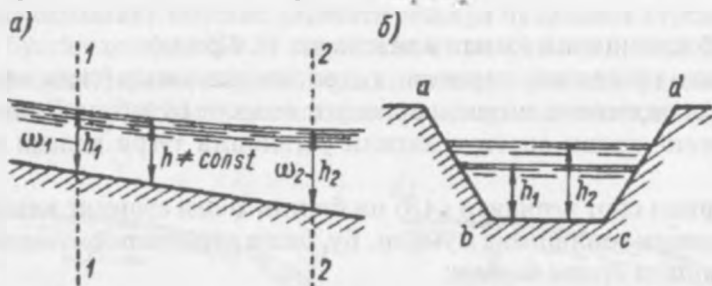
3) Ушбу тенгламани интеграллаб, AB эркин сирт эгрилигининг тенгламасини оламиз, бу тенглама цилиндрсимон ўзанлар учун нотекис ҳаракат тенгламаси деб аталади.

4) Нотекис ҳаракат тенгламасидан фойдаланиб, AB эгри сиртнинг координаталарини аниқлаймиз ва расмда ифодалаймиз.

Оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини тузиш билан Кориолис шуғулланган бўлса, уни ҳисоблаб, тақрибий ечимини Буссинеск таклиф этган. Бундан ташқари, бу соҳада ўзларининг салмоқли ҳиссаларини Б.А.Бахметов, Р.Р.Чугаев, А.Н.Рахмоновлар ҳам қўшишган.

Бу бобда, асосан, цилиндрсимон ўзанларни кўриб чиқамиз. Шунинг учун таъкидлаш керакки, *цилиндрсимон ёки призматик ўзанлар* деганда, узунлик бўйича йўналишини, шаклини ва ўлчамларини ўзгартирмайдиган ўзанлар тушунилади. Бунда оқимнинг кўндаланг кесими - "ҳаракатдаги кесим" ва ўзанининг кўндаланг кесими тушунчалари мутлақо бошқа-бошқа тушунчалар эканлигига эътибор берилиши керак.

8.6-расмдан кўриниб турибдики, $a-b-c-d$ кесим узунлик бўйича ўзгармайди, лекин узунлик ҳар хил бўлганлиги учун $h_1 \neq h_2$ оқимининг ҳаракатдаги қисми ўзгарувчан $\omega_1 \neq \omega_2$ бўлади.



8.6-расм. Цилиндрсимон призматик ўзан

8.2 СУВ ОҚИМИ НОТЕКИС ҲАРАКАТИНИНГ АСОСИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ (дифференциал тенгламанинг 1-кўриниши)

Сув оқими нотекис ҳаракатининг асосий дифференциал тенгласини ёзиш учун дастлаб оқимнинг ноцилиндрик ўзандаги ҳаракатини кўриб чиқамиз. Бунда узлуксиз текис ўзгарувчан ҳаракат мавжуд деб қабул қиламиз. 8.7-расмда оқимнинг узунлик бўйича кесимини кўриб чиқамиз ва расмда чуқурлик (h) ўқини тик ва s ўқни ўзан тубининг узунлиги бўйлаб йўналган, деб қабул қиламиз. $W-W$ кесимда маълум (s) масофада ҳамда 1-1 ва 2-2 кесимлар оралиғида ётган (ds) элементар соҳани танлаб оламиз. Бу элементар соҳа учун напор йўқолишини dh , билан белгилаб, қуйидагича ифодалаймиз.

$$dh = J_e ds \quad (8.1)$$

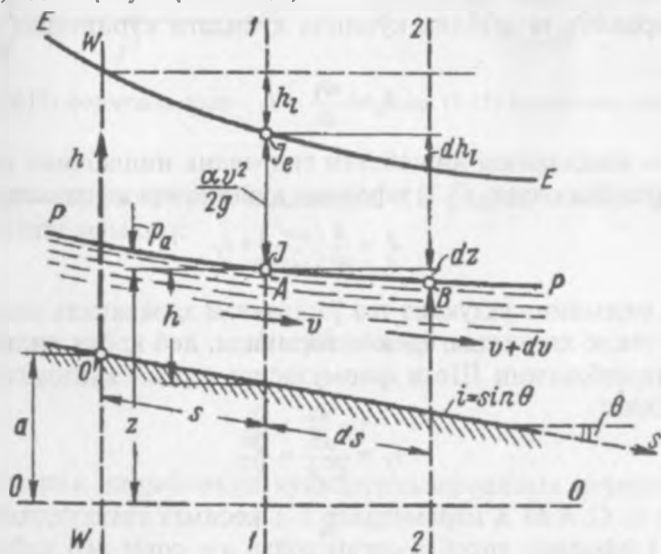
бунда J_e - гидравлик нишаблик бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$J_e = -\frac{d}{ds} \left(z + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} \right) \quad (8.2)$$

ёки

$$J_e = -\frac{dz}{ds} - \frac{d}{ds} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) \quad (8.3)$$

бунда v — 1-1 кесимдаги ўртача тезлик; α — кинетик энергия кор-
рективи ёки ҳаракатдаги кесим бўйлаб тезлик тақсимланишининг
бир хил эмаслигини ҳисобга олувчи коэффицент (амалиётда
 $\alpha \approx 1,0 \div 1,1$ деб қабул қилинади).



8.7-расм. Нотекис ҳаракатининг дифференциал тенгламасига доир

(8.3) ифодани (8.1) ифодага қўйиб, қуйидагига эга бўламиз:

$$dh_l = -dz - d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) \quad (8.4)$$

Агар

$$\frac{\alpha v^2}{2g} = h_v \quad (8.5)$$

белгилаш киритсак, қуйидагига эга бўламиз:

$$-dz = dh_v + dh_l \quad (8.6)$$

Бу тенглама, *оқимнинг нотекис ҳаракати тенгламаси* дейилади. Тенгламадаги dz — AB эркин сирт эгрилигининг ds оралиқдаги ўзгариши бўлиб, мусбат ва манфий ишорага эга бўлиши мумкин. (8.6) тенгламада, асосан шунга эътибор бериш керакки, оқимнинг эркин сирт эгрилиги пасайиши унинг потенциал энергиясини камайишини кўрсатиб, бу миқдор кинетик энергия ўзгариши билан напор йўқолиши йиғиндисига тенгдир.

(8.6) тенгламанинг ҳар иккала томонини ds катталиikka бўламиз:

$$-\frac{dz}{ds} = \frac{dh_v}{ds} + \frac{dh_l}{ds} \quad (8.7)$$

бунда

$$J = -\frac{dz}{ds} \quad (8.8)$$

J — пьезометрик нишаблик.

J гидравлик нишаблик кўпинча қуйидаги кўринишда келтирилади:

$$J_e = \frac{dh_l}{ds} = i_f \quad (8.9)$$

бунда i_f — ишқаланиш нишаблиги гидравлик нишаблика тенг эканлигини ҳисобга олсак, (8.7) ифодани қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$J = \frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + i_f \quad (8.10)$$

Энди оқимнинг узлуксиз тез ўзгарувчан ҳаракатида напор йўқолишини текис ҳаракатдагидек аниқланади, деб қабул қилиб, ишқаланиш нишаблигини Шези формуласига асосан қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$i_f = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{Q^2}{K^2} \quad (8.11)$$

бунда v , C , R ва K параметрлар 1-1 кесимга тааллуқлидир.

(8.11) ифодани ҳисобга олган ҳолда $\alpha = \text{const}$ деб қабул қилиб, (8.10) ифоданинг охириги кўринишини ёзиб оламиз:

Демак,

$$J = i - \frac{dh}{ds}, \quad (8.17)$$

2. $\alpha \frac{d}{ds} \left(\frac{v^2}{2g} \right)$ ҳадни кўриб чиқамиз. Бунда тезликни сарф орқали ифодалаймиз.

$$\alpha \frac{d}{ds} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = \alpha \frac{d}{ds} \left(\frac{Q^2}{\omega^3 2g} \right) = \frac{\alpha Q^2}{2g} \frac{d}{ds} \left(\frac{1}{\omega^3} \right) = -\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{1}{\omega^3} \frac{d\omega}{ds}. \quad (8.18)$$

Биз бу ҳолда ноцилиндрик ўзанларни кўраётганлигимиз учун v ҳаракатдаги кесим юзаси h ва s координаталарга боғлиқдир:

$$\omega = f(h, s). \quad (8.19)$$

Буни ҳисобга олсак, қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$\frac{d\omega}{ds} = \left(\frac{\partial \omega}{\partial s} + \frac{\partial \omega}{\partial h} \frac{dh}{ds} \right) = \left(\frac{\partial \omega}{\partial s} + B \frac{dh}{ds} \right); \quad (8.20)$$

$$B = \frac{\partial \omega}{\partial h}, \quad (8.21)$$

бунда B — оқимнинг сатҳ бўйича кенглиги (8.9-расм).

(8.20) ифодани (8.18) ифодага қўйсак, қуйидаги муносабатни оламиз:

$$\alpha \frac{d}{ds} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = -\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{1}{\omega^3} \left(\frac{\partial \omega}{\partial s} + B \frac{dh}{ds} \right) \quad (8.22)$$

3. $\frac{v^2}{C^2 R}$ ҳадни сарф орқали ифодалаймиз:

$$\frac{v^2}{C^2 R} = \frac{Q^2}{\omega^3 C^2 R}. \quad (8.23)$$

4. Олинган (8.17), (8.22) ва (8.23) ифодаларни (8.12) кўринишдаги оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасига қўйсак, тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$i - \frac{dh}{ds} = -\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{1}{\omega^3} \left(\frac{\partial \omega}{\partial s} + B \frac{dh}{ds} \right) + \frac{Q^2}{\omega^3 C^2 R}.$$

$\frac{dh}{ds}$ га нисбатан тенгламани ҳисоблаш учун қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \frac{Q^2}{\omega^3 C^2 R} \left(1 - \frac{\alpha C^2 R}{g \omega} \frac{\partial \omega}{\partial s} \right)}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3}}. \quad (8.24)$$

Бу тенглама *ноцилиндрик ўзанлардаги сув оқими ҳаракатининг дифференциал тенгламаси* деб аталади.

Эндиги вазифамиз цилиндрсимон, хусусан призматик, сунъий ноцилиндрик ва табиий ўзанлардаги оқимнинг ҳаракат ҳолати учун тенгламанинг кўринишлари билан танишишдан иборат.

А. ОҚИМНИНГ ЦИЛИНДРСИМОН ЎЗАНЛАРДАГИ НОТЕКИС ҲАРАКАТИ

3.4. ЦИЛИНДРСИМОН ЎЗАНЛАРДАГИ ОҚИМ ҲАРАКАТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИНИНГ ИККИНЧИ КЎРИНИШИ

Цилиндрсимон, хусусан, призматик ўзанларда оқимнинг ҳаракатдаги кесим юзаси h чуқурликка боғлиқ бўлади,

$$\omega = f(h) \quad (8.25)$$

деб, қабул қилишимиз мумкин. Бундай ўзанлар учун:

$$\frac{\partial \omega}{\partial s} = 0, \quad (8.26)$$

хусусий ҳосилани юқоридагича қабул қилсак-да,

$$\frac{d\omega}{ds} \neq 0 \quad (8.27)$$

эканлиги бизга маълум. Чунки $\frac{d\omega}{ds}$ катталиқ ҳаракатдаги кесим юзасининг s координата ўзгариши билан амалда ўзгаришини кўрсатади.

Демак, (8.26) ифодани ҳисобга олсак, (8.24) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}} \quad (8.28)$$

Агар

$$\omega^2 C^2 R = K^2 \quad (8.29)$$

эканлигини ҳисобга олсак,

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \frac{Q^2}{K^2}}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}} \quad (8.30)$$

ҳосил бўлади.

Агар (8.30) ифодада

$$\frac{dh}{ds} = 0 \quad (8.31)$$

деб қабул қилсак,

$$i - \frac{Q^2}{K^2} = 0 \quad (8.32)$$

ифодага эга бўламиз.

Бундан оқимнинг текис ҳаракат тенгламасини олиш мумкин

$$Q = K\sqrt{i}. \quad (8.33)$$

Энди $i=0$ ва $i<0$ бўлган ҳолатларни кўриб чиқамиз.

а) горизонтал тубли $i=0$ ўзани кўрамиз (8.10-рasm, а). Бунда (8.30) ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади:

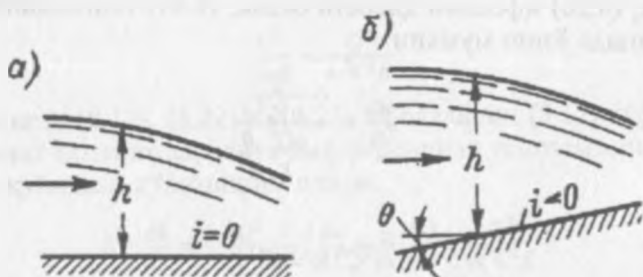
$$\frac{dh}{ds} = - \frac{\frac{Q^2}{K^2}}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}} \quad (8.34)$$

б) агар ўзан тубининг нишаблиги $i<0$ бўлса (8.10-рasm, б), нишабликнинг абсолют қийматини i' деб белгиласак,

$$i' = \sin \theta = |i|, \quad (8.35)$$

у ҳолда (8.30) ифодани қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\frac{dh}{ds} = - \frac{i' + \frac{Q^2}{K^2}}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}} \quad (8.36)$$

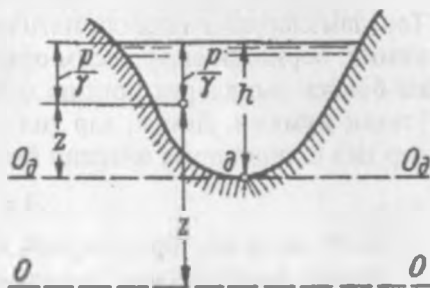


8.10-рasm. Ўзан нишаблиги $i=0$ ва $i<0$ бўлган ҳолатларга доир

**8.5. ТҮРТ АСОСИЙ ТУШУНЧА: КЕСИМНИНГ СОЛИШТИРМА
ЭНЕРГИЯСИ, КРИТИК ЧУҚУРЛИК, НОРМАЛ ЧУҚУРЛИК,
КРИТИК НИШАБЛИК**

Оқимнинг нотекис ҳаракати тенгламасини ҳисоблаш учун қулай кўринишга келтиришда ва уни интеграллаш жараёнида айрим янги тушунчаларни қўллашга тўғри келади. Энди мана шу тушунчалар билан танишамиз.

1. Кесимнинг солиштирма энергияси (8.11-расм). Бизга маълумки, оқим тўлиқ энергиясининг бирлик массага нисбатан миқдори унинг *тулиқ солиштирма энергияси* дейилади ва қуйидагича аниқланади:



8.11-рasm. Оқимнинг кесимдаги тўлиқ солиштирма энергияси

$$H_e = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} \quad (8.37)$$

бунда

$$z + \frac{p}{y} = h \quad (8.38)$$

эканлигини ҳисобга олсак ҳамда узан кесимининг тубидан таққос-
лаш текислигини ўтказсак, оқимнинг шу кесимдаги тўлиқ солиш-
тирма энергияси кесимнинг солиштирма энергиясига тенг бўлиб,
қуйидагича аниқланади:

$$\Theta = h + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (8.39)$$

еки

$$\Theta = h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}. \quad (8.40)$$

Агар u зан кўндаланг кесими тўртбурчак шаклида бўлса,

$$v = \frac{Q}{bh} = \frac{q}{h}, \quad (8.41)$$

бунда

$$q = \frac{Q}{b} \quad (8.42)$$

вазиятни ҳисобга олсак, кесимнинг тўлиқ солиштира энергиясини қуйидагича ҳисоблаш мумкин.

$$\mathfrak{E} = h + \frac{\alpha q^2}{2gh^3} \quad (8.43)$$

Энди (8.39) ва (8.40) ифодаларни таҳлил қилишга киришамиз. Тенгламаларнинг таҳлили натижасида шундай хулосага келиш мумкинки, берилган сарф кесим орқали нишабликка, ғадир-будурликка ва бошқа омилларга боғлиқ ҳолда ҳар хил чуқурлик бўйлаб оқиб ўтиши мумкин. Демак, ҳар хил чуқурлик қийматларида бу кесимда ҳар хил солиштирма энергия бўлиши мумкин, яъни

$$\mathfrak{E} = f(h). \quad (8.44)$$

(8.39) ва (8.40) ифодалардан кўриниб турибдики,

а) агар $h \rightarrow 0$ бўлса, $\mathfrak{E} \rightarrow \infty$;

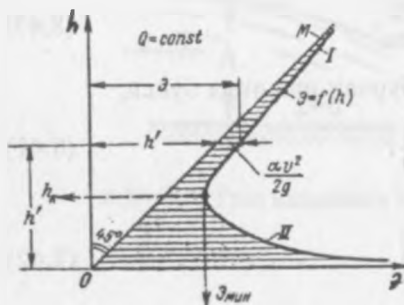
б) агар $h \rightarrow \infty$ бўлса, $\mathfrak{E} \rightarrow \infty$.

Маълумки, узлуксиз функция чегаравий қийматларда чексизликка интилса, демак, бу функция ўзгарувчининг бирор қийматида минимал нуқтага эга бўлади. Чуқурроқ таҳлил шуни курсатадики, $\mathfrak{E} = f(h)$ функция чизиги иккита асимптотага эга (8.12-расм).

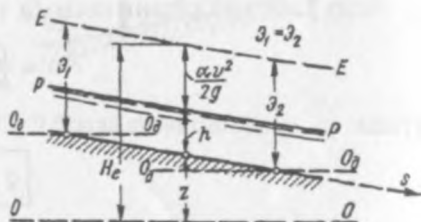
OM — горизонтга 45° қия ўтказилган чизиқ, $O\mathfrak{E}$ — горизонтал чизиқ орасидаги штрих билан кўрсатилган юза эса *тезлик напори энжураси* деб аталади. Шуни таъкидлаш керакки, ишқаланиш кучининг узунлик бўйлаб таъсири ҳисобига оқимнинг тўлиқ солиштирма энергияси камайиб боради, лекин кесимнинг солиштирма энергияси ўзгармайди $\mathfrak{E} = \text{const}$. Бунинг сабаби, ҳар сафар таққослаш текислиги ўзан тубидан ўтказилади (8.13-расм).

2. Критик чуқурлик. Кесимнинг солиштирма энергиясининг энг кичик $\mathfrak{E}$ ($\mathfrak{E}_{\text{мин}}$) қийматида мос келувчи чуқурлик критик чуқурлик деб аталади ва h_c ҳарфи билан белгиланади (8.12-расм). Бу катталик қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$\frac{\partial \mathfrak{E}}{\partial h} = 0 \quad (8.45)$$



8.12-расм. Кесимнинг $\mathfrak{E}$ солиштирма энергияси графиги



8.13-расм. Узунлик бўйича оқим энергияси катталиги ўзгариши

Энди бу тенгламада кўп учрайдиган ўзан кесими шакллари учун критик чуқурликни аниқлаш билан танишамиз:

1) Тўғри тўртбурчак шаклдаги ўзанлар учун критик чуқурликни аниқлаш мақсадида (8.45) ва (8.43) ифодалардан фойдаланамиз.

$$\frac{\partial \left(h + \frac{\alpha q^2}{2gh^2} \right)}{\partial h} = 0, \quad (8.46)$$

бундан

$$1 - \frac{\alpha q^2}{h^3 g} = 0 \quad (8.47)$$

бунда $h = h_k$ деб қабул қилиб, қуйидаги ифодани оламиз

$$\frac{\alpha q^2}{h_k^3 g} = 1 \text{ ва } h_k^3 = \frac{\alpha q^2}{g} \quad (8.48)$$

Демак,

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{b^2 g}} \quad (8.49)$$

(8.48) ифодани

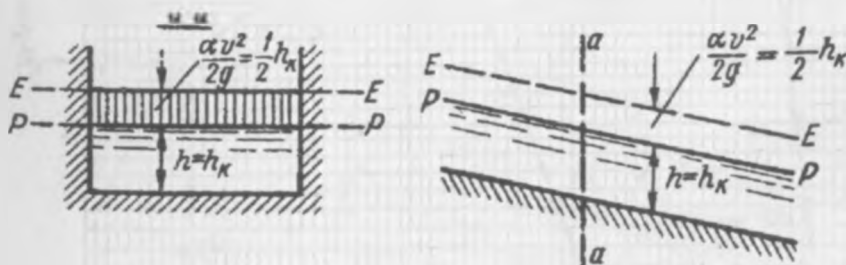
$$h_k = \frac{\alpha v^2}{h_k^2 g} = \frac{\alpha v^2}{g} \quad (8.50)$$

ёки

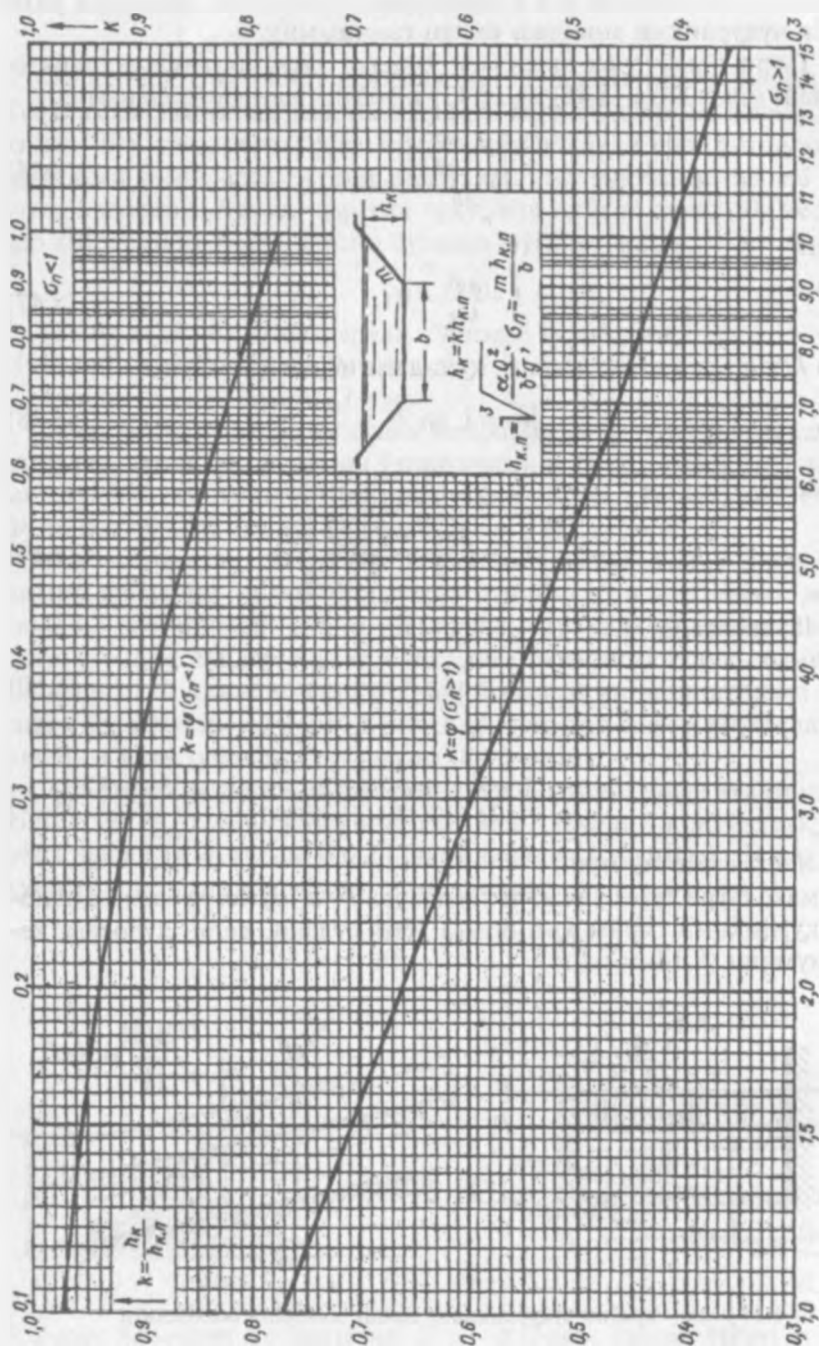
$$\frac{\alpha v^2}{2g} = \frac{1}{2} h_k \quad (8.51)$$

кўринишда ёзиш мумкин.

Демак, тўғри тўртбурчакли ўзанларда $h = h_k$ ҳолатда тезлик напори чуқурликнинг ярим қийматига тенг бўлади, деган хулосага келиш мумкин (8.14-расм).



8.14-расм. критик чуқурликнинг тезлик напорига боғлиқлиги



8.15-расм. Кўндаланг кесим юзаси трапеция шаклидаги симметрик каналлар учун критик чуқурликни аниқлаш графиги

2) Ўзан кўндаланг кесими учбурчак шаклда бўлса, критик чуқурлик қуйидагича аниқланади:

$$h_c = \sqrt{\frac{2\alpha Q^2}{g m^3}} \quad (8.52)$$

бунда m — ўзанининг қиялик коэффиценти.

3) Кўндаланг кесими трапеция шаклдаги каналлар учун критик чуқурликни аниқлашнинг бир қанча усуллари мавжуд. Шулардан бири 8.15-расмда келтирилган. Бундан ташқари, Л.А.Машкович усули ҳам мавжуд. Бу тадқиқотчи А.Н.Рахмонов кузатувлари натижасига асосан, ЭХМ ёрдамида махсус график тузган.

4) Агар ўзанининг кўндаланг кесими ихтиёрий кўринишда бўлса, $\omega = f(h)$ графиги қурилиб (8.12-расм), унинг ёрдамида h_c топилиши мумкин, лекин амалиётда бу анча ноқулайликлар туғдиради. Шу сабабли, қуйидаги математик амални бажарамиз:

(8.45) ифодани (8.40) ва (8.21)ларни ҳисобга олиб ёзамиз:

$$\frac{\partial \omega}{\partial h} = \frac{\partial \left(h + \frac{\alpha Q^2}{2g \omega^2} \right)}{\partial h} = 1 + \frac{\alpha Q^2}{2g} \frac{\partial}{\partial h} \left(\frac{1}{\omega^2} \right) = 1 - 2 \frac{\alpha Q^2}{2g} \frac{1}{\omega^3} \frac{\partial \omega}{\partial h} = 1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} = 0 \quad (8.53)$$

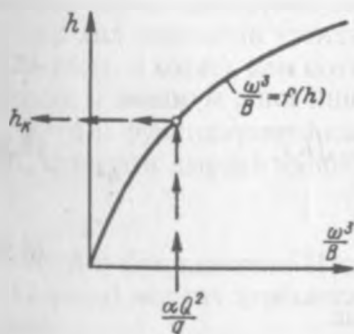
бунда

$$\frac{\omega_c^3}{B_c} = \frac{\alpha Q^2}{g} \quad (8.54)$$

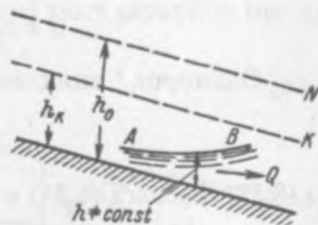
Демак,

$$\frac{\omega^3}{B} = f(h) \quad (8.55)$$

графикни қуриб, ундан $\frac{\alpha Q^2}{g}$ га мос келувчи чуқурликни топсак, шу чуқурлик берилган сарф ва каналнинг геометрик ўлчамлари учун критик чуқурликка мос келади (8.16-расм).



8.16-расм. Критик чуқурликни аниқлаш

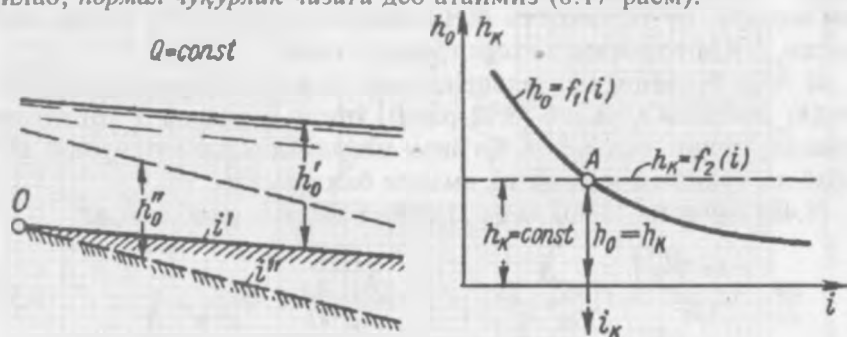


8.17-расм. Нормал (N-N) ва критик (K-K) чуқурлик чизиқлари

3. Нормал чуқурлик (8.17-расм). Берилган сарфда агар ўзанда текис ҳаракат мавжуд бўлса, бу ҳаракатга мос келувчи оқимнинг чуқурлиги нормал чуқурлик деб аталади. Бу чуқурликка мос келувчи барча элементларни бундан кейинги амалиётимизда бошқа катталиклардан фарқлаш мақсадида ω_0 , R_0 , χ_0 ва χ к. тарзда белгилаймиз:

$$Q = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0 i}. \quad (8.56)$$

h_0 чуқурликдан тубга параллел ўтказилган чизиқни К-К деб белгилаб, нормал чуқурлик чизиғи деб атаймиз (8.17-расм).



8.18-расм. Критик нишабликни аниқлашга доир

4. Критик нишаблик. Критик нишаблик деганда, шундай нишаблик фараз қилинадики, агар цилиндрсимон призматик ўзанда оқимнинг текис ҳаракати мавжуд бўлса, бунда нормал чуқурлик критик чуқурлик қийматида тенг бўлади (8.18-расм):

$$h_0 = h_K. \quad (8.57)$$

бунда:

а) агар $i_K > i$ бўлса, $h_K < h_0$;

б) агар $i_K < i$ бўлса, $h_K > h_0$;

в) агар $i_K = i$ бўлса, $h_K = h_0$.

Юқоридаги фикрга асосан қуйидагини ёзиш мумкин:

$$Q = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0 i} = \omega_K C_K \sqrt{R_K i_K}. \quad (8.58)$$

Олдинроқ аниқланганда

$$\frac{\omega_K^3}{B_K} = \frac{\alpha Q^2}{g}. \quad (8.59)$$

(8.59) ифодага (8.58) ифодани қўйсак,

$$\frac{\omega_K^3}{B_K} = \frac{\alpha (\omega_K C_K \sqrt{R_K i_K})^2}{g} \quad (8.60)$$

ёки

$$\frac{\omega_K}{B_K} = \frac{\alpha C_K^2 R_K i_K}{g}, \quad (8.61)$$

бундан

$$i_K = \frac{g}{\alpha C_K^2} \frac{\omega_K}{B_K R_K} \quad (8.62)$$

ёки охирги кўринишда

$$i_K = \frac{g}{\alpha C_K^2} \frac{\chi_K}{B_K} \quad (8.63)$$

Ниҳоятда кенг узанларда

$$\chi = B \quad (8.64)$$

эканлигини ҳисобга олсак,

$$i_K = \frac{g}{\alpha C_K^2} \quad (8.65)$$

8.6. ОҚИМНИНГ ТИНЧ, НОТИНЧ ВА КРИТИК ҲОЛАТЛАРИ

Юқорида таъкидлаганимиздек, чуқурлик ошиши билан K ва $\frac{\omega_K}{B_K}$ ифодаларнинг қийматлари ошадиган узанларда оқим ҳаракатини ўрганишда давом этамиз. Бундай оқимларда $K=f_1(h)$ эгрилиги максимал қийматига эга бўлмай, ўзан битта нормал чуқурликка эга бўлади. Бунда оқимнинг учта ҳолати кузатилади:

1. Тинч ҳолат, бу ҳолатда ҳақиқий чуқурлик критик чуқурликдан катта бўлади $h > h_K$;
2. Нотинч ҳолат ($h < h_K$);
3. Критик ҳолат ($h = h_K$).

Маълумки, агар оқим критик ҳолатда ҳаракатланаётган бўлса, шартни қаноатлантирувчи текис ҳаракат бўлиши керак (8.19-расм).

Бир хил шароитли ўзанда оқимнинг пайдо бўлишига ҳам тинч (8.20-расм, A ҳолат), ҳам нотинч (8.20-расм, B ҳолат) ҳолатлар сабаб бўлиши мумкин.

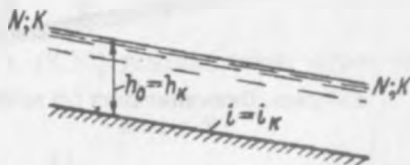
$\mathcal{E} = f(h)$ функциянинг I қисми (8.12-расм) тинч ҳаракатга мос келиб, қуйидаги шартни қаноатлантиради:

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial h} > 0. \quad (8.66)$$

$\mathcal{E} = f(h)$ функциянинг II қисми (8.12-расм) нотинч ҳаракатга мос келиб:

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial h} < 0 \quad (8.67)$$

шартни қаноатлантиради.



8.19-расм. Критик нишабли ўзан

Агар ўзанда оқимнинг текис барқарор тинч ҳаракати мавжуд бўлса, оқимнинг пастки соҳасидаги ҳаракати юқори соҳасидаги ҳаракатга ўз таъсирини ўтказиши кузатилади. Юқори соҳадаги ўзгаришлар таъсирининг қуйи соҳаларга таъсири кузатилмайди. Демак, аниқ бирор кесимдаги оқим чуқурлиги оқим ҳаракати ҳолати билан аниқланади ва бу юқори соҳадаги оқим ҳолатига боғлиқ эмас.

Оқим ҳаракати нотинч бўлганда эса юқоридаги ҳолатга тескари манзара кузатилади. Берилган кесимдаги оқим чуқурлиги юқори соҳадаги оқим ҳаракатига боғлиқ ҳолатда аниқланиб, унинг катталиги қуйи соҳадаги оқим ҳолатига боғлиқ бўлмайди.

Энди тинч ва нотинч оқимларнинг тутатиш ҳолати билан танишамиз.

$$h = h_x \quad (8.68)$$

$$\frac{\omega^2}{B} = \frac{\alpha Q^2}{g} \quad (8.69)$$

яъни

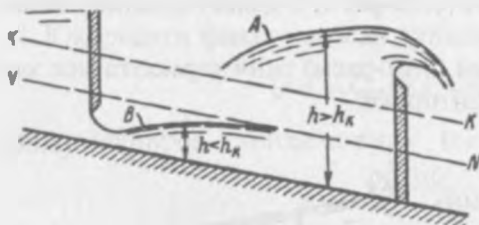
$$\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} = 1,0 \quad (8.70)$$

Демак, (8.30) тенгламага асосан, $h \rightarrow h_x$ ҳолатда:

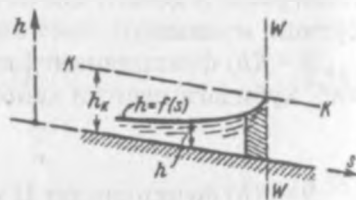
$$\frac{dh}{ds} \rightarrow \infty. \quad (8.71)$$

Демак, сатҳ эгрилиги бу ҳолатда тик уринма $W-W$ кўринишда бўлади (8.21-расм). Бу натижа формуланинг таҳлили бўлганлиги учун шартли характерга эгадир. Ҳақиқатда эса $W-W$ вертикал соҳасида оқим ҳаракати кескин ўзгарувчан бўлади.

Тажрибалар натижасига асосланиб, қуйидаги хулосаларга келиш мумкин (8.22 ва 8.23-расмлар):



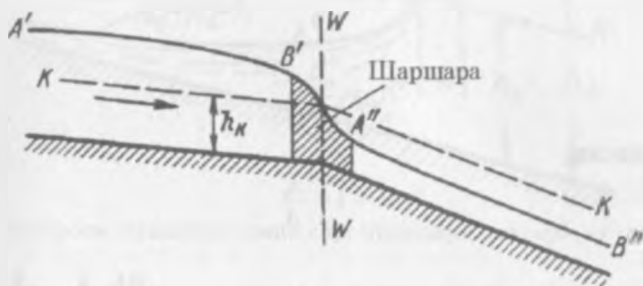
8.20-расм. Оқимнинг тинч (A) ва нотинч (B) ҳолати



8.21-расм. $h = h_x$ соҳасидаги эркин юза



8.22-расм. Гидравлик сакраш



8.23-расм. Шаршара

1. Оқимнинг $A'B'$ нотинч ҳолатидан $A''B''$ тинч ҳолатига ўтиши *гидравлик сакраш* (8.22-расм) деб аталувчи ҳодиса орқали амалга ошади. Бунда, албатта, оқимнинг айланма ҳаракати мавжуд бўлади.

2. Оқимнинг $A'B'$ тинч ҳолатдан $A''B''$ нотинч ҳолатига ўтиши сув сатҳининг кескин пасайиши (8.23-расм) *шаршара* деб аталувчи ҳодиса орқали амалга ошади.

8.7. ЦИЛИНДРСИМОН ЎЗАНЛАРДА ОҚИМНИНГ ТЕКИС ЎЗГАРУВЧАН НОТЕКИС ҲАРАКАТИДАГИ ЭРКИН СИРТ ЭГРИЛИГИНИ КУЗАТИШ

Оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини интеграллашдан олдин, биз албатта, эркин сирт қандай кўринишда бўлишини билишимиз керак. Шу мақсадда, тенгламани кузатишга киришамиз.

$$\Lambda = \frac{\omega^3}{B} \quad (8.72)$$

Қуйидаги ҳолатларни кўриб чиқамиз.

1. Тўғри нишабли ўзанлар ($i > 0$). (8.30) тенгламанинг сурат ва маҳражини қуйидагича ўзгартирамиз:

а) ўнг томоннинг сурати

$$c = i - \frac{Q^2}{K^2} = i - \frac{K_0^2}{K^2} i \quad (8.73)$$

бунда $Q = K_0 \sqrt{i}$ бўлса, K_0 — сарф модулидир. Демак, охириги кўри-
нишда

$$c = \left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) i. \quad (8.74)$$

(8.30) тенгламанинг ўнг томони махражи, (8.54) ифодани ҳисобга олганда, қуйидаги кўринишни олади:

$$m = 1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} = 1 - \frac{\omega_\kappa^3}{B_\kappa} \frac{B}{\omega^3}. \quad (8.75)$$

Агар

$$\Lambda_\kappa = \frac{\omega_\kappa^3}{B} \quad (8.76)$$

деб белгиласак,

$$m = 1 - \frac{\Lambda_\kappa}{\Lambda} \quad (8.77)$$

Демак,

$$\frac{dh}{ds} = \frac{\left(1 - \frac{K_0^2}{K^2}\right) i}{1 - \frac{\Lambda_\kappa}{\Lambda}} = \frac{c}{m} \quad (8.78)$$

Бу тенглама оқим нотекис ҳаракати дифференциал тенгламаси-
нинг III кўринишидир.

Тўғри нишабли ўзанларда оқимнинг нотекис ҳаракатини кузат-
ганимизда уч хил ҳолат бўлиши мумкин:

Биринчи ҳолат

$$h_\kappa > h_0 \text{ ва } i < i_\kappa; \quad (8.79)$$

Иккинчи ҳолат

$$h_\kappa < h_0 \text{ ва } i > i_\kappa; \quad (8.80)$$

Учинчи ҳолат

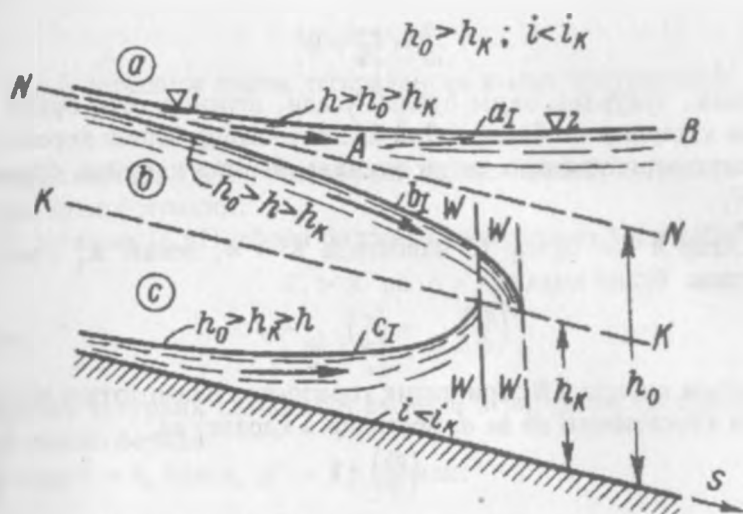
$$h_\kappa = h_0 \text{ ва } i = i_\kappa. \quad (8.81)$$

Ҳар бир ҳолатни алоҳида кўриб чиқамиз:

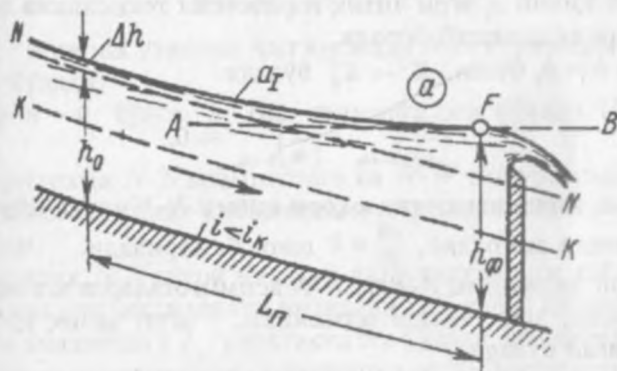
Биринчи ҳолат. (8.79) шарт билан характерланувчи бу ҳолатда оқимнинг уч хил шаклда эркин сирти бўлиши мумкин (8.24-расм). Бунда a_1 ва c_1 сирт эгриликлари кўтарилувчи, b_1 эса тушувчидир (8.25-расм). a_1 эгрилик ўзанда

$$h_\phi > h_0 > h_\kappa \quad (8.82)$$

шарт бажарилганда юзага келади.



8.24-расм. Оқимнинг эркин сирт чизиклари шакллари, $i < i_k$



8.25-расм. a_1 турдаги эркин сирт эгрилиги

Энди оқим нотекис ҳаракатининг дифференциал тенгламаси ёрдамида a_1 эгриликнинг 8.24 ва 8.25-расмлардагидек эканлигини исботлаймиз.

1. Бу шаклдаги эгри чизик булиши учун

$$h_\phi > h_0 > h_k \quad (8.83)$$

шарт бажарилиши керак. Бундай ҳолда эгри чизик

$$K^2 > K_0^2 \text{ ва } \Lambda > \Lambda_k \quad (8.84)$$

билан характерланади. Кўрилатган вазиятда

$$c > 0 \text{ ва } m > 0, \quad (8.85)$$

шу сабабли

$$\frac{dh}{ds} = \frac{+c}{+M} > 0. \quad (8.86)$$

Демак, чуқурлик оқим бўйлаб ўсади, шунинг учун эркин сирт чизиғи кутарилувчи бўлади. Яна шунга эътибор бериш керакки, эркин сирт эгрилигининг сатҳи узунлик бўйича камайиб бормоқда: $\nabla_2 < \nabla_1$.

2. Агар $h \rightarrow \infty$ бўлса, ўз навбатида $K^2 \rightarrow \infty$, лекин $K_0^2 = \text{const}$ ва $\Lambda_\kappa = \text{const}$ бўлиб қолади:

$$\left(\frac{dh}{ds}\right)_{h \rightarrow \infty} = \left(\frac{c}{M}\right)_{h \rightarrow \infty} \rightarrow i \quad (8.87)$$

Пастки қисмда АВ эгри чизиқ горизонтал асимптотага эга (8.26-расмда кўрсатилган dh ва ds белгиларга қаранг) ва

$$\left(\frac{dh}{ds}\right) = i \quad (8.88)$$

шарт билан характерланади.

Шундай қилиб a_1 эгри чизиқ горизонтал текисликка оқим ҳаракати бўйича яқинлашиб боради.

3. Агар $h \rightarrow h_0$ бўлса, $K^2 \rightarrow K_0^2$ бўлади

$$\left(\frac{dh}{ds}\right)_{h \rightarrow h_0} = \left(\frac{c}{M}\right)_{h \rightarrow h_0} \rightarrow 0. \quad (8.89)$$

Демак, a_1 эгри чизиқнинг юқори қисми $N-N$ чизиқ кўринишидаги асимптотага эга бўлиб, $\frac{dh}{ds} = 0$ шарт бажарилади.

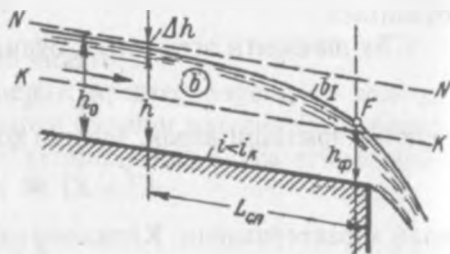
4. a_1 эгри чизиқнинг $A-B$ ва $N-N$ асимптоталарга эга эканлигини ҳисобга олсак, аниқ айтиш мумкинки, эгри чизиқ қабариклиги пастга қараган бўлади.

5. a_1 эркин сирт эгрилиги кутарилувчи бўлиб, $N-N$ текислигига яқинлашиши назарий жиҳатдан чексиздир (8.25-расм), лекин амалий жиҳатдан бу кутарилиш узунлиги $(0,01 + 0,02) h_0 = L_\kappa$ деб қабул қилинади.

b_1 эгрилигининг намоён бўлиши 8.27-расмда кўрсатилган.



8.26-расм. (8.87) формулага доир



8.27-расм. b_1 кўринишдаги эркин сирт эгрилиги

$$h_0 > h_\phi > h_\kappa \quad (8.90)$$

Бунда b_1 эгрилиги билан чегараланган ҳамма чуқурликлар

$$h_0 > h > h_\kappa \quad (8.91)$$

шартни бажаради. (8.78) тенгламани таҳлил қилиб, қуйидаги хулосаларни айтиш мумкин:

1. b_1 эгрилик (8.91) ифода билан характерланганлиги сабабли,

$$K_0 > K \text{ ва } \Lambda > \Lambda_\kappa \quad (8.92)$$

бундан,

$$\frac{dh}{ds} = \frac{-c}{+M} < 0, \quad (8.93)$$

бинобарин чуқурлик камайиши сабабли эгри чизиқ ҳақиқатан ҳам пастга тушиб боради.

2. Агар $h \rightarrow h_0$ бўлса, $K^2 > K_0^2$, демак,

$$\left(\frac{dh}{ds}\right)_{h \rightarrow h_0} = \left(\frac{c}{M}\right)_{h \rightarrow h_0} \rightarrow 0. \quad (8.94)$$

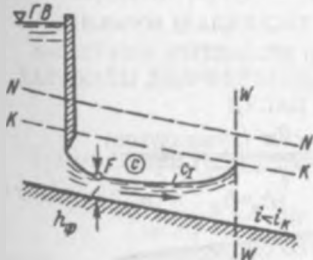
Демак, эгрилик ўзининг чап қисмида $N-N$ кўринишдаги асимптотага эга бўлади.

3. Агар $h \rightarrow h_\kappa$ бўлса, b_1 тик уринмага эга бўлади (8.6-мавзуга қаранг).

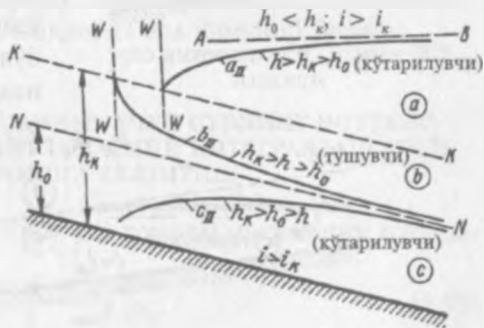
4. b_1 эгриликни $N-N$ асимптотага ва $W-W$ тик уринмага эгаллигини ҳисобга олсак, унинг қабариклиги юқоридалигини тасдиқлашимиз мумкин.

5. b_1 эгрилик $N-N$ тўғри чизиққа яқинлашганлиги сабабли, назарий жиҳатдан уни чексизликка интилади, деб қабул қилишимиз мумкин, лекин амалиётда у $L_{\text{ср}}$ узунликка эга бўлади деб қабул қилинади.

6. b_1 эгрилигида оқимнинг солиштирма кесим энергияси оқим ҳаракат йўналиши бўйича камайиб боради, чунки бу эгрилик оқим бўйлаб Э_{хлн} қийматга мос келувчи $K-K$ тўғри чизиққа яқинлашиб боради.



8.28-расм. c_1 турдаги эркин сирт эгрилиги



8.29-расм. $i \rightarrow i_k$ бўлганда эркин сирт эгриликларининг кўриниши

c_1 кўринишдаги сирт эгрилиги кўтарилувчи бўлади (8.28-рasm).

$$h_\phi < h_x < h_0. \quad (8.95)$$

c_1 эгриликнинг устки қисмида жойлашган барча чуқурликлар учун қуйидаги шарт бажарилади:

$$h_0 < h_x < h. \quad (8.96)$$

Юқоридагилардан мулоҳаза юритиб, c_1 эгриликнинг қуйидаги хоссалари мавжудлигини кўришимиз мумкин:

1. У кўтарилувчидир;
2. Ўзининг ўнг томони охирида $W-W$ тик уринмага эга;
3. Асимптотаси йўқ;
4. Эгриликнинг йўналиши бўйлаб оқимнинг солиштирма кесим энергияси камайиб боради;
5. Узунлиги чегаралангандир.

Иккинчи ҳолат. (8.80) шарт бажарилганда юзага келиши мумкин. Оқимнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи дифференциал тенгламани кузатиш натижасида хулоса қилиш мумкинки, (8.80) шарт бажарилганда эркин сатҳ эгриликлари 8.29 ва 8.30-расмдаги кўринишда бўлади.

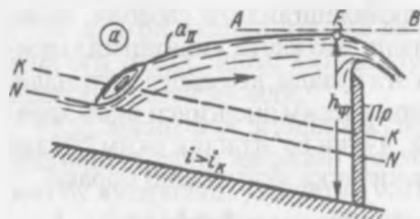
Учинчи ҳолат (8.81) шарт бажарилганда бўлиши мумкин. Бунда $N-N$ ва $K-K$ чизиқлар ўзаро устма уст тушади (8.31-рasm).

a_{III} эгрилиги

$$h > h_x = h_0 \quad (8.97)$$

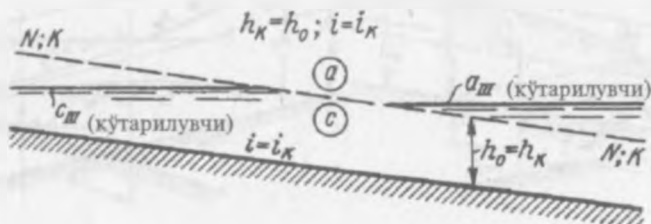
ва c_{III} эгрилиги

$$h < h_x = h_0 \quad (8.98)$$



8.30-расм. a_{II} турдаги эркин сирт эгрилиги

ифодалар билан характерланади. Юқоридагидек мулоҳаза юритиб, бу эгриликлар кўтарилувчи эканлигини ва тўғри тўртбурчакли ўзанларда ҳаракат амалга ошаётган бўлса, бу — тўғри чизиққа айланишини тасдиқлаш мумкин.



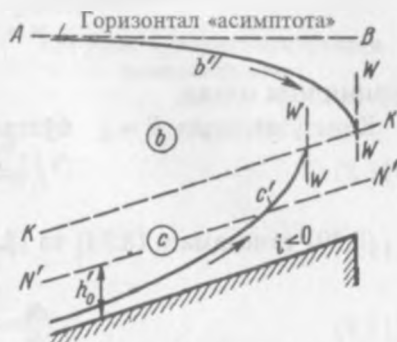
8.31-расм. $i = i_K$ бўлганда эркин сирт эгрилигининг кўринишлари

2. Горизонтал тубли узан ($i = 0$). Оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасининг III кўринишини таҳлил қилиб, $i = 0$ бўлганда 8.32-расмдаги ҳолат бўлишини кўриш мумкин (b_0 ёки c_0).

Бу ҳолатларда $h_0 = \infty$, булганлиги учун a минтақа йўқ бўлади ҳамда b ва c минтақалар қолади. b_0 эгрилик ўзининг чап қисмида горизонтал асимптотасига эга бўлиб, узлуксиз узунликда давом этади ва ўзининг охириги қисмида $W-W$ текислигида уринмага эга бўлиб, кўтарилувчидир.



8.32-расм. $i = 0$ бўлганда эркин сирт эгрилиги шакллари



8.33-расм. $i < 0$ бўлган ҳолат учун эркин сирт эгрилигининг кўринишлари

3. Тескари нишабли узанлар ($i < 0$). Бу ҳолатда эгри сирт эгрилиги 8.33-расмдагидек кўринишда бўлиши мумкин.

4. Хулосалар. Қурилган ва ўрганилган ҳолатлардан хулоса қилиб, айтиш мумкинки, жами турли ҳолатлар учун сатҳ эгрилигининг ўн икки кўриниши мавжуд экан. Шунинг эътиборга олиш керакки, улар $N-N$ чизиғига асимптотик кўринишда яқинлашиб, $K-K$ чизиғида тик уринма кўринишда бўлади. Бундай кўринишдаги эгриликлар ҳеч қачон $K-K$ ва $N-N$ чизиқларни кесиб ўтмайди $K-K$ чизиққа оқим бўйича яқинлашган чизиқлар учун оқимнинг солиштирма кесим энергияси ошиб, узоқлашган чизиқларда эса камайиб боради.

8.8. Тўғри нишабли ($i < 0$) ўзанлар учун сувнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини интеграллаш учун қулай кўринишга келтириш

Бунинг учун (8.30) тенгламанинг ўнг томони махражини қуйидагича ёзамиз.

$$M = 1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{m^3} = 1 - \frac{\alpha (K_0^2 i)}{g} \frac{B}{m^3} \frac{C^2 R}{C^2 R} \quad (8.99)$$

бунда

$$\omega^2 C^2 R = K^2 \quad \text{ва} \quad \frac{\omega}{R} = \chi \quad (8.100)$$

белгилаш киритсак, (8.99) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$m = 1 - \frac{\alpha K_0^2 i}{g} \frac{BC^2}{\chi K^2} = 1 - \frac{\alpha i C^2}{g} \frac{B}{\chi} \frac{K_0^2}{K^2} \quad (8.101)$$

Агар

$$\frac{\alpha i C^2}{g} \frac{B}{\chi} = j \quad (8.102)$$

белгилаш киритсак, (8.101) тенглама

$$m = 1 - j \frac{K_0^2}{K^2} \quad (8.103)$$

кўринишни олади.

Кенг ўзанларда $B \approx \chi$ бўлганлиги учун

$$j = \frac{\alpha i C^2}{g} \quad (8.104)$$

(8.30) тенгламага (8.74) ва (8.103) ифодаларни қўйсак,

$$\frac{dh}{ds} = \frac{1 - \frac{K_0^2}{K^2} i}{1 - j \frac{K_0^2}{K^2}} i \quad (8.105)$$

кўринишни олади. Бунда

$$\boxed{\frac{K}{K_0} = \kappa} \quad (8.106)$$

белгилаш киритиб, уни *сарфнинг нисбий модули* деб атаймиз.

$$\frac{dh}{ds} = \frac{\kappa^2 - 1}{\kappa^2 - j} i \quad (8.107)$$

Бу тенглама оқимнинг тўғри нишабли ($i > 0$) ўзанларда ҳаракати дифференциал тенгламасининг тўртинчи (IV) кўриниши дейилади. Мазкур тенгламадаги j катталиikka тўхталиб ўтамиз.

1) (8.102) ифодадан кўриниб турибдики, j катталик чуқурликка боғлиқ:

$$j = f(h). \quad (8.108)$$

2) Кенг тўғри тўртбурчак кўринишдаги ўзанлар учун j катталик қуйидагича аниқланади:

$$j = \frac{h^3}{K_0^3} \frac{C^2}{C_0^2} \quad (8.109)$$

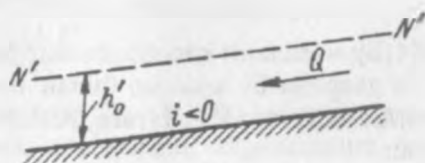
Агар бундай ўзанларда чуқурликнинг ўзгариши ҳисобга олинмаса, $C = C_0$ деб қабул қилинади.

3) Агар ўзан туби нишаблиги ниҳоятда кичик бўлса, $j < 1,0$, катта қийматларда эса $j > 1,0$ бўлиши мумкин.

8.9. ТУБИ ТЕСКАРИ НИШАБЛИ ($j < 0$) ЎЗАНЛАРДА ОҚИМНИНГ НОТЕКИС ҲАРАКАТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИНИ ИНТЕГРАЛЛАШ УЧУН ҚУЛАЙ КЎРИНИШГА КЕЛТИРИШ

Цилиндрсимон шаклдаги ўзанларда ҳаракатланаётган оқимнинг дифференциал тенгламасини, яъни (8.36) ифоданинг шаклини сарф модули тушунчасини кириштириш билан ўзгартирамиз.

Бу тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:



8.34-расм. h_0 нормал чуқурлиқни аниқлашга доир

$$\frac{dh}{ds} = -\frac{\kappa'^2 + 1}{\kappa'^2 - j} i'; \quad (8.110)$$

$$\kappa' = \frac{K}{K_0'}; \quad (8.111)$$

$$\kappa' = \frac{\alpha i' C^2}{g} \frac{B}{x}; \quad (8.112)$$

бунда i' ўзан тубининг абсолют нишаблиги дейилади, $i' = |i|$; K_0' — сарф модулининг фарз қилинаётган K_0 чуқурликка мос келувчи қиймати (8.34-расм).

8.10. ОҚИМНИНГ НОТЕКИС ҲАРАКАТИ ДЕФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИНИ ИНТЕГРАЛЛАШГА ДОИР АМАЛИЙ КЎРСАТМАЛАР

Оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасининг IV кўринишини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{1}{i} \frac{\kappa^2 - j}{\kappa^2 - 1}. \quad (8.113)$$

Тенгламанинг унғ томони чуқурлик функцияси эканлигини ҳисобга олсак,

$$\frac{1}{i} \frac{\kappa^2 - j}{\kappa^2 - 1} = f(h)$$

деб белгилаб, (8.113) ни қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин:

$$ds = f(h)dh. \quad (8.114)$$

Бу тенгламани интеграллаб, қуйидагига эга бўламиз:

$$S = \int_{h_1}^{h_2} f(h)dh. \quad (8.115)$$

h ва s параметрларнинг ўзаро боғлиқлигини кўрсатувчи ҳисоблаш тенгламасини олиш учун қуйидаги интегрални ҳисоблаш керак.

$$f_0(h) = \int f(h) ds. \quad (8.116)$$

Бу масалани ҳисоблашнинг бир неча тақрибий усуллари мавжуд. Ўз даврида бу муаммо билан Бресс, Толькмитт, Дюпюи-Рюльман, Б.А.Бахметов, Р.Р.Чугаев, А.Н.Раҳмонов ва бошқалар шуғулланишган.

Кейинги босқичда, биз бу масалани ҳал қилиш учун Б.А.Бахметов таклиф этган усул билан танишамиз. Чунки бу усул тўғри кесимли узанларни лойиҳалаштириш амалиётида қўлланилади. Дастлаб, бу усул асосини ташкил этувчи *гидравлик кўрсаткич* деган тushунча билан танишамиз.

8.11. САРФ МОДУЛИНИНГ АСОСИЙ КЎРСАТКИЧИ. ЎЗАННИНГ ГИДРАВЛИК КЎРСАТКИЧИ

Дастлаб $i > 0$ бўлган ҳолат билан танишамиз. Бизга маълумки, оқимнинг нотекис ҳаракати тенгламаси таркибига $K^2 : K_0^2 = \kappa^2$ муносабат киради. Бу муносабат h чуқурликка боғлиқ бўлган ниҳоятда мураккаб функциядир, чунки

$$K = \omega C \sqrt{R}, \quad (8.117)$$

бунда ω , C ва R параметрлар h чуқурлик билан ўзига хос мураккаб боғлиқликдадир. Шу сабабли (8.117) да ифодаланган интегрални ҳисоблаш анча мураккабдир.

Б. А. Бахметов масалани енгиллаштириш мақсадида K ва h параметрлар орасидаги боғлиқликни аниқлаш учун ишлатиладиган Шези формуласи ўрнига оддий даражадаги ифодани таклиф қилган:

$$\left(\frac{K''}{K'}\right)^2 = \left(\frac{h''}{h'}\right)^x \quad (8.118)$$

бунда h'' ва h' — ихтиёрий чуқурликлар бўлиб, қўрилаётган узаннинг кундаланг кесимига тааллуқлидир; K'' ва K' — шу чуқурликларга мос келувчи сарф модулидир (8.36-расм, а). x кўрсаткич эса берилган кесим учун ўзгармас деб қабул қилинади, чунки унинг қиймати h'' ва h' ларга боғлиқ эмас деб ҳисобланади. (8.119) формуладаги бу кўрсаткич *узаннинг гидравлик кўрсаткичи* деб аталади. Агар $K'' = K'$ деб қабул қилинса, (8.118) ифода қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$K = A \sqrt{h^x}, \quad (8.118')$$

бунда қўрилаётган кесим учун

$$A = \frac{\kappa^1}{\sqrt{(h^1)}} = \text{const} \quad (8.118'')$$

(8.119) формулани логарифмлаб, қуйидагини олиш мумкин:

$$x = \frac{2 \lg K' - 2 \lg K''}{\lg h'' - \lg h'} \quad (8.119)$$

Таҳлил натижасида исботлаш мумкинки, (8.118') ифода айрим ўзанлар учун (8.117) ифодага тўлиқ мос келади, айримларига эса умуман (8.118') ифодани қўллаб бўлмайди, чунки ҳисоблаш натижаси (8.117) ифоданикига қараганда кескин фарқ қилади.

Бундай ўзанлар билан танишиб чиқамиз.

1. (8.118) ва (8.118') ифодалар назарий жиҳатдан бир-бирига мос келадиган ўзанлар. Бундай ўзанларда гидравлик кўрсаткич ўзгармас бўлиб ($x = \text{const}$), чуқурликка боғлиқ эмас.

а) ниҳоятда тор тўртбурчак кесимли ўзанлар ($x = 2,0$);

б) кенг тўртбурчак кесимли ўзанлар ($x = 3,4$);

в) тор парабола кесимли ўзанлар ($x = 3,7$);

г) кенг парабола кесимли ўзанлар ($x = 4,4$);

д) учбурчак кесимли ўзанлар ($x = 5,4$).

2. (8.118) ифодани тақрибан қўллаш мумкин бўлган кесимлар:

а) тўртбурчак ва парабола кесимли (кенг ва торларидан ташқари) ўзанлар;

б) трапеция кўринишидаги ўзанлар;

в) кесимининг шакли бўйича юқоридагиларга ўхшаш ўзанлар.

Ўзан туби бўлган ҳолда юқоридаги ўзанлар учун гидравлик кўрсаткич қуйидагича аниқланади:

$$x = \frac{2 \lg K_{\text{тп}} - 2 \lg K_0}{\lg h_{\text{тп}} - \lg h_0} \quad (8.120)$$

бунда $h_{\text{тп}}$ — кўрилатган соҳадаги ўртача чуқурлик; $K_{\text{тп}}$ — шу чуқурликка мос келувчи ўртача сарф модули.

Мазкур гидравлик кўрсаткич Р. Р. Чугаев формуласига асосан эса тўғри тўртбурчак кесимли ўзанлар учун қуйидагича аниқланади:

$$x = 3,4 - \frac{2,8}{\frac{b}{h_{\text{тп}}} + 2}; \quad (8.121)$$

Трапеция шаклидаги ўзанлар учун

$$x = 3,4 \left(1 + \frac{m}{\frac{b}{h_{\text{тп}}} + m} \right) - 1,4 \frac{m'}{\frac{b}{h_{\text{тп}}} + m'}, \quad (8.122)$$

бунда b — ўзан тубининг кенглиги; m — ўзан қўндаланг кесими ён деворининг қиялик коэффиценти ($m' = 2\sqrt{1 + m^2}$).

(8.120) ва (8.122) формулаларда ўртача чуқурликнинг ҳисоб-ки-тоб натижасига таъсири камлигини ҳисобга олган ҳолда унинг қий-мати тақрибан қабул қилиниши мумкин.

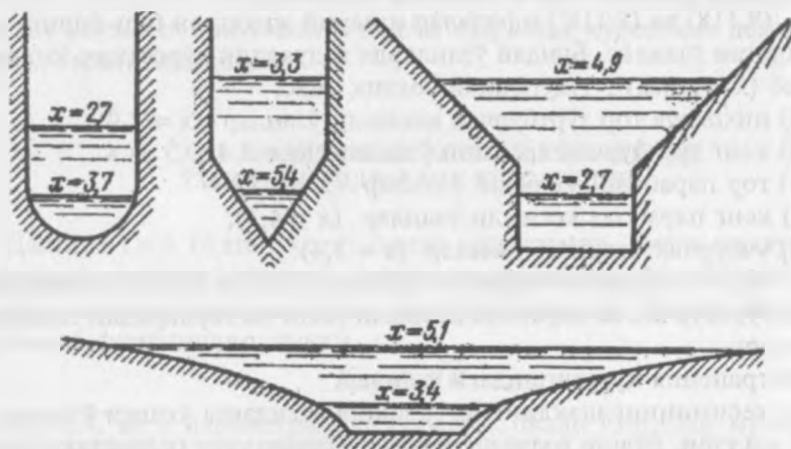
3. (8.118) ифодани қўллаш мумкин бўлмаган ўзанлар:

а) кўндаланг кесими ёпиқ профили ўзанлар;

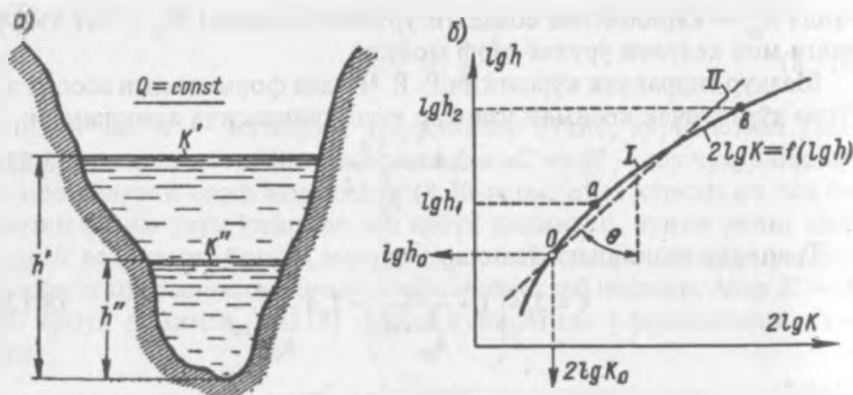
б) бир неча бўлимли ўзанлар;

в) 8.35-расмда ифодаланган ўзанлар.

4. Умуман, (8.118) ифоданинг қўлланилиши мумкин ёки мумкин эмаслиги номаълум бўлган ҳолда уни аниқлаш учун логарифмик ано-морфоza деб аталувчи график чизишга тўғри келади: (8.36-расм).



8.35-расм. Гидравлик кўрсаткичи $x \neq \text{const}$ ўзгарувчан ўзанлар



8.36-расм. Логарифмик аноморфоza $2 \lg K = f(\lg h)$; $\lg Q = x$

Тик ўқ бўйича $\lg h$, горизонтал йўналишга $2\lg K$ катталикларни қуйилган графикда икки боғлиқликни ифодаловчи чизиқлар ўтган.

I чизиқ (8.118) ифодага асосан ўтказилган. Бунинг учун h чуқурликка ихтиёрий қийматлар бериб, $\lg h$ ва $2\lg K$ ларнинг шу қийматларни ҳисобланади ва график чизилади. Буни *Шези чизиғи* деб аташ қабул қилинган.

II чизиқ тўғри чизиқдир. Буни чизиш учун (8.118) ёки (8.118') ифодалардан фойдаланамиз.

Б. А. Бахметов таклифига асосан, оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини интеграллаш учун (8.119) ифодани $i > 0$ ҳолат учун қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$\left(\frac{K}{K_0}\right)^2 = \left(\frac{h}{h_0}\right)^x \quad (8.123)$$

бунда h - ихтиёрий ҳақиқий чуқурлик; h_0 — Шези формуласига асосан аниқланадиган нормал чуқурлик; K_0 - нормал чуқурликка мос келувчи сарф модули.

(8.123) тенгламани логарифмласак, қуйидаги кўринишдаги ифодани олиш мумкин:

$$2 \lg K = (2 \lg K_0 - x \lg h_0) + x \lg h. \quad (8.124)$$

Бу тенгламадан фойдаланиб, II чизиқни чизиш мумкин. Бу чизиқ, тенгламадан кўриниб турибдики, тўғри чизиқдир. II тўғри чизиқ *Бахметов чизиғи* деб аталади. Бахметов чизиғи $\lg h_0$ ва $2\lg K_0$ координаталарига мос келувчи I чизиқнинг 0 нуқтасидан ўтади. Юқоридаги фикрларга асосланиб, қуйидаги хулосани айтиш мумкин:

а) логарифмик аноморфоза графигида нуқта орқали Бахметов чизиғини маълум бурчак остида ўтказамиз. Улар ўзаро яқин жойлашса, у ҳолда (8.118) ифодадан гидравлик кўрсаткични ҳисоблашда фойдаланиш мумкин.

б) агар Шези чизиғи ниҳоятда эгри бўлса, у ҳолда, гидравлик кўрсаткични ҳисоблашда (8.118) ифодадан фойдаланиш мумкин эмас.

Агар гидравлик кўрсаткични аниқлаш мумкин бўлган ҳолат бўлса, уни шу логарифмик аноморфоза графигидан қуйидагича аниқланади:

а) ва координаталар билан аниқланувчи 0 нуқтани Шези чизиғидан топамиз;

б) эркин сирт эгрилигини чизиш талаб қилинадиган соҳанинг боши ва охиридаги чуқурликларга мос келувчи $\lg h_1$ ва $\lg h_2$ лар учун a ва b нуқталарни Шези чизиғидан топамиз.

в) Бахметов чизиғини ab бўлимда II эгриликка яқин қилиб, 0 нуқта орқали ўтказамиз;

г) x гидравлик кўрсаткични Бахметов чизиғининг бурчак коэффициенти сифатида қабул қиламиз:

$$x = \operatorname{tg} \theta, \quad (8.125)$$

бунда θ бурчак 8.36-расмда кўрсатилган.

Албатта, $\operatorname{tg} \theta$ катетлар нисбати сифатида аниқланади. Биз ўзан туби нишаблиги мусбат бўлган ҳолат ($i > 0$) билангина танишдик. Агар бу қиймат $i = 0$ бўлса, гидравлик кўрсаткич худди юқоридагидек аниқланиб, h_0 чуқурлик h_x катталиқ билан алмаштирилади (8.10-мавзуга қаранг).

8.12. ТУБИ ТЎҒРИ НИШАБЛИ ($i > 0$) ЎЗАНЛАРДА ОҚИМНИНГ НОТЕКИС ҲАРАКАТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИНИ БАХМЕТОВ УСУЛИДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЛАШ

1911-1914 йилларда Б.А.Бахметов томонидан таклиф этилган бу усул гидравлик кўрсаткични (8.118) ифода ёрдамида аниқлаш мумкин бўлган ўзанлар учунгина қўлланилади. Бундай ўзанлар учун, юқорида таъкидлаганимиздек, $2\lg K = f(lgh)$ тенглама билан характерланувчи Шези чизиги тўғри чизиқ ёки шунга яқин эгри чизиқ кўринишида бўлади.

Юқорида келтириб ўтилган оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасининг IV кўринишини эсга оламиз

$$\frac{dh}{ds} = \frac{\kappa^2 - 1}{\kappa^2 - j} i, \quad (8.126)$$

Бу тенгламани Бахметов усулида интеграллаш учун (8.129) ифода кўринишида ёки қуйидагича ёзиб оламиз.

$$\boxed{\kappa^2 = \eta^x} \quad (8.127)$$

бунда

$$\boxed{\kappa = \frac{K}{K_0}} \quad \text{ва} \quad \boxed{\eta = \frac{h}{h_0}} \quad (8.128)$$

бунда η — нисбий чуқурлик. (8.127) ифодани (8.126) ифодага қўйсак, у қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$h_0 \frac{d\eta}{ds} = \frac{\eta^x - 1}{\eta^x - j} i, \quad (8.129)$$

бунда

$$h_0 d\eta = dh \quad (8.130)$$

(8.130) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин

$$\frac{i}{h_0} ds = \frac{\eta^x - j}{\eta^x - 1} d\eta = \left(1 - 1 + \frac{\eta^x - j}{\eta^x - 1} \right) d\eta, \quad (8.131)$$

бундан

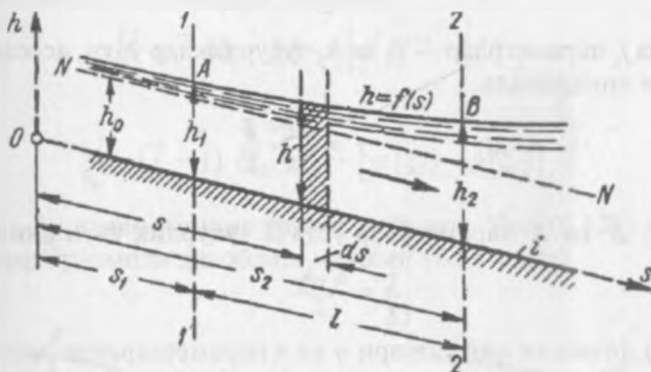
$$\frac{i}{h_0} ds = d\eta - \frac{1-j}{1-\eta^2} d\eta. \quad (8.132)$$

Оқимнинг нотекис ҳаракати мавжуд бўлган соҳада координаталар бошини танлаб олиб, унда ds масофада ётган 1-1 ва 2-2 кесимлар оралигидаги нотекис ҳаракатни кўриб чиқамиз (8.37-расм). 1-1 ва 2-2 кесимлардаги оқимнинг гидравлик элементларини мос равишда 1 ва 2 индекслари билан белгилаб оламиз. Сунгра (8.132) тенгламани 1-1 кесимдан 2-2 кесимгача интеграллаймиз. Натижада қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\frac{i}{h_0} (s_2 - s_1) = \eta_2 - \eta_1 - \int_{\eta_1}^{\eta_2} \frac{1-j}{1-\eta^2} d\eta, \quad (8.133)$$

бунда

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0} \text{ ва } \eta_2 = \frac{h_2}{h_0}. \quad (8.134)$$



8.37-расм. (8.132) ифодани интеграллашга доир

Ҳисоблашлар натижаси шуни кўрсатадики, j параметр ўз қийматини чуқурлик ўзгариши билан деярли ўзгартирмайди. Шу сабабли, уни интеграл остидан чиқариб оламиз ва ўртача қийматини қабул қилиб, $\bar{j}$ деб белгилашимиз мумкин. Бундан ташқари,

$$s_2 - s_1 = l \quad (8.135)$$

эканлигини ҳисобга олсак, (8.133) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{il}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - \bar{j}) \int_{\eta_1}^{\eta_2} \frac{d\eta}{1-\eta^2}, \quad (8.136)$$

Демак,

$$\int \frac{d\eta}{1-\eta^2} = \varphi(\eta) + C_0 \quad (8.137)$$

тарзда, ифодалаш мумкин.

(8.137) ифодани ҳисобга олиб, (8.138) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\left[\frac{il}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - \bar{j}) [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)] \right] \quad (8.138)$$

Бу тенглама $i > 0$ ҳолат учун *AB эркин сирт эгрилиги тенгламаси* ёки оқимнинг нотекис ҳаракати учун *Бахметов тенгламаси* деб аталади.

Бу тенгламага оид қуйидаги қўшимча маълумотларни бериш мақсадга мувофиқдир.

1. Тенгламада $\bar{j}$ параметр қуйидагича аниқланиши мумкин.

$$a) \quad \bar{j} = \frac{1}{2}(j_1 + j_2) \quad (8.1399)$$

бунда j_1 ва j_2 параметрлар — h_1 ва h_2 чуқурликлар учун, асосан, (8.101) ифодадан аниқланади.

$$b) \quad \bar{j} = \frac{\alpha i \bar{C}^2}{g} \frac{\bar{B}}{\bar{X}} \quad (8.140)$$

бунда $\bar{C}$, $\bar{B}$ ва $\bar{X}$ параметрлар ўртача чуқурлик учун аниқланади:

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (8.141)$$

2. $\varphi(\eta)$ функция қийматлари η ва x параметрларнинг ҳар хил қийматлари учун қаторни ёпиш усулида ҳисобланган бўлиб, 8.1-жадвалда келтирилган.

Гидравлик курсаткичнинг қийматини аниқлаб, η_1 ва η_2 параметрларни ҳисоблаб, $\varphi(\eta_1)$ ва $\varphi(\eta_2)$ функцияларни жадвалдан топиб олишимиз мумкин. Агар x , η_1 ва η_2 параметрларга мос келувчи қийматлар жадвалларда бўлмаса, интерполяция усулидан фойдаланиб топишга тўғри келади.

3. (8.138) тенгламадан фойдаланиб, қуйидаги катталикларни аниқлаш мумкин:

а) берилган дастлабки чуқурлик h_1 (ёки h_2) асосида номаълум чуқурлик h_2 (ёки h_1) ни топиш;

б) берилган h_1 ва h_2 чуқурликларга мос келувчи l соҳа узунлигини топиш;

в) h_1 ва h_2 чуқурликлар маълум бўлган кесимлар учун АВ эркин сирт эгрилигини топиш.

8.13. ТУБИ ГОРИЗОНТАЛ ($i=0$) ЎЗАНЛАРДАГИ ОҚИМНИНГ НОТЕКИС ХАРАКАТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИНИ БАХМЕТОВ УСУЛИДА ИНТЕГРАЛЛАШ

Бу ҳолда сарф модули кўрсаткичини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\left(\frac{K}{K_K}\right)^2 = \left(\frac{h}{h_K}\right)^x \quad (8.142)$$

ёки

$$\aleph_K^2 = \xi^x \quad (8.143)$$

бунда $\aleph_K$ — нисбий сарф модули; ξ — нисбий чуқурлик.

$$\xi = \frac{h}{h_K}; \quad \aleph_K = \frac{K}{K_K} \quad (8.144)$$

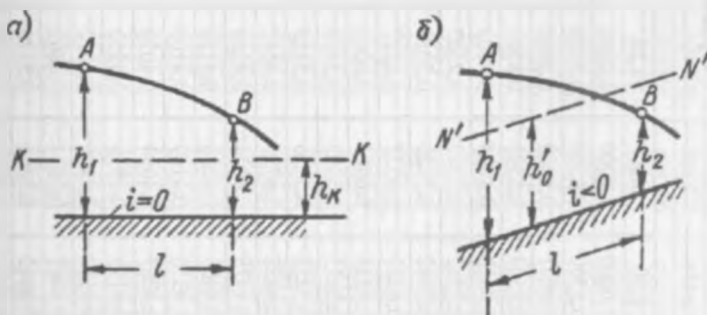
$i=0$ бўлган ҳолатда, $h=h_K$ ва $K=K_K$ эканлигини ҳисобга олиб, тенгламани қуйидагича ифодалаш мумкин.

$$\frac{i_K l}{h_K} = \bar{j}_K (\xi_2 - \xi_1) - \frac{1}{x+1} [\xi_2^{x+1} - \xi_1^{x+1}] \quad (8.145)$$

ёки

$$\frac{i_K l}{h_K} = (\bar{j}_K - 1) (\xi_2 - \xi_1) - [\varphi(\xi_2) - \varphi(\xi_1)], \quad (8.146)$$

бунда $\bar{j}_K$ — j_K параметрининг ўртача қиймати. Уни (8.139) ва (8.140) формулалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин (8.38-расм).



8.38-расм. $i=0$ ва $i<0$ бўлган ҳолатларда эркин сирт эгриликларининг кўринишлари: а) (8.145) ва (8.146) тенгламалар учун; б) (8.151) тенглама учун

$$\xi_1 = \frac{h_1}{h_K} \quad \text{ва} \quad \xi_2 = \frac{h_2}{h_K} \quad (8.147)$$

бўлиб, 8.2-жадвал ёрдамида $\varphi(\xi_1)$ ва $\varphi(\xi_2)$ функциялар аниқланади.

$\varphi(\xi)$ функциянинг горизонтал тубли сув ўтказгич ($i = 0$) ва гидравлик курсаткич x қийматлари турлича бўлгандаги қийматлари жадвали

ξ	x									
	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	5,50
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,05	0,9501	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500
0,10	0,9003	0,9001	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000
0,15	0,8511	0,8504	0,8501	0,8501	0,8500	0,8500	0,8500	0,8500	0,8500	0,8500
0,20	0,8027	0,8010	0,8004	0,8003	0,8002	0,8001	0,8001	0,8000	0,8000	0,8000
0,25	0,7552	0,7552	0,7509	0,7507	0,7504	0,7503	0,7502	0,7501	0,7500	0,7500
0,30	0,7090	0,7042	0,7020	0,7014	0,7010	0,7007	0,7005	0,7002	0,7001	0,7001
0,35	0,6643	0,6573	0,6537	0,6527	0,6520	0,6514	0,6511	0,6506	0,6503	0,6502
0,40	0,6213	0,6116	0,6064	0,6048	0,6036	0,6027	0,6021	0,6012	0,6007	0,6004
0,45	0,5804	0,5675	0,5602	0,5579	0,5561	0,5547	0,5537	0,5523	0,5514	0,5509
0,50	0,5417	0,5252	0,5156	0,5119	0,5098	0,5078	0,5063	0,5040	0,5026	0,5017
0,55	0,5054	0,4852	0,4729	0,4685	0,4651	0,4623	0,4601	0,4568	0,4546	0,4532
0,60	0,4720	0,4478	0,4324	0,4268	0,4223	0,4186	0,4156	0,4109	0,4078	0,4056
0,61	0,4656	0,4406	0,4246	0,4188	0,4140	0,4101	0,4069	0,4020	0,3986	0,3962
0,62	0,4594	0,4336	0,4169	0,4108	0,4059	0,4017	0,3983	0,3931	0,3894	0,3869
0,63	0,4533	0,4267	0,4094	0,4030	0,3978	0,3935	0,3898	0,3843	0,3804	0,3776
0,64	0,4474	0,4199	0,4019	0,3953	0,3898	0,3853	0,3815	0,3756	0,3714	0,3685
0,65	0,4415	0,4132	0,3946	0,3877	0,3820	0,3772	0,3732	0,3670	0,3626	0,3594
0,66	0,4358	0,4067	0,3874	0,3802	0,3743	0,3692	0,3650	0,3585	0,3538	0,3503
0,67	0,4303	0,4003	0,3804	0,3729	0,3667	0,3614	0,3570	0,3501	0,3451	0,3414
0,68	0,4248	0,3940	0,3735	0,3657	0,3592	0,3537	0,3491	0,3418	0,3365	0,3325
0,69	0,4195	0,3879	0,3667	0,3586	0,3518	0,3461	0,3413	0,3336	0,3280	0,3238
0,70	0,4143	0,3820	0,3600	0,3517	0,3446	0,3387	0,3336	0,3256	0,3196	0,3151

0,71	0,4093	0,3762	0,3535	0,3449	0,3376	0,3314	0,3261	0,3176	0,3113	0,3066
0,72	0,4044	0,3705	0,3472	0,3382	0,3307	0,3242	0,3187	0,3098	0,3032	0,2982
0,73	0,3997	0,3650	0,3410	0,3318	0,3239	0,3172	0,3115	0,3022	0,2952	0,2899
0,74	0,3951	0,3596	0,3350	0,3254	0,3173	0,3104	0,3044	0,2947	0,2874	0,2817
0,75	0,3906	0,3544	0,3291	0,3193	0,3109	0,3037	0,2975	0,2874	0,2797	0,2737
0,76	0,3863	0,3493	0,3234	0,3133	0,3046	0,2972	0,2907	0,2802	0,2721	0,2658
0,77	0,3822	0,3444	0,3179	0,3075	0,2985	0,2908	0,2841	0,2732	0,2647	0,2581
0,78	0,3782	0,3397	0,3125	0,3018	0,2926	0,2847	0,2777	0,2664	0,2575	0,2506
0,79	0,3743	0,3352	0,3074	0,2964	0,2869	0,2787	0,2715	0,2597	0,2505	0,2432
0,80	0,3707	0,3308	0,3024	0,2911	0,2814	0,2729	0,2655	0,2533	0,2437	0,2361
0,81	0,3672	0,3267	0,2975	0,2861	0,2761	0,2674	0,2597	0,2471	0,2371	0,2291
0,82	0,3638	0,3226	0,2930	0,2812	0,2710	0,2620	0,2541	0,2410	0,2307	0,2223
0,83	0,3606	0,3188	0,2886	0,2766	0,2661	0,2569	0,2488	0,2352	0,2245	0,2158
0,84	0,3576	0,3152	0,2845	0,2722	0,2614	0,2520	0,2436	0,2297	0,2185	0,2095
0,85	0,3547	0,3118	0,2805	0,2679	0,2570	0,2473	0,2387	0,2244	0,2129	0,2035
0,86	0,3520	0,3085	0,2768	0,2639	0,2528	0,2428	0,2341	0,2193	0,2074	0,1977
0,87	0,3495	0,3055	0,2732	0,2602	0,2488	0,2387	0,2297	0,2145	0,2023	0,1922
0,88	0,3472	0,3026	0,2699	0,2567	0,2450	0,2347	0,2256	0,2100	0,1974	0,1870
0,89	0,3450	0,3000	0,2669	0,2534	0,2415	0,2310	0,2217	0,2058	0,1928	0,1821
0,90	0,3430	0,2976	0,2640	0,2504	0,2383	0,2276	0,2181	0,2018	0,1886	0,1776
0,905	0,3421	0,2965	0,2626	0,2489	0,2368	0,2260	0,2164	0,2000	0,1866	0,1754
0,910	0,3412	0,2954	0,2614	0,2476	0,2354	0,2245	0,2148	0,1982	0,1846	0,1733
0,915	0,3404	0,2944	0,2602	0,2463	0,2340	0,2231	0,2133	0,1965	0,1828	0,1714
0,920	0,3396	0,2934	0,2591	0,2451	0,2327	0,2217	0,2118	0,1949	0,1811	0,1695
0,925	0,3388	0,2925	0,2580	0,2439	0,2315	0,2204	0,2104	0,1934	0,1794	0,1677
0,930	0,3381	0,2916	0,2570	0,2429	0,2303	0,2191	0,2091	0,1920	0,1778	0,1660
0,935	0,3375	0,2908	0,2561	0,2418	0,2292	0,2180	0,2079	0,1906	0,1764	0,1644
0,940	0,3369	0,2901	0,2552	0,2409	0,2282	0,2169	0,2068	0,1894	0,1750	0,1629

0,71	0,4093	0,3762	0,3535	0,3449	0,3376	0,3314	0,3261	0,3176	0,3113	0,3066
0,72	0,4044	0,3705	0,3472	0,3382	0,3307	0,3242	0,3187	0,3098	0,3032	0,2982
0,73	0,3997	0,3650	0,3410	0,3318	0,3239	0,3172	0,3115	0,3022	0,2952	0,2899
0,74	0,3951	0,3596	0,3350	0,3254	0,3173	0,3104	0,3044	0,2947	0,2874	0,2817
0,75	0,3906	0,3544	0,3291	0,3193	0,3109	0,3037	0,2975	0,2874	0,2797	0,2737
0,76	0,3863	0,3493	0,3234	0,3133	0,3046	0,2972	0,2907	0,2802	0,2721	0,2658
0,77	0,3822	0,3444	0,3179	0,3075	0,2985	0,2908	0,2841	0,2732	0,2647	0,2581
0,78	0,3782	0,3397	0,3125	0,3018	0,2926	0,2847	0,2777	0,2664	0,2575	0,2506
0,79	0,3743	0,3352	0,3074	0,2964	0,2869	0,2787	0,2715	0,2597	0,2505	0,2432
0,80	0,3707	0,3308	0,3024	0,2911	0,2814	0,2729	0,2655	0,2533	0,2437	0,2361
0,81	0,3672	0,3267	0,2975	0,2861	0,2761	0,2674	0,2597	0,2471	0,2371	0,2291
0,82	0,3638	0,3226	0,2930	0,2812	0,2710	0,2620	0,2541	0,2410	0,2307	0,2223
0,83	0,3606	0,3188	0,2886	0,2766	0,2661	0,2569	0,2488	0,2352	0,2245	0,2158
0,84	0,3576	0,3152	0,2845	0,2722	0,2614	0,2520	0,2436	0,2297	0,2185	0,2095
0,85	0,3547	0,3118	0,2805	0,2679	0,2570	0,2473	0,2387	0,2244	0,2129	0,2035
0,86	0,3520	0,3085	0,2768	0,2639	0,2528	0,2428	0,2341	0,2193	0,2074	0,1977
0,87	0,3495	0,3055	0,2732	0,2602	0,2488	0,2387	0,2297	0,2145	0,2023	0,1922
0,88	0,3472	0,3026	0,2699	0,2567	0,2450	0,2347	0,2256	0,2100	0,1974	0,1870
0,89	0,3450	0,3000	0,2669	0,2534	0,2415	0,2310	0,2217	0,2058	0,1928	0,1821
0,90	0,3430	0,2976	0,2640	0,2504	0,2383	0,2276	0,2181	0,2018	0,1886	0,1776
0,905	0,3421	0,2965	0,2626	0,2489	0,2368	0,2260	0,2164	0,2000	0,1866	0,1754
0,910	0,3412	0,2954	0,2614	0,2476	0,2354	0,2245	0,2148	0,1982	0,1846	0,1733
0,915	0,3404	0,2944	0,2602	0,2463	0,2340	0,2231	0,2133	0,1965	0,1828	0,1714
0,920	0,3396	0,2934	0,2591	0,2451	0,2327	0,2217	0,2118	0,1949	0,1811	0,1695
0,925	0,3388	0,2925	0,2580	0,2439	0,2315	0,2204	0,2104	0,1934	0,1794	0,1677
0,930	0,3381	0,2916	0,2570	0,2429	0,2303	0,2191	0,2091	0,1920	0,1778	0,1660
0,935	0,3375	0,2908	0,2561	0,2418	0,2292	0,2180	0,2079	0,1906	0,1764	0,1644

0,945	0,3363	0,2894	0,2544	0,2400	0,2273	0,2159	0,2057	0,1882	0,1737	0,1615
0,950	0,3358	0,2888	0,2536	0,2392	0,2264	0,2150	0,2048	0,1871	0,1725	0,1602
0,955	0,3353	0,2882	0,2529	0,2385	0,2256	0,2142	0,2039	0,1861	0,1714	0,1591
0,960	0,3349	0,2877	0,2523	0,2378	0,2249	0,2134	0,2031	0,1853	0,1705	0,1580
0,965	0,3345	0,2872	0,2518	0,2372	0,2243	0,2128	0,2024	0,1845	0,1696	0,1570
0,970	0,3342	0,2868	0,2513	0,2367	0,2238	0,2122	0,2017	0,1838	0,1688	0,1562
0,975	0,3339	0,2865	0,2509	0,2363	0,2233	0,2117	0,2012	0,1832	0,1682	0,1555
0,980	0,3337	0,2862	0,2506	0,2359	0,2229	0,2113	0,2008	0,1827	0,1677	0,1549
0,985	0,3336	0,2860	0,2503	0,2357	0,2226	0,2110	0,2005	0,1823	0,1672	0,1545
0,990	0,3334	0,2858	0,2502	0,2355	0,2224	0,2107	0,2002	0,1821	0,1669	0,1541
0,995	0,3334	0,2857	0,2500	0,2353	0,2223	0,2103	0,2000	0,1819	0,1667	0,1539
1,000	0,3333	0,2857	0,2500	0,2353	0,2222	0,2105	0,2000	0,1818	0,1667	0,1539
1,005	0,3334	0,2857	0,2500	0,2353	0,2223	0,2106	0,2001	0,1819	0,1667	0,1539
1,010	0,3334	0,2858	0,2501	0,2355	0,2224	0,2107	0,2002	0,1821	0,1669	0,1541
1,015	0,3336	0,2860	0,2504	0,2357	0,2226	0,2110	0,2005	0,1823	0,1673	0,1545
1,020	0,3337	0,2862	0,2506	0,2360	0,2229	0,2113	0,2008	0,1827	0,1677	0,1550
1,025	0,3340	0,2865	0,2509	0,2363	0,2233	0,2117	0,2013	0,1833	0,1683	0,1556
1,030	0,3343	0,2869	0,2514	0,2368	0,2238	0,2123	0,2019	0,1839	0,1690	0,1564
1,035	0,3346	0,2873	0,2519	0,2373	0,2244	0,2129	0,2025	0,1847	0,1699	0,1574
1,040	0,3349	0,2877	0,2525	0,2380	0,2251	0,2136	0,2033	0,1856	0,1709	0,1585
1,045	0,3354	0,2883	0,2531	0,2387	0,2259	0,2145	0,2042	0,1866	0,1721	0,1598
1,05	0,3359	0,2889	0,2539	0,2395	0,2268	0,2154	0,2053	0,1878	0,1734	0,1613
1,06	0,3370	0,2904	0,2556	0,2414	0,2289	0,2177	0,2077	0,1905	0,1764	0,1647
1,07	0,3384	0,2921	0,2577	0,2437	0,2313	0,2203	0,2105	0,1938	0,1801	0,1688
1,08	0,3399	0,2940	0,2601	0,2463	0,2342	0,2234	0,2138	0,1976	0,1845	0,1737
1,09	0,3417	0,2963	0,2629	0,2494	0,2375	0,2270	0,2177	0,2021	0,1895	0,1794
1,10	0,3437	0,2988	0,2660	0,2528	0,2412	0,2311	0,2221	0,2071	0,1953	0,1858
1,11	0,3459	0,3017	0,2695	0,2566	0,2454	0,2356	0,2270	0,2128	0,2017	0,1932

1,12	0,3483	0,3048	0,2734	0,2609	0,2501	0,2407	0,2325	0,2191	0,2090	0,2014
1,13	0,3510	0,3082	0,2776	0,2655	0,2552	0,2462	0,2385	0,2261	0,2170	0,2105
1,14	0,3539	0,3119	0,2822	0,2706	0,2607	0,2523	0,2451	0,2338	0,2258	0,2205
1,15	0,3570	0,3160	0,2873	0,2762	0,2668	0,2589	0,2523	0,2422	0,2355	0,2316
1,16	0,3603	0,3203	0,2927	0,2822	0,2734	0,2661	0,2601	0,2513	0,2461	0,2437
1,17	0,3639	0,3250	0,2985	0,2886	0,2804	0,2738	0,2685	0,2612	0,2575	0,269
1,18	0,3677	0,3299	0,3047	0,2954	0,2880	0,2821	0,2775	0,2718	0,2699	0,2711
1,19	0,3717	0,3352	0,3114	0,3028	0,2961	0,2910	0,2873	0,2833	0,2833	0,2866
1,20	0,3760	0,3408	0,3184	0,3106	0,3048	0,3005	0,2977	0,2956	0,2977	0,3032
1,21	0,3805	0,3468	0,3259	0,3190	0,3140	0,3107	0,3088	0,3088	0,3131	0,3212
1,22	0,3853	0,3531	0,3338	0,3278	0,3238	0,3214	0,3205	0,3228	0,3296	0,3403
1,23	0,3903	0,3597	0,3422	0,3372	0,3341	0,3328	0,3331	0,3377	0,3472	0,3609
1,24	0,3955	0,3666	0,3510	0,3470	0,3450	0,3449	0,3463	0,3535	0,3659	0,3828
1,25	0,4010	0,3739	0,3604	0,3574	0,3566	0,3576	0,3604	0,3704	0,3858	0,4062
1,26	0,4068	0,3815	0,3701	0,3683	0,3687	0,3711	0,3752	0,3881	0,4069	0,4310
1,27	0,4128	0,3895	0,3803	0,3798	0,3815	0,3852	0,3908	0,4069	0,4293	0,4574
1,28	0,4191	0,3979	0,3911	0,3918	0,3949	0,4001	0,4072	0,4268	0,4530	0,4855
1,29	0,4256	0,4066	0,4023	0,4044	0,4089	0,4157	0,4245	0,4477	0,4781	0,5152
1,30	0,4323	0,4157	0,4140	0,4175	0,4236	0,4320	0,4426	0,4697	0,5044	0,5466
1,31	0,4394	0,4251	0,4262	0,4313	0,4390	0,4492	0,4616	0,4928	0,5323	0,5799
1,32	0,4467	0,4350	0,4390	0,4457	0,4551	0,4671	0,4815	0,5171	0,5616	0,6149
1,33	0,4542	0,4452	0,4522	0,4606	0,4719	0,4858	0,5023	0,5426	0,5925	0,652
1,34	0,4620	0,4558	0,4660	0,4762	0,4894	0,5053	0,5240	0,5693	0,6248	0,691
1,35	0,4701	0,4667	0,4803	0,4924	0,5076	0,5257	0,5468	0,5972	0,629	0,732
1,36	0,4785	0,4781	0,4953	0,5093	0,5266	0,5470	0,5705	0,6265	0,695	0,775
1,37	0,4871	0,4899	0,5107	0,5267	0,5463	0,5691	0,5952	0,657	0,732	0,821
1,38	0,4960	0,5021	0,5267	0,5449	0,5668	0,5922	0,621	0,689	0,771	0,868

1,39	0,5052	0,5146	0,5432	0,5637	0,5880	0,616	0,648	0,722	0,812	0,918
1,40	0,5147	0,5276	0,5604	0,5832	0,610	0,641	0,676	0,757	0,855	0,971
1,41	0,5244	0,5410	0,5781	0,603	0,633	0,667	0,705	0,793	0,900	1,026
1,42	0,5344	0,5548	0,597	0,624	0,657	0,694	0,735	0,831	0,946	1,083
1,43	0,5447	0,5691	0,615	0,646	0,681	0,721	0,766	0,870	0,955	1,143
1,44	0,5553	0,584	0,635	0,668	0,707	0,750	0,798	0,911	1,046	1,206
1,45	0,5660	0,599	0,655	0,691	0,733	0,780	0,832	0,953	1,099	1,272
1,46	0,577	0,614	0,676	0,715	0,760	0,810	0,867	0,997	1,154	1,341
1,47	0,589	0,630	0,697	0,740	0,788	0,842	0,903	1,043	1,212	1,412
1,48	0,601	0,647	0,719	0,765	0,817	0,875	0,940	1,091	1,272	1,487
1,49	0,613	0,664	0,742	0,791	0,847	0,909	0,979	1,140	1,334	1,565
1,50	0,625	0,681	0,766	0,818	0,878	0,945	1,1019	1,191	1,398	1,646
1,55	0,691	0,775	0,893	0,965	1,047	1,138	1,239	1,475	1,761	2,106
1,60	0,765	0,881	1,038	1,134	1,243	1,363	1,497	1,812	2,196	2,665
1,65	0,847	0,999	1,203	1,327	1,466	1,622	1,796	2,206	2,713	3,338
1,70	0,938	1,130	1,388	1,544	1,720	1,918	2,140	2,666	3,323	4,142
1,75	1,037	1,276	1,595	1,788	2,007	2,254	2,533	3,198	4,037	5,096
1,80	1,144	1,435	1,824	2,061	2,330	2,634	2,979	3,809	4,869	6,220
1,85	1,260	1,611	2,078	2,364	2,690	3,062	3,484	4,509	5,831	7,539
1,90	1,386	1,801	2,358	2,700	3,092	3,540	4,052	5,305	6,941	9,076
1,95	1,521	2,008	2,665	3,070	3,537	4,073	4,689	6,208	8,213	10,86
2,0	1,667	2,232	3,000	3,477	4,028	4,665	5,400	7,228	9,670	12,93
2,1	1,987	2,734	3,762	4,408	5,163	6,043	7,068	9,66	13,19	18,02
2,2	2,349	3,312	4,656	5,512	6,521	7,709	9,11	12,70	17,70	24,67
2,3	2,756	3,972	5,696	6,809	8,131	9,70	11,57	16,45	23,37	33,24
2,4	3,208	4,719	6,894	8,316	10,02	12,07	14,53	21,03	30,45	44,15
2,5	3,708	5,559	8,266	10,06	12,23	14,85	18,03	26,58	39,19	57,89
2,6	4,259	6,497	9,82	12,05	14,77	18,10	22,16	33,23	49,88	75,03

8.2-жадаалнинг давоми

2,7	4,861	7,540	11,58	14,33	17,70	21,87	27,00	41,17	62,87	96,23
2,8	5,517	8,70	13,57	16,91	21,06	26,21	32,62	50,56	78,52	122,3
2,9	6,23	9,97	15,78	19,82	24,87	31,19	38,19	61,61	97,24	153,9
3,0	7,00	11,36	18,25	23,08	29,18	36,87	46,60	74,53	119,5	192,3
3,5	11,79	20,42	35,02	45,80	59,89	78,34	102,6	176,2	303,9	526,6
4,0	18,33	33,57	61,00	82,18	110,8	149,4	197,1	369,4	679,7	1257,0
4,5	26,88	51,73	99,0	137,0	189,8	263,2	365,5	708,2	1380,0	2706,0
5,0	37,67	75,86	1520	215,9	306,6	436,0	621,0	1267,0	2600,0	5371,0
6,0	67,0	146,2	319,0	472,2	700,4	1041,0	1550,0	3458,0	7771,0	17575,0
7,0	108,3	253,3	594,0	912,9	1406,0	2169,0	3355,0	8079,0	19604,0	47884,0
8,0	163,7	406,7	1017,0	1614,0	2567,0	4095,0	6547,0	16843,0	43683,0	114093,0
9,0	234,0	617,0	1632,0	2666,0	4366,0	7169,0	11802,0	32202,0	88561,0	245291,0
10,0	324,3	894,0	2491,0	4175,0	7018,0	11831,0	19991,0	57491,0	166691,0	486491,0

8.14. ТУБИ ТЕСКАРИ НИШАБЛИ ($i = 0$) ЎЗАНЛАРДА ОҚИМНИНГ НОТЕКИС ХАРАКАТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИНИ БАХМЕТОВ УСУЛИ БЎЙИЧА ИНТЕГРАЛЛАШ

Бу ҳолатда сарф модули кўрсаткичини қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин:

$$\left(\frac{K}{K'_0}\right)^2 = \left(\frac{h}{h'_0}\right)^x \quad (8.148)$$

ёки

$$\boxed{(\kappa'^2) = \zeta^x} \quad (8.149)$$

ζ — нисбий чуқурлик; κ' — нисбий сарф модули.

$$\zeta = \frac{h}{h'_0}; \quad \kappa' = \frac{K}{K'_0} \quad (8.150)$$

Бу ҳолатда, ҳақиқий чуқурлик ва сарф модули қийматлари фараз қилинган h'_0 ва K'_0 катталиклар билан алмаштирилади (8.10 мавзуга қаранг).

(8.149) ифодани оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасининг IV кўринишига қўйсақ, $i < 0$ ҳолат учун қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\frac{n}{h_0} = -(\zeta_2 - \zeta_1) + (1 + \bar{j}') [\varphi(\zeta_2) - \varphi(\zeta_1)] \quad (8.151)$$

бунда $\bar{j}' - j'$ катталиклнинг қаралаётган соҳадаги ўртача қиймати.

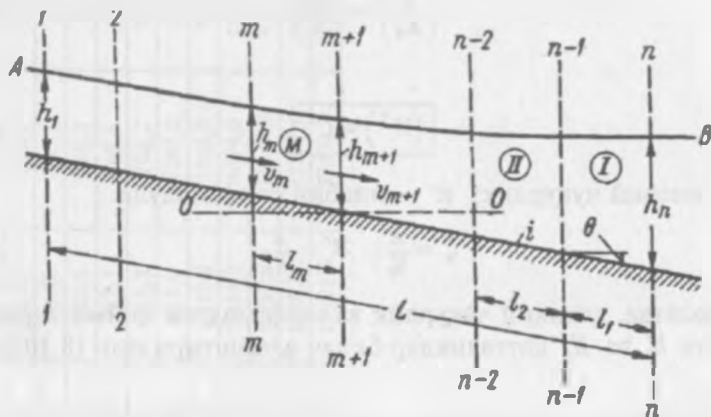
$$\zeta_1 = \frac{h_1}{h'_0}; \quad \zeta_2 = \frac{h_2}{h'_0} \quad (8.152)$$

$\varphi(\xi_1)$ ва $\varphi(\xi_2)$ функцияларнинг қийматлари нисбий чуқурликларнинг муайян қийматлари учун махсус жадвалларда берилган.

8.15. ОҚИМНИНГ ЭРКИН СИРТ ЭГРИЛИГИНИ ЯКУНИЙ ФАРҚ УСУЛИДА ЧИЗИШ

Режада узунлик бўйича катталигини ўзгартирувчи ўзанларда оқимнинг эркин сирт эгрилигини чизишда якуний фарқ усули, яъни Чарномский усулидан фойдаланилади. Ноцилиндрик ўзанлардаги оқимнинг эркин сирт эгрилигини чизишда эса асосий муаммолардан бири унинг қандай шаклда бўлишини олдиндан билиб бўлмаслигидир. Бундай соҳалар учун эркин сирт эгрилигини чизишда Бернулли тенгламасидан фойдаланамиз. Фараз қилайлик, ўзан ўлчамлари, сарф, ўзан соҳаси охиридаги чуқурлик берилган (8.39-расм, $n - n$ кесим-

да). Берилган ўзуннинг l узунликдаги соҳаси бир неча бўлимларга бўлинади. Бўлимлар узунлиги нисбатан бир хил қилиб олинади. Оқимга қарши йўналишда ҳар бир бўлим алоҳида кўриб чиқилади. Аввало I соҳани, кейин II ва ҳ.к. ҳисоблаб чиқамиз. Худди шу тарзда бўлимлар охиридаги чуқурликларни аниқлаб, кейин уларни туташтириш орқали оқимнинг эркин сирт эгрилигини чизамиз.



8.39-расм. Чарномский усулига доир

Масалан, M бўлимини кўриб чиқайлик. Бу бўлим m ва $(m+1)$ кесимлар билан чегараланган. Бу кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$il_m + h_m + \frac{\alpha v_m^2}{2g} = h_{m+1} + \frac{\alpha v_{m+1}^2}{2g} + \nabla h_l, \quad (8.153)$$

бунда il_m — m ва $(m+1)$ кесимлар орасидаги фарқ; v_m ва v_{m+1} — m ва $(m+1)$ кесимлардаги оқимларнинг ўртача тезликлари; ∇h_l — m кесимдан $(m+1)$ кесимгача бўлган узунликдаги оқим энергиясининг йўқолиши.

Энергия йўқолишини қуйидагича ифодалаш мумкин (8.2-мавзуга қаранг):

$$i_f = \frac{v^2}{C^2 R}, \quad (8.154)$$

Шунга асосан,

$$\nabla h_l = i_f l_m, \quad (8.155)$$

бунда i_f — l_m узунликдаги ишқаланиш нишаблигининг ўртача қиймати.

(8.155) ифодадан фойдаланиб, Бернулли тенгламасини қуйидаги кўринишда ифодалаймиз:

$$I_m = \frac{\vartheta_{m+1} - \vartheta_m}{i - i_f} \quad (8.156)$$

бундан,
$$\vartheta_m = h_m + \frac{\alpha v_m^2}{2g}; \quad \vartheta_{m+1} = h_m + \frac{\alpha v_{m+1}^2}{2g} \quad (8.157)$$

(8.156) ифодадаги $\bar{i}_f$ параметр қийматини қуйидаги формулалар ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$\bar{i}_f = \frac{1}{2}(i_{f_m} + i_{f_{m+1}}) \quad (8.158)$$

бунда i_{f_m} ва $i_{f_{m+1}}$ — чуқурликлар мавжуд бўлган кесимлардаги ишқаланиш нишабликлари, ёки

$$\bar{i}_f = \frac{\bar{v}^2}{C^2 \bar{R}} \quad (8.159)$$

бунда $\bar{v}$, $\bar{C}$, $\bar{R}$ — гидравлик элементлар

$$\bar{i}_f = \frac{\bar{v}^2}{C^2 \bar{R}} \quad (8.161)$$

чуқурлик учун ҳисобланган.

Бу ерда (8.156) тенглама *асосий ҳисоблаш тенгламаси* дейилади.

Ўзан туби горизонтал бўлса, $i = 0$ ҳамда тесқари нишабли $i = -i'$ (8.156) тенгламага қўйилади, бунда i' — абсолют нишаблик.

Оқимнинг эркин сирт эгрилигини чизишда танлаб олиш усулидан фойдаланилади. m кесим яқинидаги $h_{m_1}; h_{m_2}; h_{m_3}; \dots; h_{m_n}; \dots$ чуқурликлар берилади. Ҳар қайси чуқурлик қиймати учун ϑ_m ва i_f параметрлар ҳисобланади. Бу ҳисоб (8.156) тенглама шarti бажарилгунга қадар давом эттирилади.

Текшириш учун саволлар

1. Сув оқимининг нотекис ҳаракати моҳиятини тушунтириб беринг.
2. Сув оқимининг нотекис ҳаракати қандай ўзанларда кузатилади?
3. Сув оқимининг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламаси нечта куришишга эга?
4. Нотекис ҳаракат тенгламаси цилиндрик ва ноцилиндрик ўзанлар учун ёзилганда бир-биридан қандай фарқ қилади?
5. Сув оқимининг нотекис ҳаракати ўрганилаётганда қандай асосий тушунчалардан фойдаланилади? Уларнинг моҳиятини тушунтиринг.
6. Оқимнинг тинч, нотинч ва критик ҳолатларини қандай тушунасиш?
7. Эркин сирт эгрилигининг кўринишларини аниқлашда қандай асосий муносабатлардан фойдаланилади?
8. Сув оқимининг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини интегралланг.
9. Ўзаннинг гидравлик кўрсаткичи нима?

IX БОБ

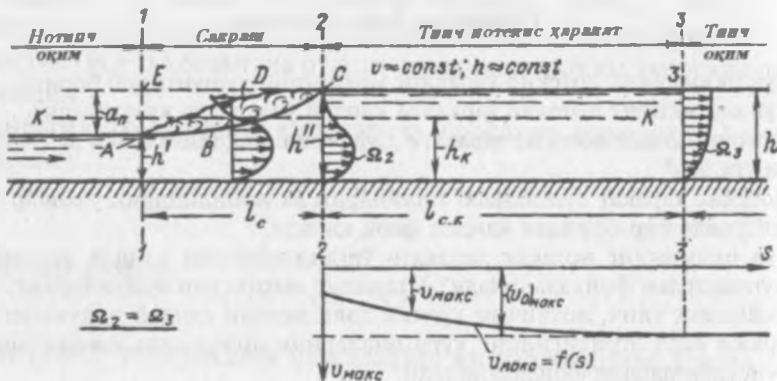
ГИДРАВЛИК САКРАШ. ГИДРАВЛИК САКРАШДАН КЕЙИНГИ УЧАСТКА. ТУБИНИНГ НИШАБЛИГИ ТЕЗ ЎЗГАРАДИГАН ЦИЛИНДРСИМОН ЎЗАНЛАРДАГИ ОҚИМ ЭРКИН СИРТ ЭГРИЛИГИНИНГ КЎРИНИШЛАРИ

9.1. УМУМИЙ КЎРСАТМАЛАР

Сув оқимининг очик ўзанлардаги барқарор ҳаракатини кўриб чиқамиз. Бунда ҳаракат турбулент тартибли бўлиб, квадрат қаршилик соҳасида деб ҳисоблаймиз. Бу ҳодисанинг физик моҳиятини қандай тушуниш мумкин? Маълумки, оқимнинг ўртача тезлиги h' чуқурлик соҳасида энг катта қийматга эга бўлади, яъни кинетик энергияси энг катта қийматга, потенциал энергия эса энг кичик қийматга эга бўлади. h'' чуқурлик соҳасида эса тезлик камайиб, минимал қийматга эга бўлади, яъни кинетик энергия камайиб, потенциал энергия энг катта қийматга эга бўлади. Оралиқ соҳада оқимнинг айланма ҳаракати вужудга келади.

Сув оқимининг нотинч ҳолатдан тинч ҳолатга ўтиши гидравлик ҳодиса орқали амалга ошади. Шунга асосланиб, унга қуйидагича таъриф бериш мумкин: сув оқимининг критик чуқурликдан кичик бўлган h' чуқурликнинг узидан катта бўлган h'' чуқурликка кескин ўтиши ҳодисаси гидравлик сакраш дейилади.

9.1-расмда кўрсатилган a_c гидравлик сакраш баландлиги деб аталади, 1-1 ва 2-2 кесимларга мос келувчи h' ва h'' чуқурликлар туташ чуқурликлар дейилади.



9.1-расм. Гидравлик сакраш ва ундан кейинги участка.
Бу участкада оқимнинг жонз максимал тезлиги графиги

Шунга эътибор бериш керакки, эркин сатҳ эгрилиги чизигини кесиб ўтган деярли барча ҳолларда гидравлик сакраш ҳодисаси рўй беради. Бу ҳодисага қуйидагича тавсиф беришимиз мумкин.

1-1 ва 2-2 ажратиб олинган кесимлардан ABC чегараланиш сирти кузатилади. Оқимнинг бу сирти пастки қисмида оқим ўз чуқурлигини кескин h' қийматдан h'' қийматгача ўзгартиради. Унинг юқори қисмида тартибсиз ҳолатдаги айланма ҳаракатни кузатишимиз мумкин. Бу қисмда оқим ҳаво билан аралашган бўлади. Шунинг учун унинг кўриниши нормал ҳолатдагидан фарқ қилади. Ақтуал тезликлар ҳисобига бу иккала соҳадаги сув миқдорлари ўзаро алмашиб туради. Бундан ташқари, гидравлик сакраш бир жойда рўй бермасдан, ўз ўрнини ўзгартириб туради.

Гидравлик сакраш рўй берганда, асосан, энергиянинг маҳаллий йўқолиши муҳим рол ўйнайди. Гидравлик сакраш рўй бергандан кейинги участка *гидравлик сакрашдан кейинги* участка деб аталади. У қуйидаги асосий жиҳатлари билан ажралиб туради.

2-2 кесимда оқим ўртача тезлигининг ўзгаришини кўрсатувчи эпюра 9.1-расмда кўрсатилганидек бўлади. Сиртда жойлашган C нуқтада тезлик бўлади, лекин ўзан туби яқинидаги оқимнинг ўртача тезлиги катта қийматга эга бўлади. Гидравлик сакраш натижасида гидродинамик босим ва ақтуал тезликлар кескин ошади ва шу сабабли гидравлик сакрашдан кейин турбулентлик даражаси юқори бўлган оқим пайдо бўлиши кузатилади.

Сакрашдан кейинги $l_{с.к}$ участка узунлигида 2-2 ва 3-3 кесимлар оралигида пульсация секин камаяди ва оқим текис ҳаракатлана бошлайди, бунда ўртача тезлик эпюраси ҳам текис ҳаракатдаги кўринишни олади.

Гидравлик сакрашдан кейин ўзан тубига яқин соҳада тезлиكنинг ва пульсациянинг юқорилиги оқимнинг ювувчанлик хусусиятини оширади. Агар 3-3 кесимда оқимнинг ювувчанлик тезлиги текис ҳаракат бўлган ҳолат учун аниқланса, 2-2 кесимда юқорида айтилганларни ҳисобга олган ҳолда, ювувчанлик хусусиятига мос келувчи ювувчан тезлик бошқача катталиқка эга бўлиб, бу қиймат 3-3 кесимдагига нисбатан кичик бўлади. Гидравлик сакрашдан кейин оқимнинг энг катта $v_{макс}$ тезлиги 9.1-расмдаги график кўринишида ўзгаради. Оқимнинг ювувчанлик хусусияти эса кескин камайиб, 3-3 кесимда текис ҳаракатдаги қийматга тенг бўлади.

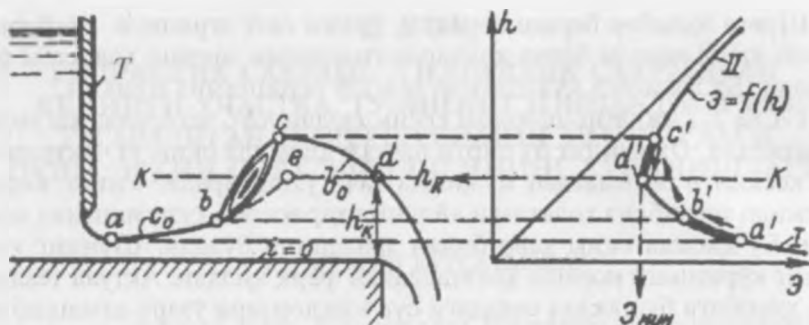
Бир қанча тадқиқотчилар томонидан бу участка узунлиги бўйича тақлифлар киритилган бўлиб, у қуйидагича аниқланади:

$$l_{с.к} = (10 + 30) h \quad (9.1)$$

ёки Н.Н.Чертоусов тақлифига асосан

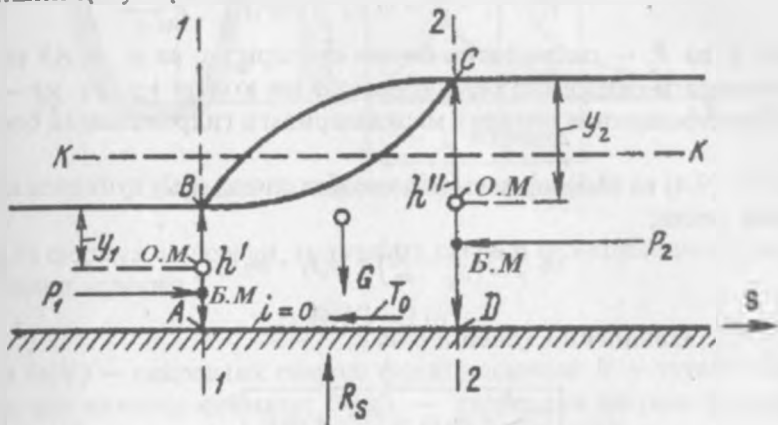
$$l_{с.к} = (2,5 + 3,0) l_c, \quad (9.1')$$

бунда l_c - гидравлик сакраш узунлиги.



9.2. ГИДРАВЛИК САКРАШНИНГ АСОСИЙ ТЕНГЛАМАСИ

Гидравлик сакрашнинг асосий тенгламасини келтириб чиқариш учун кундаланг кесими тўғри тўртбурчак ёки шунга яқин бўлган цилиндрсимон узанлардаги сакрашни ўрганиб, қуйидаги иккита чекланишни қабул қиламиз.



9.3-расм. Гидравлик сакраш схемаси

Ўзан тубининг узунлик бўйича нишаблиги кичик қийматга эга бўлганлиги учун шу оралиқда ўзан туби нишаблиги горизонтал (биринчи чекланиш) ҳолатда деб қабул қиламиз. 9.3-расмдаги AB кесимда оқим ҳаракати текис ўзгарувчан, лекин CD кесимдаги ҳаракатни текис ўзгарувчан деб қараш мумкин эмас. Лекин, биз, ҳар иккала кесимдаги оқимнинг ҳаракати текис ўзгарувчан деб қабул қиламиз (иккинчи чекланиш). s ўқ ўзан туби бўйлаб йўналган бўлади. Бизнинг олдимиздаги асосий муаммо туташ чуқурликлар (h' ва h'') орасидаги ўзаро аналитик боғлиқликни топишдан иборатдир. Бунинг учун $ABCD$ бўлимдаги суюқлик учун ҳаракатлар сони тенгламасини ёзамиз:

$$\alpha_0 \rho Q (v_2 - v_1) = T_{0s} + G_s + R_s + P_s, \quad (9.2)$$

бунда v_1 ва v_2 — оқимнинг AB ва CD кесимлардаги ўртача тезлиги; T_{0s} — ташқи таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг s ўққа проекцияси, бу катталиқ ниҳоятда кичик бўлганлиги сабабли уни эътиборга олмаслик мумкин (учинчи чекланиш):

$$T_{0s} = 0. \quad (9.3)$$

G_s — $ABCD$ бўлимдаги суюқлик оғирлигининг проекцияси; R_s — реакция кучининг проекцияси:

$$G_i = 0; R_i = 0. \quad (9.4)$$

Иккинчи чекланишни ҳисобга олган ҳолда, 2-2 кесимда босим гидростатика қонунига асосан тақсимланади. Бу ҳолда P_i куч қуйидагича аниқланади:

$$P_i = P_1 - P_2 = \omega_1 y_1 \gamma - \omega_2 y_2 \gamma, \quad (9.5)$$

бунда P_1 ва P_2 — гидростатик босим кучлари; ω_1 ва ω_2 — AB ва CD кесимлардаги оқимнинг ҳаракатдаги кесим юзаси; $y_1 \gamma$ ва $y_2 \gamma$ — AB ва CD кесимларнинг оғирлик марказларидаги гидродинамик босимлар.

(9.3), (9.4) ва (9.5) ифодаларни ҳисобга олсак, (9.2) қуйидаги кўринишни олади:

$$\alpha_0 \frac{\rho}{\gamma} Q \left(\frac{Q}{\omega_2} - \frac{Q}{\omega_1} \right) = \omega_1 y_1 - \omega_2 y_2 \quad (9.6)$$

ёки $\frac{\rho}{\gamma} = \frac{1}{g}$ эканлигини ҳисобга олсак,

$$\boxed{\frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega_2} + \omega_2 y_2 = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega_1} + \omega_1 y_1} \quad (9.7)$$

Ушбу тенглама *туби тўғри нишабли узун цилиндрсимон ўзанлардаги гидравлик сакрашнинг асосий тенгламаси* дейилади. Тенгламани келтириб чиқаришда ҳаракатдаги кесим бўйлаб тезлик тақсимланишининг бир хил эканлигини ҳисобга олувчи коэффициентлар $\alpha_{01} = \alpha_{02} = \alpha_0$ (тўртинчи чекланиш) деб қабул қилинди. Шунинг таъкидлаш керакки, CD кесимда тезлиكنинг бир хил эмаслиги (9.1-расмга қаранг) ва пульсациянинг юқорилиги ҳисобига $\alpha_{01} = 1,0$ дан кескин фарқ қилади.

9.3. ГИДРАВЛИК САКРАШ ФУНКЦИЯСИ. ТУТАШ ЧУҚУРЛИКЛАР КАТТАЛИГИНИНГ БИРИГА АСОСАН ИККИНЧИНИ АНИҚЛАШ

Агар ўзан ва ундаги сарф маълум бўлса, у ҳолда (9.7) тенгламанинг чап ва ўнг томонлари мос равишда h'' ва h' туташ чуқурликлар функциялари бўлиб қолади (9.4-расм, а).

Юқоридаги мулоҳазани ҳисобга олсак, қуйидаги функциянинг боғлиқликни ёзишимиз мумкин:

$$\frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega} + y \omega = \Theta(h), \quad (9.8)$$

бунда h — берилган кесимдаги чуқурлик; ω ва y — кесимнинг ҳаракатдаги кесими ва оғирлик маркази координатаси.

9.4. Тўғри тўртбурчакли цилиндрсимон ўзанлар учун ГИДРАВЛИК САКРАШНИНГ АСОСИЙ ТЕНГЛАМАСИ

Тўғри тўртбурчакли цилиндрсимон ўзанлар учун (9.7) кўринишдаги тенглама сезиларли даражада соддалашади.

Бундай ўзанлар учун қуйидагилар ўринлидир:

$$\omega = bh; \quad y = \frac{h}{2}; \quad q = \frac{Q}{b}; \quad Q = qb \quad (9.12)$$

бунда q — бирлик сарф миқдори, яъни ўзан кенглигидан оқадиган сарф миқдори.

Сакраш функциясини қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$\Theta(h) = \frac{\alpha_0 Q^2}{g\omega} + y\omega = \frac{\alpha_0 q^2 b^2}{gbh} + \frac{h}{2} bh \quad (9.13)$$

ёки

$$\Theta(h) = b \left(\frac{\alpha_0 q^2}{gh} + \frac{h^2}{2} \right). \quad (9.14)$$

Энди ўзанинг 1 м кенглигини ўрганиб, бунда солиштирма ёки бирлик сакраш функцияси деган тушунча билан танишамиз:

$$\theta(h) = \frac{\Theta(h)}{b}. \quad (9.15)$$

Демак, (9.9) ўрнига қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$\theta(h') = \theta(h''). \quad (9.16)$$

(9.14) ва (9.15) ифодаларни ҳисобга олсак,

$$\theta(h) = \frac{\alpha_0 q^2}{gh} + \frac{h^2}{2} \quad (9.17)$$

бунда

$$h_k^3 = \frac{\alpha q^2}{g} \quad (9.18)$$

эканлигини ҳисобга олиб, $\alpha = \alpha_0$ деб қабул қилиб, қуйидаги кўринишдаги ифодага эга бўламиз:

$$\theta(h) = \frac{h_k^3}{h} + \frac{h^2}{2}. \quad (9.19)$$

(9.19) формуладан фойдаланиб, (9.16) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{h_k^3}{h'} + \frac{h'^2}{2} = \frac{h_k^3}{h''} + \frac{h''^2}{2}, \quad (9.20)$$

бундан

$$h_k^3 \left(\frac{1}{h'} - \frac{1}{h''} \right) = \frac{h'^2}{2} - \frac{h''^2}{2} \quad (9.21)$$

ёки

$$2h_k^3 = \frac{h'^2 - h''^2}{\frac{1}{h'} - \frac{1}{h''}} \quad (9.22)$$

ёки

$$2h_k^3 = h'h''(h' + h''). \quad (9.23)$$

Охирги тенгламани h' ва h'' га нисбатан ечсак, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$h' = \frac{h''}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h''}{h'} \right)^3} - 1 \right] \quad (9.24)$$

$$h'' = \frac{h'}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h''}{h'} \right)^3} - 1 \right] \quad (9.25)$$

Демак, (9.24) ва (9.25) ифодалар ёрдамида сакраш функциясини чизмасдан, туташ чуқурликларни топиш мумкин деган хулосага келишимиз мумкин.

(9.24) формуладаги $8 \left(\frac{h''}{h'} \right)^3$ ифода ўрнига қуйидагини ёзиш мумкин:

$$8 \left(\frac{h''}{h'} \right)^3 = 8 \frac{1}{h'^3} \frac{\alpha q^2}{g} = \frac{8 \alpha q^2}{g h'^3} = \frac{8 \alpha v_2^2}{g h'} \quad (9.26')$$

Худди шу тарзда, (9.25) формуладаги $8 \left(\frac{h''}{h'} \right)^3$ ифода ўрнига қуйидагини ёзиш мумкин:

$$8 \left(\frac{h''}{h'} \right)^3 = 8 \frac{1}{h'^3} \frac{\alpha q^2}{g} = \frac{8 \alpha q^2}{g h'^3} = \frac{8 \alpha v_2^2}{g h'} \quad (9.26'')$$

Агар (9.24) ва (9.25) формулаларни нисбий чуқурлик ёрдамида ифодаламоқчи бўлсак, у ҳолда қуйидагича бўлади: бунинг учун (9.23) ифоданинг ҳар иккала томонини h_c^3 га бўламиз:

$$\xi \xi'' (\xi' + \xi'') = 2. \quad (9.27)$$

Бундан

$$\xi' = \frac{\xi''}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8}{\xi'^3}} - 1 \right). \quad (9.28)$$

Ушбу формула ёрдамида А.А.Угинчус ҳисоблаш графигини тузган бўлиб, у ёрдамида номаълум туташ чуқурликни аниқлаш мумкин.

9.5. ТУБИ ГОРИЗОНТАЛ БЎЛГАН ТЎҒРИ ТЎРТБУРЧАКЛИ ЎЗАНЛАРДА ЭРКИН ГИДРАВЛИК САКРАШ УЗУНЛИГИ. САКРАШДА ЭНЕРГИЯНИНГ ЙЎҚОЛИШИ

Биз юқорида гидравлик сакраш ҳодисасини ўрганиш жараёнида фақат бўйлама параметрларни аниқлаш билан танишдик. Умуман, лойиҳалаштириш амалиётида унинг узунлик бўйича ўлчамларини билиш ҳам талаб этилади. Масалан, гидравлик сакраш узунлиги $l_{\text{гс}}$ (9.1-расмга қаранг). Бу параметрни аниқлаш бўйича кўпгина тадқиқотлар ўтказилган бўлса ҳам, ҳозиргача унинг аниқ назарий ечими

таклиф этилмаган. Ҳозирги вақтгача таклиф этилган формулалар таҳлили шуни кўрсатдики, бу формулаларнинг ҳар бири билан сакраш узунлиги ҳисобланганда, турлича натижа чиқиб, улар бир-биридан кескин фарқ қилади. Улардан нисбатан қўлаш мумкин бўлганлари қуйидагилардир:

а) Павловский формуласи (1937 йил):

$$l_{г.с} = 2,5(1,9h'' - h'); \quad (9.29)$$

б) Сафранец формуласи (1927-1930 йиллар):

$$l_{г.с} = 4,5h''; \quad (9.30)$$

в) Бахметов ва Матцке формуласи (1936 йил):

$$l_{г.с} = 5a_{г.с} = 5(h'' - h'); \quad (9.31)$$

г) АҚШ Мелиорация бюроси таклиф этган формула:

$$l_{г.с} = m_0(h'' - h'), \quad (9.32)$$

бунда

д) Н.Н.Чертоусов формуласи:

$$l_{г.с} = 10,3h'(\sqrt{\Pi_k - 1})^{0,81}, \quad (9.33)$$

бунда Π_k — кинетиклик параметри.

Юқоридаги мулоҳазалардан шундай хулоса қилиш мумкинки, гидравлик сакраш жараёнида энергиянинг йўқолиши рўй беради. Бу йўқолишни ўзан туби горизонтал ($i = 0$) бўлган ҳолат учун қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$E_{г.с} = \frac{a_{г.с}^3}{4h'h''}, \quad (9.34)$$

бунда $a_{г.с}$ — гидравлик сакраш баландлиги.

Бу ифодадан кўриниб турибдики, сакрашдаги энергия йўқолиши сакраш баландлигининг $1/3$ қисмига тўғри пропорционал, яъни сакраш баландлиги ошган сари $E_{г.с}$ ҳам ошади.

9.6. ГИДРАВЛИК САКРАШНИНГ АСОСИЙ КЎРИНИШЛАРИ

Гидравлик сакраш ҳодисаси амалиётда кўп кузатилади. Масалан, тўғонларда. Бу ҳолда гидравлик сакрашнинг қуйидаги алоҳида кўринишлари бўлиши мумкин:

а) кўмилган гидравлик сакраш;

б) чекланган сакраш — гидравлик сакраш кенг бўлмаган ўзанларда рўй беради. Масалан, тўғондан кейин ўзанда қурилган энергияни сўндирувчи ҳовузчаларда рўй берган гидравлик сакраш. Бундай кўринишдаги эркин кўмилмаган гидравлик сакрашлар, асосан,

призматик узанларда тубининг нишаблиги $i = 0$ бўлганда рўй бери-
шини инобатга олиш керак.

h' ва h'' туташ чуқурликлар орасидаги фарқ камайиши билан ташқи
ишқаланиш кучи (T_{α}) нинг миқдори оша бошлаб,

$$h' \leq 0,60h_x \quad (9.35)$$

шарт бажарилади. Буни амалий ҳисобларда инобатга олишга тўғри ке-
лади. Биз юқорида гидравлик сакрашнинг асосий тенгламасини кел-
тириб чиқаришда бунини ҳисобга олганимиз йўқ. Бошқача қилиб айтган-
да, бу иккала туташ чуқурликлар критик чуқурликка яқинлашади ва
гидравлик сакраш ташқаридан кўриниши бўйича сифат жиҳатдан ўзга-
ради. Бундай сакрашни *тулиқ амалга ошган сакраш* деб атаймиз.

Агар биринчи h' туташ чуқурлик катта қийматга эга бўлса, қуйи-
даги ҳолатлар бўлиши мумкин:

$$a) \quad 0,60h_x < h' \leq 0,70h_x \quad (9.36)$$

бу ҳолатда тулиқ амалга ошмаган сакраш бўлади. Бу ҳолатда сув
оқимининг айланма ҳаракати сезиларли катта бўлмайди ва шу са-
бабли, оқимнинг турбулентлик даражаси сакрашдан кейин кескин
ўзгармайди.

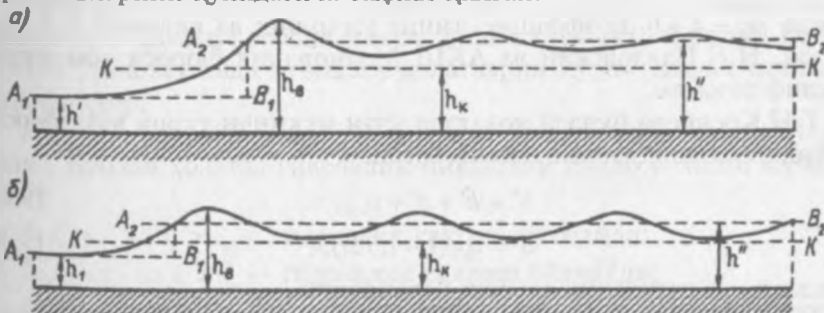
$$b) \quad 0,70h_x < h' \leq 0,85h_x \quad (9.37)$$

Бундай шарт бажарилганда, тўлқинсимон сакраш рўй беради (9.5-
расм, а). Бунда айланма ҳаракат деярли бўлмайди. Биринчи тўлқин ба-
ландлиги гидравлик сакраш баландлигидан (9.25-ифода асосида ҳисоб-
ланган) 1,5 баробар катта бўлади. Тўлқин узунлик бўйлаб суниб боради.

Узунлик давомида гидравлик сакраш иккинчи туташ чуқур-
лиги катталигига яқинлаша боради.

$$b) \quad 0,85h_x < h' \leq h_x \quad (9.38)$$

Бу ҳолат даврий сакрашда рўй беради (9.5-расм, б). Бундан таш-
қари, АҚШнинг Мелиорация бюроси гидравлик сакрашнинг турли
кўринишларини қуйидагича таҳлил қилган:



9.5-расм. Сўнувчи (а) ва даврий (б) тўлқинсимон гидравлик сакрашлар

а) $P_r = Fr = 1$ бўлганда оқим критик ҳолатда бўлиб, гидравлик сакраш шаклланмайди, бунда Fr — фруд сони:

$$Fr = \frac{v^2}{gl_c} = \frac{Q^2}{m^2 gl_c^3}. \quad (9.39)$$

б) $\sqrt{Fr} = 1 + 1,7$ бўлганда тулқинсимон сакраш амалга ошади;

в) $\sqrt{Fr} = 1,7 + 2,5$ бўлганда эса сустр гидравлик сакраш амалга ошади. Гидравлик сакраш рўй бераётганда соҳада эркин сиртда кичик-кичик айланма ҳаракатдаги қуринишлар пайдо бўлиши мумкин;

г) $\sqrt{Fr} = 2,5 + 4,5$ қийматларда тебранувчи гидравлик сакраш рўй беради. Оқим бўйича маълум масофадан сўнг тулқин пайдо бўлади. Бунда гидравлик сакраш доимий эмас;

д) $\sqrt{Fr} = 4,5 + 9,0$ — доимий гидравлик сакраш. Оғирлиги ўзгариб турувчи айланма ҳаракатдаги суюқлик массаси бўлиб, энергия йўқолиши 45÷70% ни ташкил этади;

е) $\sqrt{Fr} = 9,0$ — тўлиқ амалга ошаётган гидравлик сакраш. Бунда гидравлик сакрашнинг ҳамма элементлари аниқ ифодаланиб, энергия йўқолиши 85% ни ташкил қилади.

Биз юқорида, ўзан туби горизонтал ($i = 0$) бўлган ҳолат учунгина гидравлик сакрашлар узунликларни аниқлаш билан танишдик. Агар $i > 0$ бўлса, сакраш узунлиги Г.Н.Косякова формуласига асосан аниқланиши мумкин:

$$l_{r,c} = l'_{r,c} (1 + 3i), \quad (9.40)$$

бунда $l_{r,c}$ — ўзан туби горизонтал ҳолатда бўлган гидравлик сакраш узунлиги; i — ўзан туби нишаблиги, ёки

$$l_{r,c} = m (h'' - h'), \quad (9.41)$$

бунда $l'_{r,c}$ — тўғрилаш коэффиценти бўлиб, қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$m = \frac{m_0 (1 + 3i)}{1 + m_0 i (1 + 3i)} \quad (9.42)$$

бунда $m_0 = 4 + 6$ коэффицентнинг ўзгариши ва қиймати Б.А.Бахметов, Н.Н.Павловский ва АҚШ Мелиорация бюроси томонидан таклиф этилган.

Г.Н.Косякова бундай ҳолатлар учун иккинчи туташ чуқурликни қуйидагича аниқлашни таклиф этган:

$$h'' = h' + a' + il_{r,c}; \quad (9.43)$$

$$a' = a_{r,c} (1 - 1,75i), \quad (9.44)$$

бунда $a_{r,c}$ — гидравлик сакраш баландлиги.

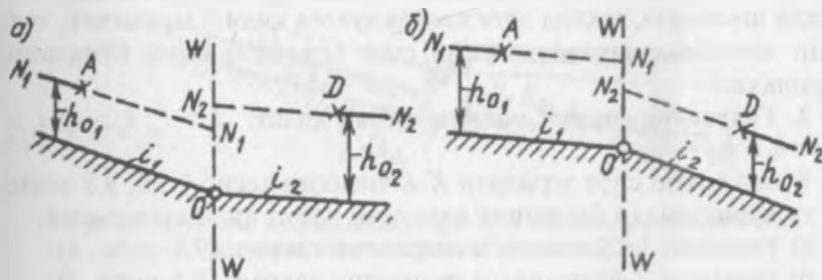
Умуман, шуни таъкидлаш керакки, гидравлик сакрашнинг ўрғаниш жараёнида тадқиқотчилар сакраш узунлиги, туташ чуқурлик-

лар ва сакраш кўринишини ўрганиш билангина чегараланиб қолмасдан, сакраш рўй бераётган соҳада оқим тезлигининг тақсимланиши, тезлик ва босимнинг ўзгариши, оқим ювувчанлик қобилиятининг ўзгариши ҳамда аэрация ҳодисасининг рўй беришини ўрганиш билан ҳам шуғулланишади.

Бундан ташқари, биз юқорида гидравлик сакраш фақат турбулент ҳолатда ҳаракатланаётган оқимларда рўй бериши билан танишдик, лекин бу ҳодиса маълум шароитларда ламинар ҳолатда ҳаракатланаётган оқимларда ҳам рўй бериши мумкин.

9.7. ЦИЛИНДРСИМОН КАНАЛЛАР ТУБИНИНГ НИШАБЛИГИ КЕСКИН ЎЗГАРГАНДА ОҚИМНИНГ ЭРКИН СИРТ ЭГРИЛИГИ ШАКЛЛАРИ

Биз бу мавзуда VIII бобда олган билимларимизни гидравлик сакраш ҳақидаги маълумотлар билан тўлдираимиз. 9.6-расмда тасвирланган O нуқтадан ўтувчи $W-W$ вертикалдан муайян масофаларда сув оқими текис барқарор ҳаракатланади, деб фараз қиламиз. Бу чуқурликларни h_{01} ва h_{02} деб қабул қиламиз.



9.6-расм. Тубининг нишаблиги кескин ўзгарган каналлар (O нуқтада)

Бундай ҳолатларда A ва D нуқталарнинг қандай туташишини аниқлашни ўз олдимизга асосий мақсад қилиб қўямиз (9.6-расм). Бу масалани ўрганаётганда қуйидаги ҳолатларни кўриб чиқиш мақсадга мувофиқдир:

1. ҳар иккала нишаблик (i_1 ва i_2) критик нишабликдан кичик бўлган ҳолат. Бундай ҳолатда гидравлик нишаблик пайдо бўлиши мумкин эмас;

2. $i_1 > i_k$ ва $i_2 > i_k$ — гидравлик сакраш бўлмайди;

3. $i_1 < i_k$ ва $i_2 > i_k$ — гидравлик сакраш бўлмайди;

4. $i_1 > i_k$ ва $i_2 < i_k$ — оқимнинг эркин сирт эгрилиги $K-K$ чизиқни кесиб ўтади. Демак, гидравлик сакраш ҳодисаси рўй беради.

1. Сакраш бўлмаган ҳолат. Эркин сирт эгригилини аниқлаш усулини қуйидаги мисол ёрдамида тушунтириш мумкин (9.7-расм):

1) N_1N_1 ва N_2N_2 нормал чуқурлик чизиқларининг $W-W$ текислик билан кесишган нуқталарини B ва C нуқталар билан белгилаб оламиз;

2) M нуқта билан $W-W$ текисликнинг эркин сирт билан кесишиш нуқтасини белгилаймиз. Буни M марка деб қабул қиламиз;

3) Энди M нуқтанинг эгаллаши мумкин бўлган вазиятларни куриб чиқамиз (9.7-расм). Бунда қуйидагича фикр юритамиз:

а) M марка C нуқтадан юқорида жойлашиши мумкин эмас, чунки бунда M_1D тушувчи сатҳга эга бўлишимиз мумкин. Бу зонада фақат a кўтариловчи эркин сирт эгрилиги бўлиши мумкин;

б) M марка C нуқтадан пастда жойлашиши мумкин эмас. Чунки бу зонада M_2D кўтариловчи эркин сирт бўлади, бу эса мумкин эмас. Чунки бунда b тушувчи эркин сирт эгрилиги бўлиши мумкин;

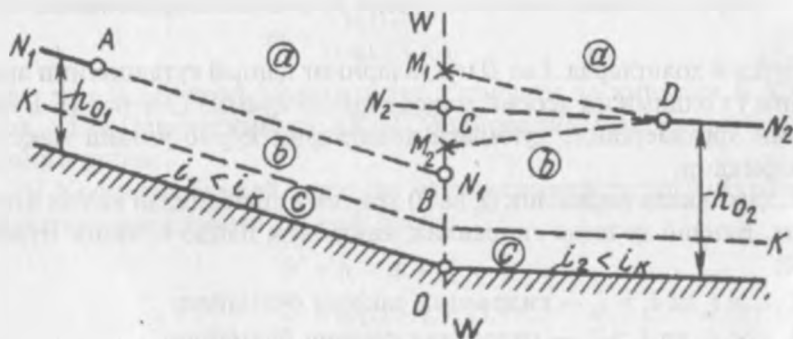
в) демак, M ва C нуқталар ўзаро устма-уст тушиши керак. Бундай ҳолатда, чап участкада a_1 — кўтариловчи эркин сирт эгрилиги бўлиб, ўнг участкада текис ҳаракат мавжуд бўлади. Бундан хулоса қилиш мумкинки, оқимнинг тинч ҳолатдаги ҳаракатини урганишда эркин сирт эгрилигини оқимга қарши йўналишда чизиш керак. Худди шу тарзда, таҳлил натижасида хулоса қилиш мумкинки, оқимнинг нотинч ҳаракатида эркин сирт эгрилиги оқим йўналишида қурилади.

2. Гидравлик сакраш мавжуд бўлган ҳолат. $i_1 > i_c$; $i_2 > i_c$; $i_1 > i_2$; $h_{01} < h_c$; $h_{02} < h_c$.

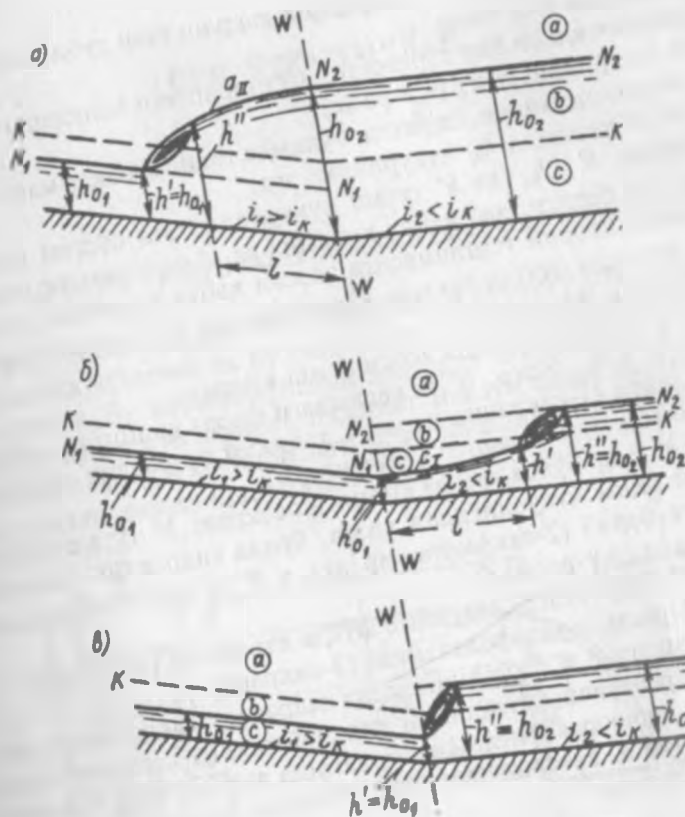
Бунда эркин сирт эгрилиги $K-K$ чизиқни кесиб ўтиб, 9.8-расмдаги уч кўринишдан бирининг ҳолатини қабул қилиши мумкин:

а) ўзанининг 1-булимидаги гидравлик сакраш (9.8-расм, a);

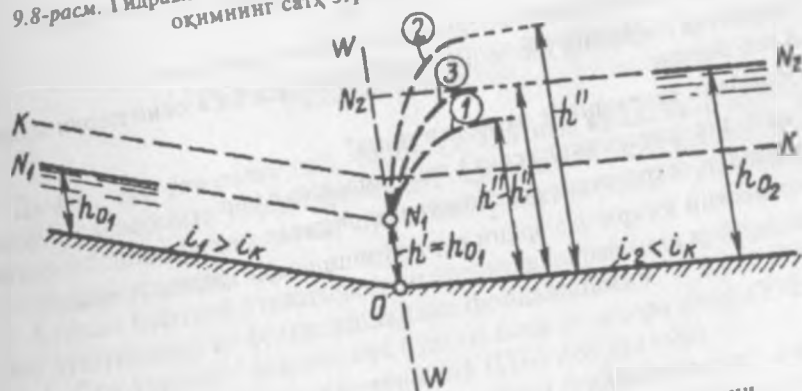
б) ўзанининг 2-булимидаги гидравлик сакраш (9.8-расм, b);



9.7-расм. Гидравлик сакраш ҳодисалари рўй бермаган ҳолатда эркин сирт эгрилигини қуришга доир



9.8-расм. Гидравлик сакраш мавжуд бўлганда каналда ҳаракатланаётган оқимнинг сатҳ эгрилигини чизишга доир



9.9-расм. Каналда гидравлик сакрашнинг жойлашишини аниқлашга доир

в) оралиқ кўриниш — гидравлик сакраш узан туби узгарган жой-да рўй беради (9.8-расм, в).

Булардан қайси бир кўринишда бўлишлигини аниқлаш учун қуйи-дагича фикр юритамиз (9.9-расм).

1. Фараз қилайлик, биринчи бўлимда текис ҳаракат мавжуд бўлиб оқим $W-W$ кесимда h_1 чуқурликка эга.

2. Бунда $h' = h_1$ ва h'' туташ чуқурликка эга бўлган гидравлик сакраш рўй беради, деб қабул қиламиз ва h'' катталикини гидравлик сакрашнинг асосий тенгламасига асосан қабул қиламиз. Бунда рўй бериши мумкин бўлган сакраш кўринишлари 9.9-расмда штрих чизиклар орқали ифодаланган.

3. Энди қуйидаги қоида асосида иш кўрамиз:

а) агар $h' < h_0$, бўлса, $W-W$ кесимдаги фараз қилинган сакрашнинг оқим кўмаяпти (1-сакрашга қаранг), ҳақиқий гидравлик сакраш биринчи бўлимда рўй бераёпти (9.8-расм, а);

б) агар $h' > h_0$, бўлса, фараз қилинган сакраш h'' туташ чуқурлиги ҳақиқий оқим чуқурлигидан катта, бунда гидравлик сакраш 2-бўлимда рўй бериб (2-сакрашга қаранг), у $W-W$ текисликдан узоқлашган бўлади (9.8-расм, б);

в) агар $h' = h_0$, бўлса, сакраш 0 нуқта атрофида рўй беради. Бу кўриниш 9.8-расм, в да ифодаланган (3-сакраш).

4. 9.8-расмдаги а ва б кўринишларда гидравлик сакрашнинг жойлашишини курсатувчи l узунликни аниқлаймиз. Бу катталиқ оқимнинг нотекис ҳаракати тенгламаси ёрдамида аниқланади. 9.8-расм, а даги ҳолат учун a_{II} кўтарилувчи сирт, 9.8-расм, б даги ҳолат учун c_1 кўтарилувчи сиртдир.

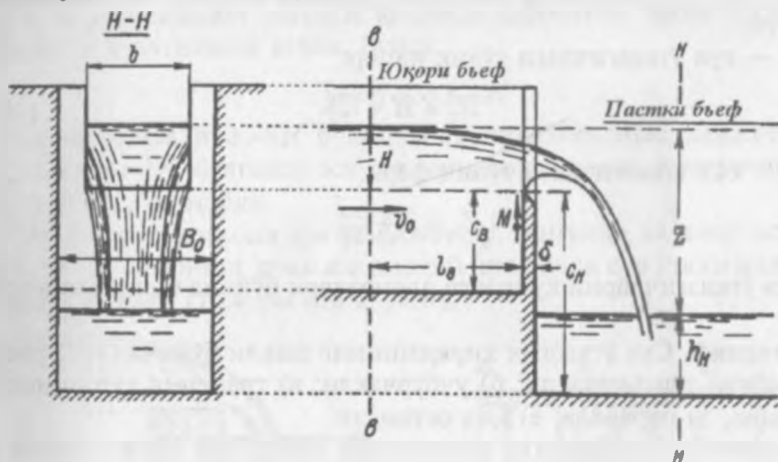
Текшириш учун саволлар

1. Гидравлик сакрашнинг физик моҳиятини тушунтиринг.
2. Гидравлик сакрашни ўрганишда фойдаланиладиган асосий тушунчаларни айтиб беринг.
3. Гидравлик сакрашнинг вазифаси нима?
4. Гидравлик сакрашнинг асосий тенгламасини ёзинг.
5. Гидравлик сакрашнинг асосий кўринишларини тавсифланг.
6. Сатҳ кескин ўзгарганда эркин сирт кўринишлари қандай ўзгаради?

Х Б О Б СУВ ЎТКАЗГИЧЛАР

10.1. АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР ВА СУВ ЎТКАЗГИЧЛАР ТАСНИФИ

Гидротехника амалиётида каналлардаги сувнинг сатҳини маълум баландликка кўтариш ва бу сатҳ баландлигини бошқариш ҳоллари кўп учрайди. Бу жараён кўпгина ҳолларда каналга тўсиқ деворлар қуриш ва бунда сув оқими сатҳининг маълум баландликка етганда ўтиши учун маълум катталиқдаги ва турли шаклдаги кесимлар қўйилиши орқали амалга оширилади (10.1-расм).



10.1-расм. Сув оқимининг ингичка деворли сув ўтказгичлардан ўтиши

Демак, *сув ўтказгич* деб, оқим ҳаракатига кўндаланг қурилган ингичка деворнинг юқори қисмидан оқим ўтиши учун кесилган қирнимга айтилади. Деворнинг сув ошиб ўтаётган қисми *сув ўтказгич девори* деб аталади.

Бундан буён сув ўтказгичларни ўрганиш жараёнида қуйидаги асосий тушунчалар ва белгилашлардан фойдаланамиз.

1. Сув ўтказгич деворигача бўлган соҳа — *юқори бьеф* (ЮБ), девордан кейинги соҳа — *пастки бьеф* (ПБ) деб аталади.

2. Сув оқими сатҳи эгриланиб тушиши бошланадиган *в — в* кесимгача бўлган масофа l_v деб белгиланади ва тажрибалар натижасига асосан қуйидагича аниқланади:

$$l_B = (3 + 5)H, \quad (10.1)$$

бунда H — сув ўтказгичдаги геометрик напор. Ифодада шуни ҳисобга олишимиз керакки, H — геометрик напор, бу сув ўтказгич деворидан сув сатҳи эгриланишдан олдинги v — v кесимдаги вазиятига-ча бўлган баландлик.

3. Қуйидаги белгилашларни ҳам киритамиз:

b — сув ўтказгич кенглиги;

δ — сув ўтказгич девори қалинлиги;

c_B ва c_H — сув ўтказгич деворининг юқориги ва пастки бьефлар томонидан баландлиги; агар, $c_B = c_H$ бўлса, $c_B = c_H = c$ деб белгиланади;

B_0 — сув ўтказгич қурилган узан кенглиги;

Z — сув ўтказгичдаги геометрик фарқ, яъни юқориги ва пастки бьефлардаги сув оқими сатҳлари фарқи;

v_0 — v — v кесимдаги оқимнинг уртача тезлиги ёки яқинлашиш тезлиги;

H_0 — сув ўтказгичдаги тулиқ напор:

$$H_0 = H + \frac{\alpha v_0^2}{2g} \quad (10.2)$$

Z_0 — сув ўтказгичдаги тулиқ фарқ:

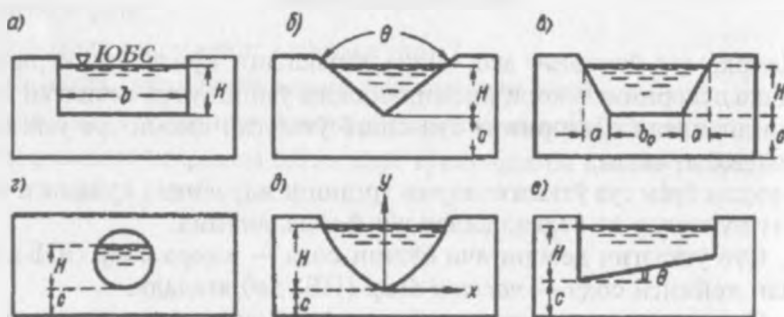
$$Z_0 = Z + \frac{\alpha v_0^2}{2g} \quad (10.3)$$

Сув ўтказгичларни қуйидаги аломатлари бўйича таснифлаш мумкин.

1-тасниф. Сув ўтказгич қирқимининг шакли бўйича (10.2-расм):

а) тўғри тўртбурчакли; б) учбурчакли; в) трапеция кўринишида; г) айлана; д) парабола; е) қия остонали.

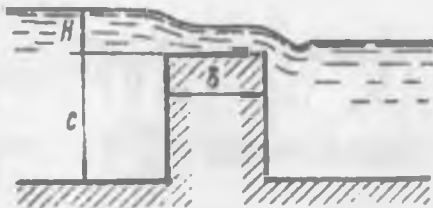
2-тасниф. Сув ўтказгич деворининг кундаланг кесим шакли ва кенглиги бўйича:



10.2-расм. Сув ўтказгич қирқимининг ҳар хил шакллари

а) *ингичка деворли сув ўтказгичлар* (10.1-расм). Бундай ўтказгичларда, оқимнинг ҳаракатига фақат сув ўтказгич деворининг юқориги остонаси таъсир кўрсатади. Бундай сув ўтказгичларда

$$\delta \leq (0,1 + 0,5) H \quad (10.4)$$



10.3-расм. Кенг остонали сув ўтказгич

шарт бажарилади.

б) *кенг остонали сув ўтказгичлар*. Бундай сув ўтказгичларнинг сув оқими ошиб ўтадиган девори баландлиги турлича бўлиши мумкин; қирраси эса, асосан, текис горизонтал ҳолатда бўлади (10.3-расм); δ кенглик эса қуйидаги икки шартни қаноатлантириши керак:

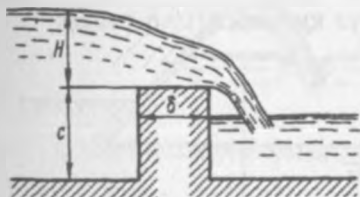
1. δ узунлигида h_1 энергиянинг узунлик бўйича йўқолиши ҳисобга олмаса ҳам бўладиган даражада кичик бўлиши керак;

2. δ узунлигининг маълум қисмида оқимнинг текис ўзгарувчан ҳаракати кузатилиши керак, бунда

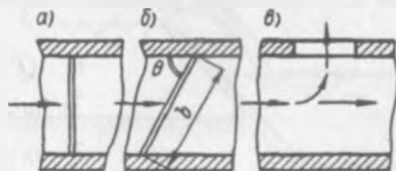
$$2H \leq \delta \leq 8H \quad (10.5)$$

шарт бажарилади, $\delta > 8H$ бўлганда сув ўтказгич эмас, канал бўлиши мумкин; $\delta > 2H$ бўлганда эса сув оқимининг текис ўзгарувчан ҳаракати амалга ошмайди.

в) *амалий профили сув ўтказгичлар*. Ингичка ва кенг остонали сув ўтказгичларнинг ҳаммаси амалий профили сув ўтказгичлар туркумига киради (10.4-расмга қаранг).



10.4-расм. Амалий профили сув ўтказгич



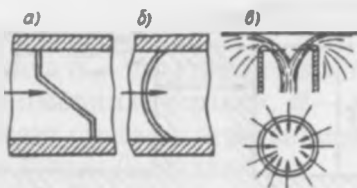
10.5-расм. Қирраси тўғри чизиқ бўлган сув ўтказгичлар (планда)

3-тасниф. Плана сув ўтказгич девори қиррасининг кўринишига қараб, сув ўтказгичлар қуйидагича таснифланади:

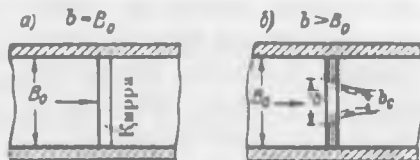
а) *қирраси тўғри чизиқли сув ўтказгичлар* (10.5-расм): а) тўғри; б) қия; в) ён томондаги сув ўтказгичлар;

б) *қирраси эгри деворли сув ўтказгичлар* (10.6-расм): а) полигонал; б) эгри чизиқли; в) ёпик, хусусан айлана шаклда.

4-тасниф. Оқим ҳаракатининг пастки бьеф таъсирига қараб, сув ўтказгичлар қуйидагича таснифланади:



10.6-расм. Панда қирраси эгри чизик бўлган сув ўтказгичлар



10.7-расм. Оқим ён томондан сиқилган ва сиқилмаган ҳолатдаги сув ўтказгичлар

а) Қўшилмаган сув ўтказгичлар. Бунда юқори бьефдаги Q оқим сарфи ва H напор ва пастки бьефдаги h_n чуқурлигига боғлиқ эмас;

б) Қўшилган сув ўтказгичлар. Бунда юқори бьефдаги Q оқим сарфи ва h_n напор ва пастки бьефдаги h_n чуқурлигига боғлиқ.

5-тасниф. Бу тасниф тўғри бурчакли сув ўтказгичларга боғлиқ бўлиб, b ва B_0 катталиклар муносабати билан таснифланади:

а) $b = B_0$ бўлган ҳолда, ён томонидан оқимнинг сиқилиши бўлмаган сув ўтказгичлар (10.7-расм, а);

б) $b < B_0$ бўлганда, оқимнинг ён томонидан сиқилиши бўлган сув ўтказгичлар (10.7-расм, б).

10.2. Тўғри тўртбурчакли сув ўтказгичларни асосий ҳисоблаш формуласи

Сув ўтказгичларни асосий ҳисоблаш формуласи сифатида қуйидаги кўринишдаги формулаларни қабул қиламиз (10.8-расм).

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad Q &= \omega v \\ 2) \quad \omega &:: bH \\ 3) \quad v &:: \sqrt{2gH} \\ 4) \quad Q &:: (bH)(\sqrt{2gH}) \\ 5) \quad Q &= mbH\sqrt{2gH} \end{aligned} \right\} \quad (10.6)$$

бунда m — пропорционаллик коэффициентини.

(10.6) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин:

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}} \quad (10.7)$$

ёки охириги кўринишда

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{\frac{3}{2}} \quad (10.8)$$

бунда

$$H_0 = H + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$$

(10.8) ифодадаги m коэффициент сув ўзгазгичнинг сарф коэффициенти деб аталади.

10.3. ИНГИЧКА ДЕВОРЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ ТАСНИФИ

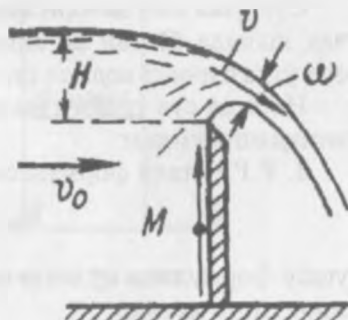
Бу ҳолатда сув ўтказгичларнинг 10.1-мавзуда келтирилган таснифларига қушимча қилиб куйидаги таснифларни келтириш мумкин.

6-тасниф. Сув ошиб тушаётган ин-гичка деворнинг қиялигига қараб:

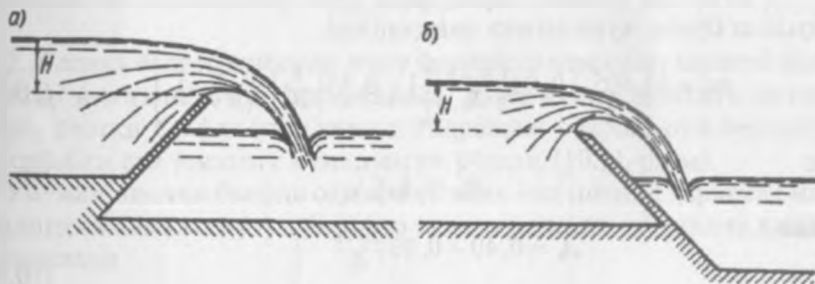
а) *тик деворли сув ўтказгичлар* (10.8-расм);

б) *қия деворли сув ўтказгичлар* (оқим буйлаб ёки оқимга тескари, 10.9-расм).

7-тасниф. Сувнинг ошиб тушаётган оқимчасининг пастки қисмига ҳавонинг эркин алмашиш даражасига қараб:



10.8-расм. (10.8) ифоданинг хулосасига доир



10.9-расм. Қия деворли сув ўтказгичлар

а) *эркин оқиш*. Оқимнинг икки ён томонидан ҳаво оқими кириши мумкин (ёки пастки бьефдаги сув сатҳи остона қирраси баландлигидан юқори бўлганда оқимнинг пастки қисмига сув кириши мумкин);

б) *чегараланган оқиш*. Оқимнинг пастки қисмига ҳаво оқими кириши қийин бўлган сув ўтказгичлар.

10.4. ТИК ҲОЛАТДАГИ ИНГИЧКА ДЕВОРЛИ КЎМИЛМАГАН СУВ ЎТКАЗГИЧЛАРДАН ОҚИМНИНГ ЭРКИН ОҚИШИ

Бундай сув ўтказгичларда, агар оқим сиқилмаган бўлса, сарф қуйидагича аниқланади:

$$Q = m_{0n} b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}, \quad (10.9)$$

бунда яқинлашиш тезлиги v_0 сарф коэффициентини m_{0n} орқали ҳисобга олинади.

Сув ўтказгич девори тик ҳолатда бўлиб, қирқими тўғри туртбурчак шаклда бўлган ва оқимнинг ён томонида сиқилиши бўлмаган сув ўтказгичлар *нормал сув ўтказгичлар* деб аталади.

Нормал сув ўтказгичлар учун сарф коэффициентини қуйидагича аниқлаш мумкин:

1. Р.Р.Чугаев формуласига асосан

$$m_{0n} = 0,40 + 0,05 \frac{H}{c_s} \quad (10.10)$$

ушбу формулани қўллаш учун $c_s \geq 0,5 H$ ва $H \geq 0,1$ м шартлар бажарилиши керак.

2. m_{0n} коэффициент ўрнига m'_0 коэффициентни қўйиш мумкин:

$$m'_0 = 0,402 + 0,54 \frac{H}{c_s}. \quad (10.11)$$

3. Агар сув ўтказгич деворидан оқим ўтаётганида ён томондан сиқилиш бўлса, қуйидагича аниқланади:

$$m'_0 = \left(0,405 - 0,03 \left(\frac{B_0 - b}{B_0} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{b}{B_0} \right)^2 \left(\frac{H}{H + c_s} \right)^2 \right] \right) \quad (10.12)$$

ёки

$$m'_0 = A_1 A_2, \quad (10.13)$$

бунда

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= 0,40 - 0,03 \frac{B_0 - b}{B_0} \\ A_2 &= 1 + 0,55 \left(\frac{b}{B_0} \frac{H}{H + c_s} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (10.13)$$

Бу иккала формула коэффициентларининг катталигини ҳисобга олмаганда деярли бир хилдир.

4. Базен формуласи:

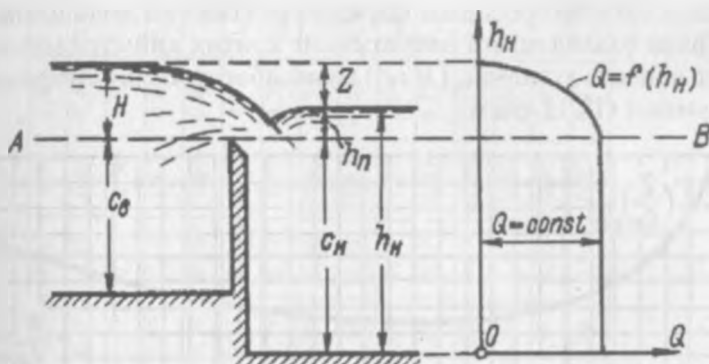
$$m'_0 = \left(0,405 + \frac{0,003}{H} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{H}{H + c_s} \right)^2 \right]. \quad (10.14)$$

5. Ребок формуласи:

$$m'_0 = 0,403 + 0,53 \frac{H}{H_1} + \frac{0,0007}{H}. \quad (10.15)$$

10.5. ИНГИЧКА ТИК ДЕВОРЛИ, КЎМИЛГАН ТЎҒРИ ТЎРТБУРЧАКЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАРДА ОҚИМНИНГ ЭРКИН ОҚИШИ

Ингичка тик деворли, кўмилган, тўғри тўртбурчакли сув ўказгичларда оқимнинг эркин оқиши 10.10-расмда кўрсатилган.



10.10-расм. Ингичка деворли кўмилган сув ўтказгич

Қуйидаги икки шарт бир вақтда бажарилганда сув ўтказгичлар кўмилган ҳисобланади:

1. Пастки бьефдаги сув сатҳи сув ўтказгич қиррасидан юқорида бўлса:

$$h_{\text{кум}} > 0$$

(10.16)

2. Пастки бьефда оқимнинг тинч ҳолатдаги ҳаракати мавжуд бўлса.

Агар иккинчи шарт бажарилмаса, яъни оқим, ҳаракати нотинч бўлса, пастки бьефда узоқлашган гидравлик сакраш рўй беради ва шу сабабли сув ўтказгич кўмилмаган бўлади (10.11-расм).

Умуман, пастки бьефда оқимнинг тинч ёки нотинч ҳаракати мавжудлигини аниқлаш учун бьефлар туташишининг гидравлик ҳисоби бажарилади.

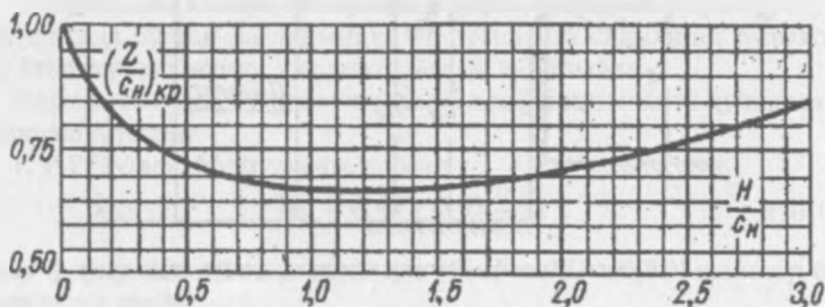


10.11-расм. Узоқлашган гидравлик сакраш мавжуд бўлган кўмилмаган сув ўтказгич

$b = B_0$ бўлган хусусий ҳолда пастки бьефда оқимнинг тинч ҳаракати мавжуд бўлиши учун қуйидаги шарт бажарилиши керак.

$$\frac{Z}{c_n} > \left(\frac{Z}{c_n}\right)_{кр} \quad (10.17)$$

Бундай сатҳлар орасидаги фарқни сув ўтказгич деворининг пастки бьефдан баландлигига нисбатининг критик қиймати махсус тажрибалар асосида тузилган, $(H : c_n)$ муносабатга боғлиқ графикдан топиш мумкин (10.12-рasm).



10.12-рasm. $\left(\frac{Z}{c_n}\right)_{кр} = f\left(\frac{H}{c_n}\right)$ эгрилиги графиги

10.12-рasmдаги графикдан кўриниб турибдики, $\left(\frac{Z}{c_n}\right)_{кр}$ қиймати, асосан, 0,70 + 0,75 қийматлар оралиғида ўзгаради.

Агар сув ўтказгичдан утаётган оқим сиқилмаган бўлса, кумилган сув ўтказгичларда сарф қуйидагича аниқланади:

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} H^{3/2}, \quad (10.18)$$

бунда

$$m_0 = \sigma_{кум} m_{0н}, \quad (10.19)$$

бунда $\sigma_{кум}$ — кўмилиш коэффициентини деб аталиб Базен формуласи бўйича аниқланади:

$$\sigma_{кум} = 1,05 \left(1 + 0,2 \frac{h_{кум}}{c}\right) \sqrt{\frac{Z}{H}} \quad (10.20)$$

Ушбу формула ёрдамида 10.1-жадвал тузилган бўлиб, бу жадвал ёрдамида кўмилиш коэффициентининг керакли қийматларини томиш мумкин.

10.10-рasmдаги график $h_n > c_n$ шарт бажарилиб, пастки бьефда оқимнинг тинч ҳолати мавжуд деб фараз қилиниб, узоқлашган гидравлик сакраш бўлмаётган ҳолат учун тузилган. Графикдан кўриниб

$\frac{Z}{c}$	$\frac{h_{\text{гнл}}}{c}$																	
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,05	-	-	0,74	0,68	0,64	0,58	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43
0,10	-	0,93	0,85	0,80	0,76	0,70	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57	0,57	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54
0,15	1,05	0,96	0,90	0,86	0,82	0,77	0,74	0,71	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61
0,20	1,05	0,98	0,94	0,90	0,87	0,82	0,79	0,76	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67
0,25	1,05	1,00	0,96	0,92	0,90	0,86	0,82	0,80	0,78	0,77	0,75	0,75	0,74	0,73	0,72	0,72	0,72	0,71
0,30	1,05	1,01	0,97	0,94	0,92	0,88	0,85	0,83	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,77	0,76	0,76	0,75	0,75
0,35	1,05	1,01	0,98	0,96	0,94	0,90	0,88	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,78
0,40	1,05	1,02	0,99	0,97	0,95	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,84	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81
0,45	1,05	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,89	0,87	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	-
0,50	1,05	1,03	1,01	0,99	0,98	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,87	0,87	0,86	0,68	-
0,55	1,05	1,03	1,01	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	-	-
0,60	1,05	1,03	1,02	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	-	-	-
0,65	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	-	-	-
0,70	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	-	-	-

турибдики, пастки бьефдаги сув сатҳи сув девори қиррасидан ўтган AB чизикдан пастда бўлиб турганда сув ўтказгич кўмилмаган ҳолатда ишлайди, сатҳ баландлиги AB чизикдан кутарилиши билан кўмилган ҳолат бўлиб, Q оқим сарфи, h_n кўмилиш баландлигига функционал боғлиқ бўлиб, кўмилиш катталиги ошиши билан оқим сарфи кескин камайиб нолга яқинлашиб боради. Умуман, қуйидаги фикр билан хулоса қилишимиз мумкин.

Сарфнинг камайиши сув ўтказгичдан ўтаётган оқимча остидаги босимга боғлиқ бўлиб, пастки бьефдаги сув сатҳи ошиши босимнинг ошишига олиб келади. Бу муҳитдаги босим пастки бьефдаги сатҳ баландлигига боғлиқ эмас экан. Демак, шу вазиятгача сув ўтказгич кўмилмаган бўлади.

10.6. САРФНИ ЎЛЧАШДА ИШЛАТИЛАДИГАН СУВ ЎТКАЗГИЧЛАР

Оқим сарфини аниқлаш учун ингичка деворли, тўғри тўртбурчак қирқимли сув ўтказгичлардан ташқари, бошқа кўринишдаги сув ўтказгичлар ҳам амалиётда кенг қўлланилади.

Агар бундай сув ўтказгичлар тўғри лойиҳалаштирилиб, тўғри ўрнатилса, уларнинг оқим сарфини ўлчашдаги аниқлик даражаси анча юқори бўлади. Оқим сарфини ўлчайдиган сув ўтказгичларни ўрнатишда қуйидагиларга эътибор бериш талаб этилади:

1. Сув оқимининг сарфини ўлчайдиган ўтказгичлар канал ёки новнинг тўғри соҳасига ўрнатилиши керак;

2. Ўтказгичдан ошиб тушаётган оқимчанинг остки қисмига эркин ҳаво кириши керак, яъни атмосфера билан туташган бўлиши керак;

3. Сув ўтказгич остонасининг баландлиги — пастки бьефдаги оқим сарфининг энг катта қийматига мос келувчи белгидан юқори бўлиши керак. Шу шарт бажарилганда сув ўтказгич кўмилмаган бўлади ва сарфга пастки бьефдаги суюқлик сатҳи таъсир этмайди. Албатта, сув ўтказгич ўлчавчиларини лойиҳалаштириш ва ўрнатишга доир махсус кўрсатмалар мавжудлигини ҳам таъкидлаш лозим.

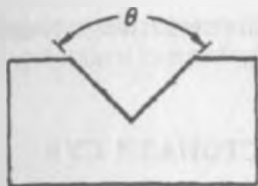
Энди сув ўтказгичларнинг айрим турлари билан танишамиз.

1. Ингичка деворли учбурчак сув ўтказгич (10.13-расм). Кўмилмаган учбурчак учун ҳисоблаш формуласи қуйидаги кўринишга эга:

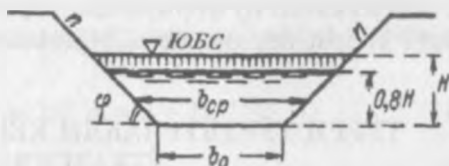
$$Q = m_0 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}. \quad (10.21)$$

Томсон тажрибасига асосланиб, $\theta = 90^\circ$ ва $H = (0,05 + 0,25)$ м шартлар бажарилганда

$$m_0 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = 0,316 \quad (10.22)$$



10.13-расм. Учбурчак сув ўтказгич



10.14-расм. Трапеция кўринишдаги сув ўтказгич

деб ёзиш мумкин, бу ҳолда Томсон сув ўтказгичи деб аталувчи бу ўтказгич учун $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ бўлган ҳолда қуйидагини ёзиш мумкин:

$$Q = 1,4H^{3/2}. \quad (10.23)$$

Ўлчов ишлари бажарилаётганда $p \geq 0,2 \text{ м}$ ва $v_0 < 0,5 \text{ м/с}$ булиши-га эришиш керак.

2. Трапеция кўринишдаги сув ўтказгичлар (10.14-расм). Бундай сув ўтказгичларда сарф қуйидагича аниқланади:

$$Q = m_0 b_{\text{ср}} \sqrt{2gH}^{3/2} = m\epsilon (b_0 + 0,8nH) \sqrt{2gH_0}^{3/2}. \quad (10.24)$$

Тенг ёнли трапеция шаклидаги кўмилмаган сув ўтказгичларда $\text{tg}\theta = 0,25$ ($\theta = 14^\circ$) бўлса, Чиполетти $m_0 = 0,42$ эканлигини тажрибалар асосида аниқлаган. Шу сабабли, Чиполетти сув ўтказгичи деб аталувчи бундай ўтказгичларда сарф қуйидагича аниқланади:

$$Q = 1,86bH^{3/2}. \quad (10.25)$$

Ўлчов ишларида $H = (0,05 \div 1,0) \text{ м}$, $b = (3 \div 4) \text{ м}$ ва $v_0 \leq 0,5 \text{ м/с}$ шартлар бажарилишига эътибор бериш керак.

3. Парабола шаклидаги сув ўтказгичлар (10.15-расм). Бундай шаклдаги сув ўтказгичлар $y^2 = PP_{\text{ср}}Z$ формула асосида қурилган бўлса, (бунда $P_{\text{ср}}$ — парабола периметри) сарфни қуйидагича аниқлаш мумкин:

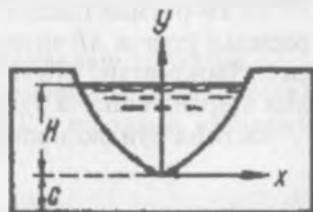
$$Q = m_0 \sqrt{2g} \sqrt{P_{\text{ср}}} H^{3/2}. \quad (10.26)$$

Граве тажрибаларига асосан $0,0025 \text{ м} < P_{\text{ср}} < 0,05 \text{ м}$ ва $0,3 \text{ м} < H < 0,5 \text{ м}$ шартлар бажарилганда кўмилмаган сув ўтказгичлар учун сарф коэффициентининг $m_0 = 0,625$ га тенг эканлиги аниқланган. Бу вазиятни ҳисобга олиб, (10.26) формуладаги ўзгармас катталикларни M ҳарфи билан белгилаб олсак,

$$M = m_0 \sqrt{2g} \sqrt{P_{\text{ср}}} = 2,768 \sqrt{P_{\text{ср}}} \quad (10.27)$$

ва

$$Q = MH^3 \quad (10.28)$$



10.15-расм. Парабола шаклидаги сув ўтказгич

деб ёзиш мумкин. Бу формуладан парабола шаклидаги сув ўтказгичларнинг гидравлик ҳисобида фойдаланилади.

ТУҒРИ ТҮРТБҮРЧАКЛИ КЕНГ ОСТОНАЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАР

10.7. КЕНГ ОСТОНАЛИ КЎМИЛМАГАН СУВ ЎТКАЗГИЧЛАР

1. Умумий тушунчалар. Кенг остонали кўмилмаган сув ўтказгичлар сатҳида икки маротаба пасайиш борлиги билан тавсифланади: Z_b ва Z_n (10.16-расм).

Z_b сатҳ пасайиши пайдо бўлишининг физик моҳиятини тушунишга ҳаракат қиламиз. Айтайлик, юқориги бьефда оқимнинг напорсиз тинч ҳолатдаги ҳаракати мавжуд (10.16-расм). Сув ўтказгичда остонанинг кутарилганлиги ҳисобига ҳаракатдаги кесим юзаси кичиклашади. Бунинг натижасида, тезлик ошиб, оқимнинг кинетик энергияси ошади ва потенциал энергия камаяди. Потенциал энергиянинг камайиши эса, ўз навбатида, оқимнинг эркин сирт эгрилиги пасайишига олиб келади. Таъкидлаш мумкинки, оқимнинг ёндан ёки пастдан сиқилиши, албатта, сирт эгрилигининг пасайишига олиб келади. Бизнинг ҳолатимизда эркин сирт эгрилигининг пасайиши остонанинг кутарилганлиги ҳисобига пайдо бўлмоқда.



10.16-расм. Кенг остонали кўмилмаган сув ўтказгич

10.16-расмда пастки бьефдаги сув сатҳи баландлиги остона қиррасидан ўтувчи АВ чизиқдан юқорида жойлашган бўлса-да, сув ўтказгич кўмилмаган, чунки кенг остонали сув ўтказгичларда кўмилганлик шарти бошқача бўлади. Бу ҳақда кейинроқ батафсил тўхталамиз.

Остона бўйлаб напор йўқолиши ҳисобга олинмаганлиги сабабли

$$h_1 = h_2 = h = \text{const} \quad (10.29)$$

деб ёзишимиз мумкин. Бунда h — 1-1 ва 2-2 кесимлар орасидаги чуқурлик.

Остонадаги горизонтал соҳанинг бошланиши ва тугаши узунлигини қуйидаги тажрибавий қийматларга тенг деб қабул қилиш мумкин.

$$\delta_1 = 2H; \delta_3 = 0 \div H. \quad (10.30)$$

σ — σ ва 1-1 кесимлар орасида напор йўқолишини

$$h_f = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (10.31)$$

деб қабул қилиб, бу кесимларни Бернулли тенгламаси билан бирлаштирамиз (AB текисликка нисбатан).

$$H + \frac{\alpha v_0^2}{2g} = h + \frac{v^2}{2g} + \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (10.32)$$

бундан

$$v = \varphi \sqrt{2g(H_0 - h)} = \varphi \sqrt{2g(Z_n)_0}, \quad (10.33)$$

бунда v — остонадаги ўртача тезлик; $(Z_n)_0$ — тўлиқ пасайиш

$$(Z_n)_0 = Z_n + \frac{\alpha v_0^2}{2g}. \quad (10.34)$$

φ — тезлик коэффиценти

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}} \quad (10.35)$$

бунда ζ — маҳаллий йўқолиш.

Остонадаги тезлик маълум бўлгач, оқимнинг сарфини тўғри тўртбурчакли сув ўтказгич учун қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Q = b h v = b h \varphi \sqrt{2g(H_0 - h)}. \quad (10.36)$$

Бирлик сарф эса

$$q = \frac{Q}{b} = \varphi h \sqrt{2g(H_0 - h)} = \varphi h \sqrt{2g(Z_n)_0} \quad (10.37)$$

кўринишда бўлади.

Юқоридаги тенгламалардан кўриниб турибдики, сарфни топиш учун остонадаги (h) чуқурликни билиш керак. Бу иккала катталикларни топишнинг бир неча усуллари мавжуд. Шулардан айримлари билан танишамиз.

2. Сув ўтказгич остонасидаги чуқурликни аниқлаш усуллари.

Беланж усули. Сарфни ҳисоблаш тенгламасининг чуқурликка функционал боғлиқлиги бизга маълум. (10.37) ифодани қуйидаги кўринишда ёзиб оламиз:

$$q = \varphi h \sqrt{2g(H_0 - h)} = f(h). \quad (10.38)$$

10.16-расмдан кўриниб турибдики,

$$0 < h < H_0. \quad (10.39)$$

H_0 берилган деб ҳисоблаб ($H_0 = \text{const}$), (10.37) тенгламани таҳлил қиламиз:

Агар

$$h = H_0 \quad (10.40)$$

бўлса,

$$q = 0. \quad (10.41)$$

Агар

$$h = 0 \quad (10.42)$$

бўлса,

$$q = 0. \quad (10.43)$$

Демак, $f(h)$ функция (h) чуқурликнинг чегаравий қийматларида нолга тенг экан. Тахмин қилиш мумкинки, $f(h)$ узлуксиз функция чуқурликнинг маълум қийматида ўзининг энг катта қийматига эга бўлади (10.16-расм). Бу вазиятни таҳлил қилиб, Беланж қуйидаги постулатни таклиф этган: *берилган H_0 напорда сув ўтказгич остонасида $q_{\text{макс}}$ га мос келувчи h чуқурлик мавжуд бўлади, яъни сув ўтказгичдан оқимнинг ўтиши шундай шаклда бўладики, бунда сарф энг юқори бўлади.*

Бу постулатга асосланиб, қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$q'_h = 0, \quad (10.44)$$

яъни

$$\frac{dq}{dh} = \frac{d[\varphi h \sqrt{2g(H_0 - h)}]}{dh} = 0. \quad (10.45)$$

$\varphi = \text{const}$ деб қабул қилиб,

$$\frac{d(h\sqrt{H_0 - h})}{dh} = \sqrt{H_0 - h} - \frac{1}{2} \frac{h}{\sqrt{H_0 - h}} = 0. \quad (10.46)$$

бундан,

$$h = \frac{2}{3} H_0 \quad (10.47)$$

Демак, $h : H_0 = k$ белги бўлиб,

$$k = \frac{h}{H_0} = \frac{2}{3}. \quad (10.48)$$

Шунга асосланиб, (10.30) тенгламани қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$Q = \varphi b \frac{h}{H_0} H_0 \sqrt{2gH_0 \left(1 - \frac{h}{H_0}\right)} \quad (10.49)$$

ёки

$$Q = \varphi k \sqrt{1 - k} b \sqrt{2gH_0^{\frac{3}{2}}}, \quad (10.50)$$

бунда

$$m = \varphi k \sqrt{1 - k} \quad (10.51)$$

деб белгилаб олсак,

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{3/2}, \quad (10.52)$$

бунда

$$m = \varphi \frac{2}{3} \sqrt{1 - \frac{2}{3}} = 0,385\varphi. \quad (10.53)$$

Айрим муаллифлар сув ўтказгич остонасининг кириш қисмига қура, (φ) тезлик ва (m) сарф коэффициентларининг катталикларини аниқлашган.

а) $\varphi = 0,85$; $m = 0,32$ (10.17-расм, а); б) $\varphi = 0,92$; $m = 0,35$; (10.17-расм, б).

Бахметов усули. Б.А.Бахметов бу чуқурликни аниқлаш учун қуйидаги постулатдан фойдаланган.

Сув ўтказгич остонасида солиштирма кесим энергиясининг энг кичик қийматига мос келувчи чуқурлик қарор топади.

$$\boxed{h = h_k} \quad (10.54)$$

Бахметов усулига асосан

$$k = \frac{h_k}{H_0} \quad (10.55)$$

ёки унга (7.55) ифодани қўйсак:

$$k = \frac{1}{H_0} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{H_0^3 g b^2}}. \quad (10.56)$$

(10.50) ифодани инобатга олсак,

$$k = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2}. \quad (10.57)$$

(10.51) ифодани (10.56) ифодага қўйсак,

$$m = \sqrt{\frac{k^3}{2}}. \quad (10.58)$$

бундан

$$k = \sqrt[3]{2m^2}. \quad (10.59)$$

Бахметов усулига асосан, 10.17-расм, а учун $k = 0,59$ ва 10.17-расм, б учун $k = 0,63$ қабул қилишимиз мумкин.

Фақат $\varphi = 1,0$ бўлгандагина Бахметов усулида ҳам Беланж усулидаги каби $k = 2/3$.

а)

$$\varphi = 0,85; m = 0,32$$



б)

$$\varphi = 0,92; m = 0,35$$



10.17-расм. Сув ўтказгич девори:

а) қиррали ва б) ясси горизонтал остонали сув ўтказгичлар

3. Сув ўтказгични ҳисоблашнинг янги усуллари. Кейинги тадқиқотлар шуни кўрсатадики, Беланж ва Бахметов постулатлари тўлиқ ҳақиқатга тўғри келмайди. Чунки

$$h < h_c < \frac{2H_0}{3}, \quad (10.60)$$

яъни сув ўтказгич остонаси устидаги ҳақиқий критик чуқурлик Беланж ҳисоби бўйича аниқланадиган чуқурликлардан кичик, остонанинг кичириш қисмида қаршилиқни камайтириш учун остона қиррасига берилган шакл силлиқ бўлгандагина h критик чуқурликка яқинлашади.

Олимлар ўтказган тажрибалардан маълум бўлдики, (m) сарф коэффициентининг қиймати c ; H ва b : B_0 нисбатлар катталигига боғлиқ экан, яъни бошқача қилиб айтганда, оқимнинг сиқилиш даражаси сарф коэффициентига боғлиқ.

Бу вазиятларни ҳисобга олиб, биз қуйида Д.И.Кумин тадқиқотлари натижаларига асосланган кўмилмаган сув ўтказгичларни ҳисоблаш усули билан танишамиз:

1. Сув ўтказгичдан ошиб ўтаётган сув сарфини қуйидаги формула ёрдамида аниқлаймиз.

$$Q = \epsilon m b \sqrt{2g H_0^{3/2}} \quad (10.61)$$

бунда ϵ — оқимчанинг ён томондан сиқилиш коэффициенти:

$$\epsilon = \frac{b_c}{b}. \quad (10.62)$$

Ён томондан сиқилиш бўлмаганда $b = B_0$, $\epsilon = 1,0$ деб қабул қилинади. Формула таркибидаги сарф коэффициенти ҳам худди шу шароит учун қабул қилинади.

2. Агар

$$\Omega > 4(bH) \quad (10.63)$$

бўлса, яқинлашиш тезлигини ҳисобга олмасдан, сарфни ҳисоблаш формуласини қуйидагича ёзиш мумкин (бунда Ω — b — b кесимдаги оқимнинг ҳаракатдаги кесим юзаси):

$$Q = \epsilon m b \sqrt{2g H}. \quad (10.64)$$

3. Бу формулага асосан, ҳисоблаш кетма-кет яқинлашиш усулида олиб борилади. $\epsilon = 1,0$ бўлган ҳолат учун сарф коэффициенти 10.2 ва 10.3-жадвалдан қабул қилинади.

Сарф коэффициенти бу жадвалларда

$$\eta = \frac{c_K}{H} \quad (10.65)$$

нисбатга асосланиб олинади.

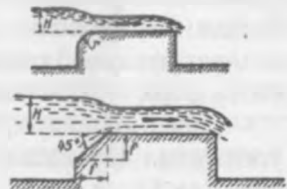
Ён томондан сиқилмаган оқим охиб ўтаётган кенг остонали сув ўтказгичларда сарф коэффициенти ($b = B_0$; $\epsilon = 1,0$; тик ёки қия қиррали сув ўтказгич девори учун)

$\eta = \frac{c_u}{H}$	$\text{ctg} \theta = 0$	$\text{ctg} \theta$			
		0,5	1,0	1,5	$\geq 2,5$
0,0	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385
0,2	0,366	0,372	0,377	0,380	0,382
0,4	0,356	0,365	0,373	0,377	0,381
0,6	0,350	0,361	0,370	0,376	0,380
0,8	0,345	0,327	0,368	0,375	0,379
1,0	0,342	0,355	0,367	0,374	0,378
2,0	0,333	0,349	0,363	0,371	0,377
4,0	0,327	0,345	0,361	0,370	0,376
8,0	0,324	0,343	0,360	0,369	0,376
∞	0,320	0,340	0,358	0,368	0,375



Ён томондан сиқилмаган оқим охиб ўтаётган кенг остонали сув ўтказгичларда сарф коэффициенти ($b = B_0$; $\epsilon = 1,0$; тик ва ясси қиррали кириш қобирғали сув ўтказгич девори учун)

$\eta = \frac{c_u}{H}$	$\frac{r}{H} \text{ ёки } \frac{f}{H}$			$\frac{r}{H}$	
	0,025	0,05	0,2	0,6	$\geq 1,0$
0,0	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385
0,2	0,372	0,374	0,377	0,380	0,382
0,4	0,365	0,368	0,374	0,377	0,381
0,6	0,361	0,364	0,370	0,376	0,380
0,8	0,357	0,361	0,368	0,375	0,379
1,0	0,355	0,359	0,366	0,374	0,378
2,0	0,349	0,354	0,363	0,371	0,377
6,0	0,344	0,349	0,359	0,369	0,376
∞	0,340	0,346	0,357	0,368	0,375



4. Ён томондан сиқилиш мавжуд бўлганда ($\epsilon < 1,0$) сарф коэффициенти 3-банддаги каби аниқланади. ϵ сиқилиш коэффициенти эса сув ўтказгич тирқишини чегаралаб турувчи деворларнинг пландаги кўринишига қараб аниқланади.

10.8. КЕНГ ОСТОНАЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ КЎМИЛИШ ШАРТИ

Тадқиқотлар натижасига асосланиб таъкидлаш мумкинки, кенг остонали сув ўтказгичлар кўмилган ҳолатда 10.18-расмдаги кўринишда бўлади.

10.18-расмдаги оқим ҳаракатини уч қисмга бўлиш мумкин:

а) яқинлашиш қисми ($b - b$ ва 1-1 кесимлар оралиғи). Бу ораликда энергиянинг фақат маҳаллий йўқолиши мавжуд.



10.18-расм. Кенг остонали кумилган сув ўтказгич.
 Z_{θ} — тикланаётган тушиш

б) сув ўтказгичнинг 1-1 ва 2-2 кесимлари оралиғи. Бу оралиқда напор йўқолиши ҳисобга олинмайди.

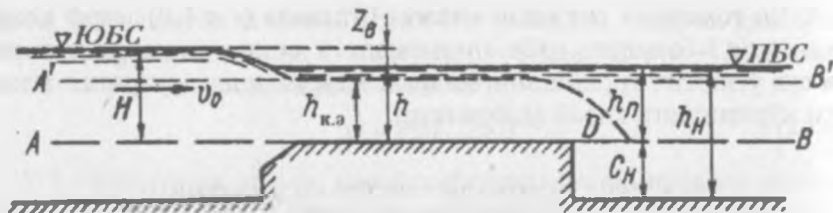
в) чиқиш қисми (2-2 ва кесимлар оралиғи). Бу оралиқда напор йўқолиши мавжуд бўлиб, оқим кескин кенгайди.

Бундан кўриниб турибдики, оқим Z_{θ} катталиқка тенг масофада пастга ўз сатҳ эгрилигини ўзгартиради. Лекин 2-2 кесимдан кейин Z_{θ} масофага оқим яна кутарилиши мумкин, чунки бу оралиқда оқим кинетик энергиясининг потенциал энергияга айланиш жараёни рўй беради. Шу сабабли, Z_{θ} катталиқ *тикланадиган фарқ* деб аталади.

Аввалги ҳисоблашларда Z_{θ} катталиқни ҳисобга олмасдан, фақат битта фарқ — Z_{θ} мавжуд деб қаралган (10.19-расм).

Фараз қилайлик, k_{θ} чуқурликка эга бўлган ҳолатда оқим сув ўтказгичда ҳаракатланмоқда. Бу ҳолатда А'-В' баландликда оқим оқаётган бўлса,

$$h_{\theta} = k_{\theta} \quad (10.66)$$



10.19-расм. Тикланиш фарқи бўлмаган ҳолда кенг остонали
 кумилган сув ўтказгич

шарт бажарила бошлагандан сўнг, сув ўтказгич кўмилган бўлиши мумкин. Бунда сув сатҳи остона буйлаб ҳаракатлана бошлаб, чуқурлик оша бошлайди ва сарф камайиб, напор кутарила бошлайди. Натижада сув ўтказгич кўмилган бўлади.

Демак, айтиш мумкинки, сув ўтказгич бундай ҳолатда қўмилган бўлиши учун пастки бьефдаги сув сатҳи кўтарилиб, сув ўтказгичдаги сув сатҳини босиши керак. Буни ҳисобга олган ҳолда қўмилганлик шартлари қуйидагича бўлиши мумкин:

1) Беланж постулатига асосан

$$h_{\text{к.з.}} > \frac{2}{3} H_0 \quad \text{ёки} \quad h_n > c_n + \frac{2}{3} H_0, \quad (10.67)$$

чунки

$$h_{\text{к.з.}} = \frac{2}{3} H_0.$$

2) Бахметов постулатига асосан,

$$h_{\text{к.з.}} > h_{\text{к.}} \quad \text{ёки} \quad h_n > c_n + h_{\text{к.}}. \quad (10.68)$$

Кенг остонали сув ўтказгичларни янги ҳисоблаш усулига асосан эса қўмилмаган ҳолатда 1-1 кесимда $h_1 = h_{\text{к.з.}} < h_{\text{к.}}$ чуқурлик қарор топади.

Шунинг учун пастки бьефдаги сатҳ кўтарила бошласа, у К-К чизигидан ўтгандан бошлаб, остона бўйлаб ҳаракатлана бошлайди (оқимга қарши йуналишда) ва ниҳоят гидравлик сакраш рўй беради ҳамда 1-1 кесим $h_{\text{к.з.}} > h_{\text{к.}}$ шарт бажарилганда ҳам қўмилмай қолади (10.20-расм).

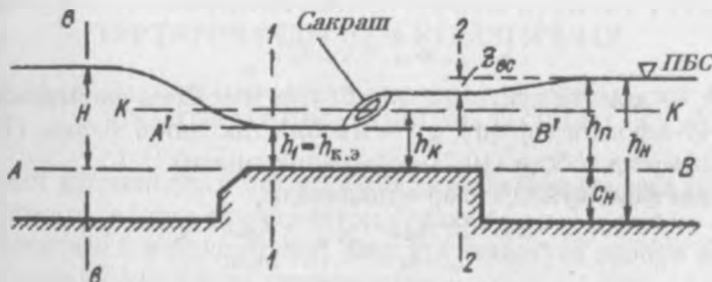
Бу ҳолатда (10.20-расм) сув ўтказгич қўмилган бўлмайди. Q сарфнинг камайиши ($H = \text{const}$ бўлганда) ёки H напорнинг ошиши ($Q = \text{const}$ бўлганда) билан кузатиладиган сув ўтказгичнинг қўмилганлик ҳолати пастки бьеф сатҳининг яна ошиши билан кузатилади.

Р.Р.Чучаев тадқиқотларига асосан, гидравлик сакраш ва $z_{\text{вс}}$ катталикка тенг фарқнинг мавжудлиги билан кузатиладиган сув ўтказгичнинг қўмилганлик шarti қуйидаги ҳолатда бажарилиши мумкин:

$$h_{\text{к.з.}} > n H_0 \quad \text{ёки} \quad h_{\text{к.з.}} > \sqrt[n]{2m^2} h_{\text{к.}}. \quad (10.69)$$

бунда n — пропорционаллик коэффиценти.

$$n = 0,85 + 0,75. \quad (10.70)$$



10.20-расм. Кенг остонали сув ўтказгичнинг қўмилиши (ҳаракатланувчи гидравлик сакраш мавжуд ҳолат)

10.9. КЕНГ ОСТОНАЛИ КҮМИЛГАН СУВ ҲТКАЗГИЧНИ ҲИСОБЛАШ ФОРМУЛАЛАРИ

Куйида сув ўтказгичларни ҳисоблашнинг бизга маълум бўлган уч усулини кўриб чиқамиз.

1. **Беланж усули.** Бунга асосан, $Z_{\text{вс}} = 0$ деб қабул қиламиз ва остонадаги оқим чуқурлигини қуйидаги кўринишда оламиз (10.19-расм):

$$\boxed{h = h_{\text{кўм}}} \quad \text{ёки} \quad \boxed{h = h_n - c_n} \quad (10.71)$$

бунда $h_{\text{кўм}}$ — кўмилиш баландлиги.

H ва b катталикларни билган ҳолда сарфни қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\boxed{Q = \varphi b h_{\text{кўм}} \sqrt{2g(H_0 - h_{\text{кўм}})} = \varphi b h_{\text{кўм}} \sqrt{2g(Z_n)_0}} \quad (10.72)$$

φ коэффициент 0,85÷0,95 қийматларни қабул қилиши мумкин (10.7-мавзунинг 2-бандига қаранг). Бунга асосан, Q , $h_{\text{кўм}}$ ва b катталиклар маълум бўлса, H напор катталигини ҳам топиш мумкин.

2. **Бахметов усули.** Бунда ҳисоблаш фақат кўмилганлик шартлари билан Беланж усулидан фарқ қилади (10.8-мавзу). Бошқа ҳисоблаш формулалари Беланж усулидагидек сақланиб қолади.

3. **12.51-техник кўрсатмада таклиф этилган усул.** Бунда сув ўтказгичнинг ҳисоби қуйидаги формулага асосланади:

$$\boxed{Q = \varphi_{\text{кўм}} b h_1 \sqrt{2g(H_0 - h_1)}} \quad (10.73)$$

Формуладаги $\varphi_{\text{кўм}}$ қийматлари Д.И.Куминнинг тажрибалари асосида тузилган қуйидаги жадвал асосида танланади.

ϵm	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38
$\varphi_{\text{кўм}}$	0,77	0,84	0,90	0,96	0,99

h_1 — 1-1 кесимдаги (10.18-расм) чуқурлик бўлиб, қуйидагига тенг:

$$h_1 = h_2 = h_{\text{кўм}} - Z_{\text{вс}}; \quad (10.74)$$

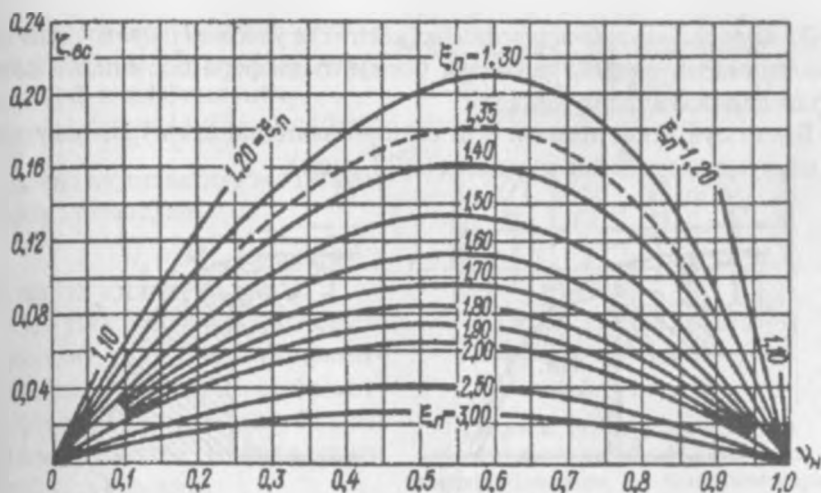
$$Z_{\text{вс}} = \zeta_{\text{вс}} h_k, \quad (10.75)$$

бунда h_k — критик чуқурлик бўлиб, уни ҳисоблаш формуласи маълум (8.49-ифодага қаранг); $\zeta_{\text{вс}}$ — нисбий тикланиш фарқи, (Р.Р.Чугаев графигига асосан (10.21-расм) аниқланади).

Бунинг учун қуйидагилар аниқланади:

$$\zeta_{\text{кўм}} = \frac{h_{\text{кўм}}}{h_k} \quad \text{ва} \quad \nu_k = \frac{h_{\text{кўм}} b}{h_k B_0}. \quad (10.76)$$

Агар тикланиш фарқи катталиги ҳисобга олинмаса, юқорида келтирилган ҳисоблаш формулалари фақат тезлик коэффициентини кат-



10.21-расм. Тикланиш фарқини аниқлашга доир график

талиги билан фарқ қилади. Агар бу катталиқ ҳисобга олинса, (10.72) формула (берилган H ва b қийматлар учун) Q сарфга нисбатан ёки (берилган Q ва H қийматлар учун) b катталиқка нисбатан танлаб олиш усулида ҳисобланади. H катталиқка нисбатан эса тўғридан-тўғри ҳисоблаш мумкин (агар v_0 — яқинлашиш тезлигини ҳисобга олсак).

δ_1 ва δ_3 катталиқлар (10.18-расм) эса

$$\delta_1 = 2H; \delta_3 = 0 \div H \quad (10.77)$$

кўринишдаги формулалар ёрдамида аниқланади.

Хулоса қилиб таъкидлашимиз мумкинки, (10.71) ва (10.72) ҳисоблаш формулалари бошқа сув ўтказгичларнинг ҳисоблаш формулаларидан кескин фарқ қилади.

АМАЛИЙ ПРОФИЛЛИ ДЕВОРГА ЭГА БЎЛГАН ТЎҒРИ ТЎРТБУРЧАКЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАР

10.10. АМАЛИЙ ПРОФИЛЛИ ДЕВОРГА ЭГА БЎЛГАН СУВ ЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ ҚЎШИМЧА ТАСНИФИ

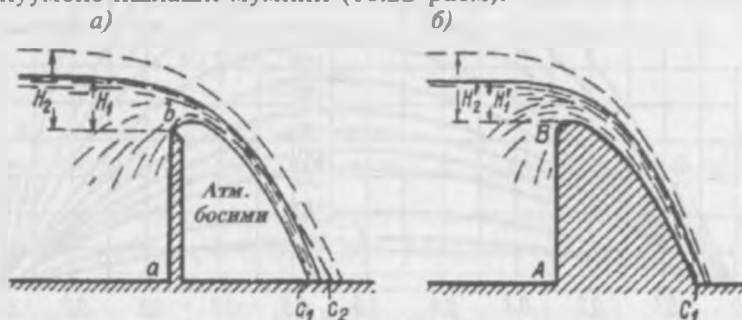
Бундай кўринишдаги сув ўтказгичларнинг қуйидагича қўшимча таснифини эътиборга олишга тўғри келади.

1) *Вакуумли сув ўтказгичлар*, улар сув ўтказувчи девори сиртида вакуум мавжудлиги билан характерланади;

2) *Вакуумсиз ёки нормал кўринишли сув ўтказгичлар*. Бунда оқим остидаги босим атмосфера босимиға деярли тенг бўлади;

3) Қирраси кенгайтирилган вакуумсиз сув ўтказгичлар. Бундай сув ўтказгичларда оқимча остидаги босим атмосфера босимидан сезиларли даражада фарқ қилади.

Битта сув ўтказгичнинг ўзи напор баландлигига кўра, вакуумли ва вакуумсиз ишлаши мумкин (10.22-расм).



10.22-расм. Вакуумсиз сув ўтказувчи тўғоннинг кундаланг профили кўриниши

10.11. АМАЛИЙ ПРОФИЛЛИ КЎРИНИШДАГИ ДЕВОРЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАРНИ ҲИСОБЛАШ ФОРМУЛАСИ

Сув ўтказгичларнинг амалий профили кўринишдаги деворга эга бўлганлари, асосан, тўғонлар сифатида қўлланилади (10.23-расмдаги тўғонга қаранг). Уларнинг деворлари қирралари кўпгина ҳолларда ҳар хил баландликда бўлиб, бу баландликлар оралиқ деворлар билан ажратилиб, ҳар бир баландликка эга бўлган қисм *бўлим* деб аталади. Тўғоннинг ҳар иккала томонидан қирғоқлар билан чегараланган девори таянч деворлари деб аталади.

Бу ўтказгичлар (10.23-расм)ни ҳисоблаш формуласини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Q = \sigma_{\text{кўм}} \epsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (10.78)$$

бунда B — сув оқиб тушаётган бўлим кенглиги.

$$B = \sum b, \quad (10.79)$$

бунда b — ҳар бир бўлим кенглиги; $\sigma_{\text{кўм}}$ — сарф камайишини ҳисобга олувчи кўмилиш коэффициенти $\sigma_{\text{кўм}} = 1$ — кўмилмаган ҳолат учун); ϵ — ён томондан сиқилиш коэффициенти.

$$\epsilon = \frac{B_c}{B}, \quad (10.80)$$

бунда B_c — ҳақиқий кенглик.

$$B_c = \sum b_c, \quad (10.81)$$

бунда b_c — оқимчаларнинг сиқилган кенглиги (10.7-расмга қаранг);
 m — сарф коэффициенти.

$$\Omega_s \geq 4(BH) \quad (10.82)$$

бўлганда яқинлашиш тезлигини ҳисобга олмасдан,

$$H_0 = H \quad (10.82')$$

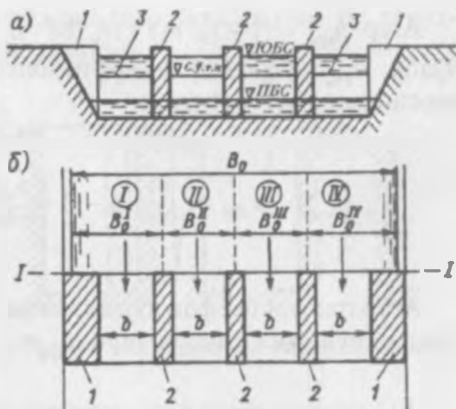
деб қабул қилиш мумкин.

Сув ўтказгичларни ҳисоблашда асосан, $\sigma_{\text{кўм}}$, ϵ , m коэффициентларни аниқлаш асосий масала ҳисобланади. Буни билган ҳолда қуйидаги масалаларни ҳисоблаш мумкин.

1) берилган B ва H га асосан, Q сарфни аниқлаш;

2) берилган H ва Q га асосан, B кенгликни аниқлаш;

3) берилган B ва Q га асосан, H напорни аниқлаш.



10.23-расм. Тўғон: а) пастки бьеф томондан кўриниши; б) тўғоннинг пландаги кўриниши. I — таянч деворлари; 2 — оралиқ деворлар; 3 — сув ўтказувчи тўғон деворининг баландлиги.

10.12. АМАЛИЙ ПРОФИЛЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ КЎМИЛИШ КОЭФФИЦИЕНТИНИ АНИҚЛАШ

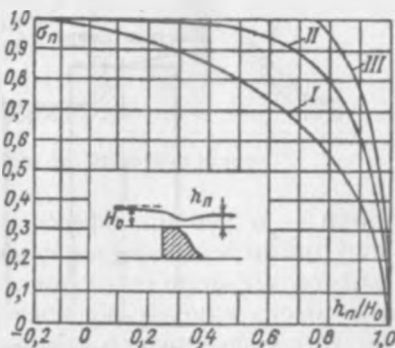
Кўмилиш коэффиценти қийматларини тажрибалар асосида чизилган график ёрдамида аниқлаш мумкин (10.24-расм). Бу графикдан кўрилиб турибдики, $\sigma_{\text{кўм}}$ катталиқ — $h_{\text{кўм}}:H_0$ муносабатга боғлиқ. Бунда $h_{\text{кўм}}$ — кўмилиш баландлиги, яъни пастки бьеф сув сатҳи баландлиги билан сув ўтказгич девори қирраси баландлиги орасидаги фарқ.

Бу расмда учта эгрилик ифодаланган:

а) I эгрилик — вакуумли сув ўтказгичлар учун;

б) II эгрилик — нормал кўринишдаги вакуумсиз сув ўтказгичлар учун;

в) III эгрилик — кенг остонали сув ўтказгичларга ухшаш бўлган вакуумсиз кенг қиррали сув ўтказгичлар учун.



10.24-расм. Вакуумли ва вакуумсиз сув ўтказгичларнинг кўмилиш коэффиценти аниқлаш графиги

Агар $h_{\text{кўм}} < (1 - 1,7m)^{2/5} H_0$ ва $\frac{h_{\text{кўм}}}{H_0}$ нисбат мусбат қийматларга эга бўлса, $\sigma_{\text{кўм}}$ кўмилиш коэффициентини Г.К.Дерюгин формуласига асосан ҳисоблаш мумкин:

$$\sigma_{\text{кўм}} = \sqrt{1 - \left[1 - \left(1 - \frac{h_{\text{кўм}}}{H_0} \right) \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{m}{0,59} \right)^{2/5}} \right]^2} \quad (10.83)$$

Агар пастки бьефда кўмилмаган гидравлик сакраш мавжуд бўлса, бундай сув ўтказгичлар учун $\sigma_{\text{кўм}} = 1,0$ деб қабул қилиниши мумкин.

10.13. АМАЛИЙ ПРОФИЛЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАР УЧУН ЁН ТОМОНДАН СИҚИЛИШ КОЭФФИЦИЕНТИНИ АНИҚЛАШ

Бир бўлимдан иборат сув ўтказгичлар учун ϵ сиқилиш коэффициенти 10.8-мавзунинг 3-бандидаги қабил аниқланади. Агар сув ўтказгич бир неча бўлимлардан иборат бўлса (10.23-расмдаги тўғонга қаранг), сиқилиш коэффициентини қуйидаги формула ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$\epsilon = 1 - 0,2 \frac{\xi_1 + (n-1)\xi_{\text{тик}}}{n} \frac{H_0}{b}, \quad (10.84)$$

бунда n — бўлимлар сони; ξ_1 — торайиш коэффициенти бўлиб, та-янч деворларнинг кириш қисми шаклига боғлиқ; $\xi_{\text{тик}}$ — торайиш коэффициенти бўлиб, оралиқ тик деворнинг пландаги кўриниш шаклига боғлиқ (10.25-расмга қаранг).

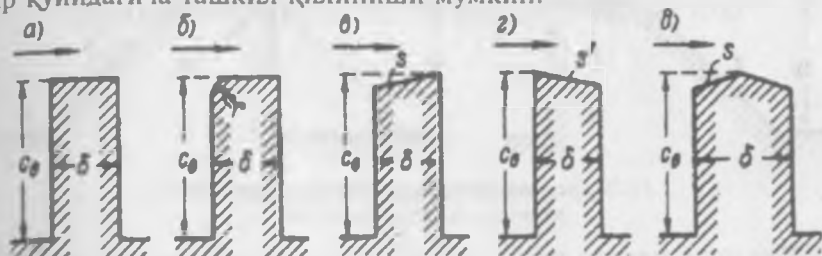


10.25-расм. Оралиқ тик деворнинг турли кўринишлари

10.14. АМАЛИЙ ПРОФИЛЛИ СУВ ЎТКАЗГИЧЛАРНИНГ КЎМИЛИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Амалий профили сув ўтказгичлар бир неча гуруҳларга бўлиниб, бу гуруҳ сув ўтказгичларнинг ҳар қайсисига алоҳида-алоҳида сарф

коэффициентини аниқлаш учун тажрибалар ўтказилган. Бу гуруҳлар қуйидагича ташкил қилиниши мумкин:



10.26-расм. Қўндаланг кесими тўғри тўртбурчак шаклидаги сув ўтказувчи девор

1) Деворининг қўндаланг кесими тўғри тўртбурчак шаклда (10.26-расм);

2) Трапециясимон кесимли (10.27-расм);

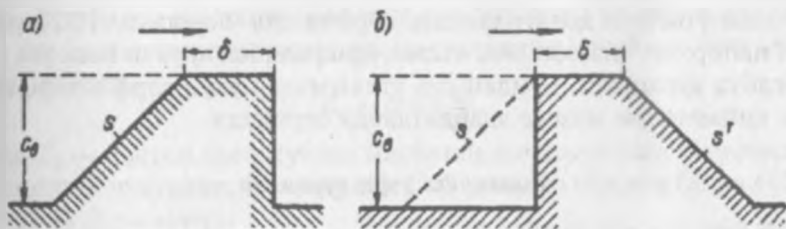
3) Учбурчак кесимли (10.28-расм);

4) Айланма бурчакли трапециясимон кесимли (10.29-расм);

5) Нормал кўринишдаги кесим (Кригер-Офицеров сув ўтказгичи, 10.30-расм).

Н.Н.Павловский бу гуруҳлар учун сув ўтказгичларни ҳисоблаш формуласини қуйидагича ёзиш мумкинлигини таклиф этган:

$$m = m_n \sigma_n \sigma_\phi, \quad (10.85)$$



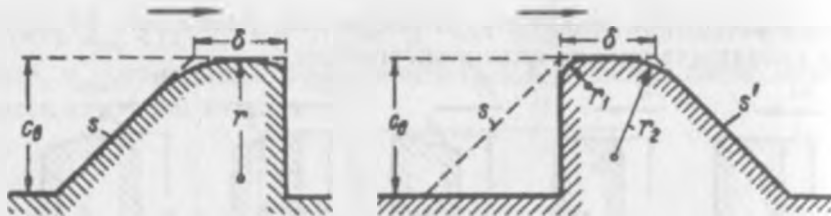
10.27-расм. Трапециясимон кесимли сув ўтказувчи девор

бунда m_n — тажрибада аниқланган сарф коэффициентини; σ_n — напор H қийматдан $H_{\text{прф}}$ гача ўзгарганда m сарф коэффициентининг ўзгаришини ҳисобга олувчи тузатма бўлиб, **напорнинг тўлиқлик коэффициентини** деб аталади; σ_ϕ — гуруҳлар орасидаги фарққа қараб сарф коэффициентини m нинг ўзгаришини ҳисобга олувчи тузатма бўлиб, **шакл коэффициентини** дейилади.

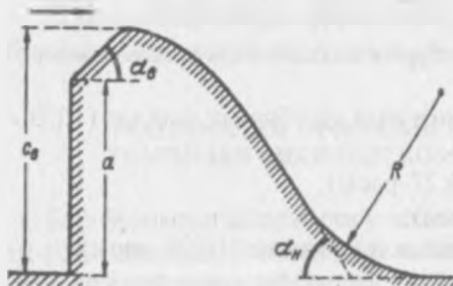
Юқоридаги хулосалардан кўри-
ниб турибдики, сарф коэффици-
енти ҳар хил гуруҳ учун турлича
бўлиши мумкин экан. Турли ада-
биётларда $\sigma_{\text{сум}}$ ва σ_ϕ коэффициент-
ларни ҳисоблаш формулалари



10.28-расм. Учбурчак кесимли сув ўтказувчи девор



10.29-расм. Айланма бурчакли трапециясимон кесимли сув ўтказувчи девор



10.30-расм. Нормал кўринишдаги сув ўтказувчи девор

келтирилган. Масалан, тўғри тўртбурчакли сув ўтказувчи деворлар учун $\sigma_{\text{срм}}$ ва σ_{ϕ} коэффициентларни қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\sigma_n = 0,700 + 0,185 \frac{H}{s} \quad (10.86)$$

$$\sigma_{\phi} = 1 + \frac{r}{H} \quad (10.87)$$

Вакуумсиз нормал кўринишдаги деворли сув ўтказгичлар 10.22-расм, б да кўрсатилгандек лойиҳалаштирилади. BC_1 сув ўтувчи сирт bc_1 оқимчанинг ингичка девордан ўтаётган ҳолатидагидек кўринишда чизилади (10.22-расм, а). H напор, bc_1 чизиққа мос келиб, профиллаштирувчи напорга тенг деб қабул қилинади. Бундай сув ўтказгичлар учун сарф коэффициенти қийматлари махсус адабиётларда берилади.

Текшириш учун саволлар

1. Сув ўтказгич деб нимага айтилади?
2. Сув ўтказгичнинг асосий ўлчамларини айтиб беринг.
3. Сув ўтказгичнинг қандай турлари мавжуд?
4. Ўткир қиррали сув ўтказгичдан ўтаётган суюқлик сарфи коэффициентига қандай ўлчамлар таъсир кўрсатади?
5. Кўмилиш коэффициенти нималарга боғлиқ?
6. Ингичка деворли парабола кўринишидаги сув ўтказгич учун сув сарфи формуласини ёзинг.
7. Кўмилмаган учбурчак шаклидаги сув ўтказгичда сув сарфи миқдори қандай аниқланади?
8. Амалий профили сув ўтказгичларнинг қандай турларини биласиз ва уларнинг чизмасини чизинг.
9. Сув ўтказгичларнинг қуйи бьефида сиқилган чуқурлик қиймати қандай аниқланади?
10. Амалий профили сув ўтказгичларнинг кўмилиш коэффициенти қийматлари қандай аниқланади?

XI БОБ

ТУҒОН ОРҚАЛИ БЬЕФЛАРНИ ТУТАШТИРИШ

11.1. ДАСТЛАБКИ ТУШУНЧАЛАР

Оқим юқори бьефдан пастки бьефга туғон орқали оқиб тушаётганда қуйидаги уч хил вазиятда ҳаракатланиши мумкин:

1. Туғон устига ўрнатилган T тўсиқ остидан оқимнинг чиқиши (11.1-расм);

2. Оқимнинг туғон устидан оқиб тушишида (ҳаракатланувчи тўсиқ бутунлай ёпиқ, 11.2-расм);

3. Оқизиклар тирқишидан оқиб ўтиши. Бундай ҳолат ҳаракатланувчи тўсиқ кўтарилганда, унинг остидан оқим ҳаракатлана бошлаганда кузатилади (11.3-расм).

Умуман, шуни таъкидлаш керакки, оқимнинг 11.2 ва 11.3-расмлардаги ҳаракатларини 11.1-расмдаги оқим ҳаракатининг хусусий ҳолати деб қабул қилиш мумкин.

Энди қуйидаги қўшимча катталиклар билан танишамиз: E — пастки бьеф тубидан юқориги бьефдаги сув сатҳигача бўлган баландлик; E_0 — шу баландликнинг яқинлашиш тезлигини ҳисобга олган ҳолатдаги қиймати.

$$E_0 = E + \frac{\alpha v_0^2}{2g},$$

бунда E_0 — пастки бьеф тубига нисбатан *сувнинг тўлиқ энергияси*; h — сиқилган чуқурлик, бу чуқурлик $C-C$ кесимда мавжуд бўлади (11.1, 11.2 ва 11.3-расмлар).

Туғоннинг қуйи бьефини лойиҳалашдаги асосий вазифалар:

а) қуйи бьеф сув сатҳи билан туташувчи оқимчанинг эркин сирти шаклини аниқлаш;

б) пастки бьефда қуриладиган турли иншоотларга (ўзанни мустаҳкамлаш учун оқимнинг ҳаракатини бошқариш ва энергиясини сўндириш учун) оқим таъсирини аниқлаш;

в) иншоотдан кейинги оқимнинг ювиш хусусиятини аниқлаш;

Бу муаммоларни туғон тўсиғининг турли вазиятлардаги ҳолати учун аниқлашга тўғри келади, чунки ишлатиш шароитлари шуни тақозо этади.

Тўсиқнинг очилиш даражасига қараб, пастки бьефга ташланадиган оқим сарфи ўзгарганлиги сабабли, таъкидлаш мумкинки, бу очишлишнинг ҳар бир вазиятига пастки бьеф чуқурлиги h_0 нинг муайян қиймати мос келади. Пастки бьефда ўзаннынг эни кенгайганлиги

сабабли (тўғондан тушаётган кесимга нисбатан) оқим ҳаракати фазовий, яъни уч ўлчамли кўринишда ўзгаради. Бунда фазовий кўринишдаги гидравлик сакраш жараёни рўй бериши мумкин. Маълум бир шароитларда транзит оқимчанинг тўғри ёки эгри чизиқли оқимидаги q солиштира сув сарфининг ошиши билан тавсифланувчи оқимнинг ҳаракати пайдо бўлиши мумкин.

Агар тўғон баландлиги сезиларли даражада юқори бўлиб, оқимнинг тушиш тезлиги катта (40—50 м/с) бўлса, бундай ҳаракатланишда аэрация ҳодисаси рўй бериши мумкин. Бундай катта тезликка эга бўлган оқим иншоотнинг тугаш қисмида кавитация жараёнини вужудга келтиради. Оқибатда иншоотнинг кавитацион емирилиши содир бўлиши мумкин.

Юқорида кўриб чиқилган вазиятлар учун тўғонларни лойиҳалашда тўлиқ назарияни ҳисобга олиб, тўғонларнинг гидравлик ҳисобини бажаришнинг имконияти йўқ. Шу сабабли, ниҳоятда масъулиятли иншоотларни лойиҳалаштиришда махсус лабораторияларда тажрибалар ўтказишга тўғри келади.

Биз қуйида пастки бьефлар туташилишининг назарий асосларини гина ўрганамиз. Иншоотларни лойиҳалаштириш билан боғлиқ бошқа муаммолар «Гидротехник иншоотлар қурилиши» курсида батафсил ўрганилади.

11.2. ОҚИМНИНГ СИҚИЛГАН КЕСИМДАГИ ЧУҚУРЛИГИНИ АНИҚЛАШ

Бьефларнинг гидравлик ҳисобини бажаришда асосий муаммолардан бири бу h_c сиқилган чуқурлик қийматини аниқлашдир (11.1, 11.2-расмлар). Агар тўғоннинг нишаблиги кичик ҳамда тўғри чизиқли бўлганда эди, h_c катталикини оқимнинг нотекис ҳаракати тенгламаси ёрдамида осон аниқлаш мумкин бўлар эди. Лекин тўғоннинг сув оқиб ўтадиган қисми нишаблиги катта ва эгри кўринишда бўлганлиги сабабли, h_c чуқурликни аниқлаш анча мураккаброқ.

Бунинг учун пастки бьефдаги ўзан тубидан ўтувчи 00 текисликни танлаб олиб (11.1-расм), 1-1 ва 2-2 кесимлар ўтказамиз. Бунда 1-1 кесим юқориги бьефда оқим ҳаракати текис ўзгарувчан бўлган вазиятда ўтказилса, 2-2 кесим сиқилган кесимдан ўтказилади. 1-1 ва 2-2 кесимлар учун 00 текисликка нисбатан Бернулли тенгламасини ёзамиз. Бунда 1-1 кесимдан 2-2 кесимгача оқим напорининг йўқолишини

$$h_f = \zeta \frac{v_c^2}{2g} \quad (11.1)$$

кўринишда қабул қиламиз. Бунда v_c — сиқилган кесимдаги ўртача тезлик,

ζ — қаршилик коэффиценти.

$$E_0 = h_c + \frac{v_c^2}{2g} + \zeta \frac{v_c^2}{2g} = h_c + (1 + \zeta) \frac{v_0^2}{2g}; \quad (11.2)$$

$$E_0 - h_c = (1 + \zeta) \frac{v_c^2}{2g}; \quad (11.3)$$

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \sqrt{2g(E_0 - h_c)}; \quad (11.4)$$

$$\frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} = \varphi_c, \quad (11.5)$$

бунда φ_c — иншоот яқини-
да напор йўқолишини
ҳисобга олувчи тезлик коэф-
фициенти

(1)

$$v_c = \varphi_c \sqrt{2g(E_0 - h_c)}; \quad (11.6)$$

(II)

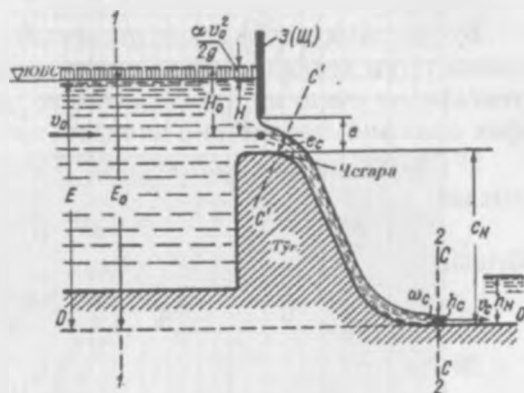
$$v_c = \frac{Q}{m}, \quad (11.7)$$

бунда ω_c — оқимнинг сиқилган кесим юзаси.

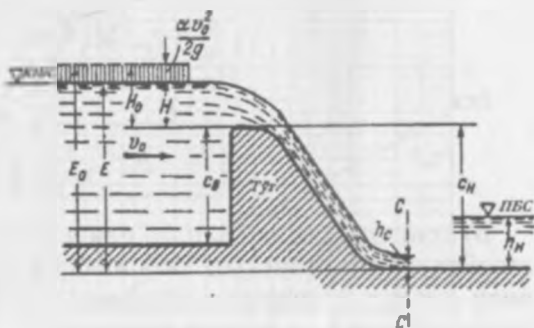
$$\omega_c = f(h_c). \quad (11.8)$$

(I) ва (II) ифодалар v_c ва h_c параметрлар номаълум булган икки номаълумли тенгламалар системасидир. Уларни биргаликда ечиш балан h_c катталикини топишимиз мумкин. Бу тенгламалар системаси пастки бьефда узан кесимининг ихтиёрий шакли учун тааллуқли бўлиб, агар кесим шакли тўғри тўртбурчак ёки трапеция кўринишда бўлса, бирмунча соддалашиши мумкин.

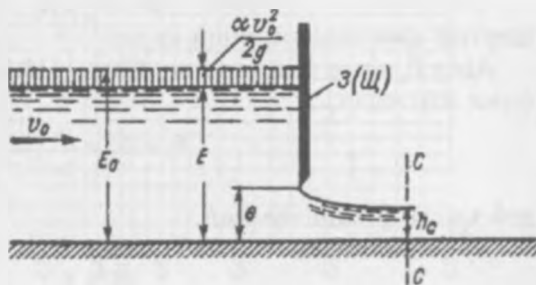
1. Агар пастки бьефда
ўзан кесими шакли трапе-
ция кўринишида бўлса, у
ҳолда



11.1-расм. Бъефлар туташгандаги умумий ҳолат



11.2-рasm. Бьeфлар туташгандаги хусусий ҳолат



**11.3-расм. Бъефлар туташгандаги хусусий ҳолат
(оқимчанинг тўсиқ остида оқиши)**

$$\omega_c = h_c (b + mh_c), \quad (11.9)$$

бунда m — ўзаннинг қиялик коэффициенти; b — ўзаннинг туби буйича кенглиги.

Демак,

$$Q = \varphi_c h_c (b + mh_c) \sqrt{2g(E_0 - h_c)}. \quad (11.10)$$

Бу тенглама номаълум h_c ни танлаб олиш усули ёрдамида аниқлашга тўғри келади. Бундан ташқари, А.Н.Раҳмонов томонидан бу тенгламани ечиш натижасида махсус график ҳам тузилган. Бу график орқали h_c параметрни аниқлаш анча осон.

2. Пастки бьефда ўзан кесими тўғри тўртбурчак бўлганда (текис масала)

$$Q = qb; \quad \omega_c = bh_c \quad (11.11)$$

бундан,

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{v_c \omega_c}{b} = \frac{v_c b h_c}{b} = v_c h_c. \quad (11.12)$$

Демак,

$$v_c = \frac{q}{h_c}. \quad (11.13)$$

(11.13) ифодани (11.6)га қўйсак,

$$\frac{q}{h_c} = \varphi_c \sqrt{2g(E_0 - h_c)} \quad (11.14)$$

ёки

$$E_0 = h_c + \frac{q^2}{2g\varphi_c^2 h_c} \quad (11.15)$$

Бу тенгламадан ҳам танлаб олиш усулидан фойдаланиб, h_c катталикни топамиз. Тенглама учта илдизга эга: бири — манфий, иккинчиси $0 < h_c < h_k$ шартга мос келса, учинчиси $h_c > h_k$ шартга жавоб беради, бунда h_k — критик чуқурлик.

Ҳақиқий h_c чуқурлик

$$0 < h_c < h_k \quad (11.16)$$

шартни қаноатлантириши керак.

Агар E_0 катта қийматга эга бўлса, (11.15) тенгламада h_c нинг ҳисобини олмасдан,

$$h_c = \frac{q}{v_c} = \frac{q}{\varphi_c \sqrt{2gE_0}} \quad (11.17)$$

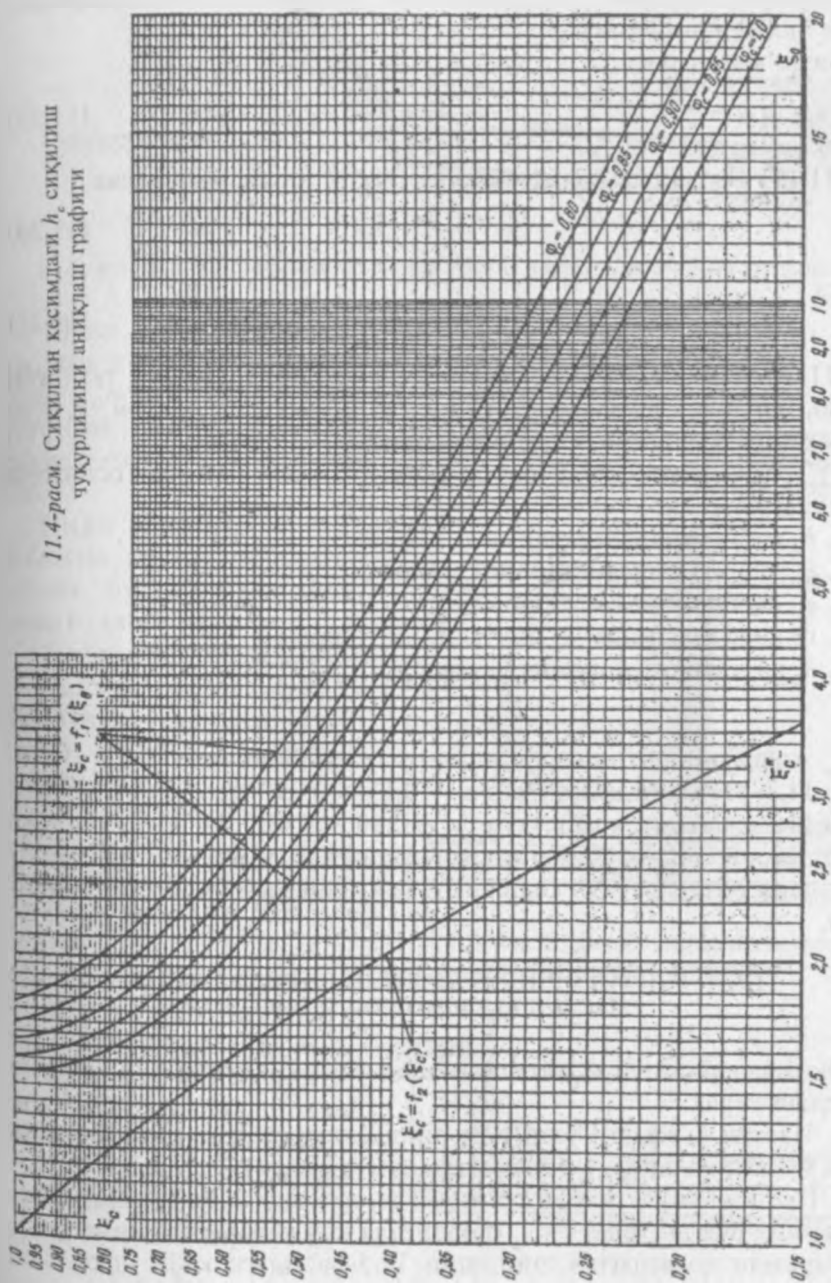
деб қабул қилиш мумкин.

Бу тенгламадан

$$\frac{E_0}{h_k} \geq 5 \quad (11.18)$$

шарт бажарилганда фойдаланиш мумкин.

11.4-расм. Сикдлан кесимдаги h_c сикдланш
чухурлигини аниқлаш графити



h_c катталиқни ҳисоблашни соддалаштириш мақсадида махсус графиклар тузилган бўлиб, шулардан бири бўлган Н.П.Павловский графиги билан танишамиз.

Бизга маълумки,

$$h_c^2 = \frac{a q^2}{g} = \frac{q^2}{g}, \quad (11.19)$$

(11.15) ифодани h_c га бўламиз ва (11.19) ни ҳисобга олсак:

$$\xi_0 = \xi_c + \frac{1}{2\varphi_c^2 \xi_c^2}, \quad (11.20)$$

бунда

$$\xi_0 = \frac{E_0}{h_c} \quad \text{ва} \quad \xi_c = \frac{h_c}{h_k}. \quad (11.21)$$

(11.20) тенгламага асосланиб, 11.4-расмдаги график тузилган бўлиб, бунда φ_c коэффициентнинг $\varphi_c = 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 1,00$ қийматлари учун эгриликлар чизилган.

Бу график ёрдамида h_c катталиқни қуйидаги тартибда осонгина аниқлаш мумкин:

1. h_k катталиқни аниқлаймиз;
2. $\xi_0 = E_0 : h_k$ катталиқни аниқлаймиз;
3. φ_c катталиқни қабул қиламиз;
4. график ёрдамида ξ_c катталиқни топамиз;
5. h_c катталиқни топамиз.

$$h_c = \xi_c h_k \quad (11.22)$$

φ_c коэффициентнинг сон қийматлари қуйидагича:

- 1) 11.1-расмдаги ҳолат учун $\varphi_c = 0,85 \div 0,95$;
- 2) 11.2-расмдаги ҳолат учун $\varphi_c = 0,90 \div 0,98$;
- 3) девори силлиқ бўлмаган сув ўтказгич учун $\varphi_c = 0,85 \div 0,95$;

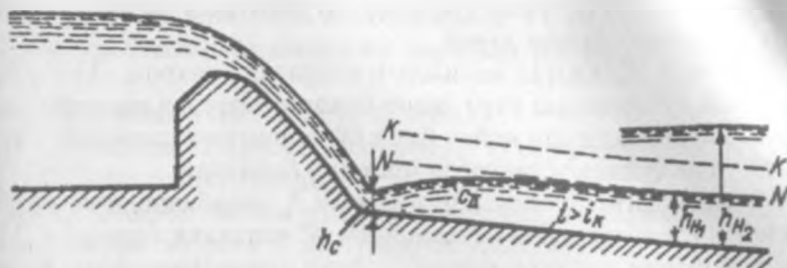
Баланд тўғонлар учун юқоридаги қийматлардан бири қабул қилинади.

11.3. ТЎҒОНДАН ОШИБ ТУШЛЁТГАН ОҚИМЧАЛАРНИНГ ПАСТКИ БЬЕФДА ТУТАШИШИ

Оқимчаларнинг бундай туташishiда, асосан, икки хил ҳолатни фарқлаш керак:

1. Пастки бьефдаги ўзан туби нишаблиги критик нишабликдан катта бўлган ҳолат $i > i_k$ (амалиётда кам учрайди);
2. Пастки бьефдаги ўзан тубининг нишаблиги критик нишабликдан кичик бўлган ҳолат $i < i_k$ (амалиётда кўп учрайдиган ҳолат).

Биринчи ҳолатдаги кўринишни 11.5-расмдаги каби ифодалаш мумкин. Агар $h_c < h_k$ шарт бажарилса, c_{II} кўринишдаги кўтариловчи сатҳ эгрилигини кузатиш мумкин.



11.5-расм. Пастки бьефдаги оқимнинг нотинч ҳаракатида бьефлар тутashiши

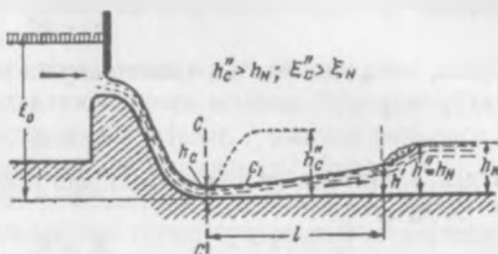
Шуни таъкидлаш керакки, ҳар доим $h_c < h_K$ бўлади. Агар $h_K > h_K$ ҳолат бўлса, тўғондан пастда гидравлик сакраш пайдо бўлиши мумкин.

Энди иккинчи ($i < i_K$) ҳолатни кўриб чиқадиган бўлсак, бунда уч хил кўриниш бўлиши мумкин.

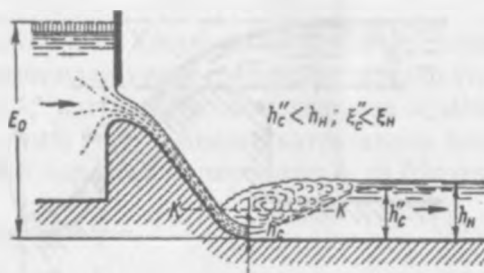
1-кўриниш. Узоқлашган гидравлик сакраш орқали бьефлар тутashiши (11.6-расм). Бунда l — гидравлик сакрашнинг узоқлашиш масофаси деб аталади. Бу c_1 — кўтарилувчи эгри сирт кўринишида бўлиб, кесимлардаги чуқурлик h_c ва h' га тенг бўлади (агар $i = 0$ бўлса, c_0 кўринишида бўлади). Бунда h' пастки бьеф чуқурлиги h_N билан туташувчи бўлади.

2-кўриниш. Кумилган гидравлик сакраш орқали бьефлар тутashiши (11.7-расм). Бу ҳолатда сакрашнинг кўмилиш даражаси деб аталувчи тушунча киритилади.

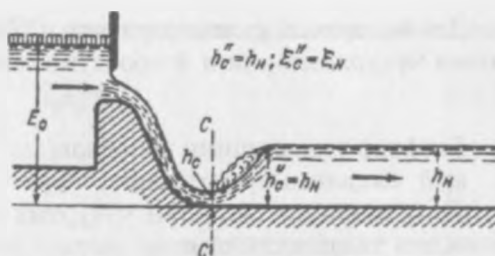
$$A = \frac{h_N}{h_c} \quad (11.23)$$



11.6-расм. Узоқлашган гидравлик сакраш орқали бьефлар тутashiши



11.7-расм. Кўмилган гидравлик сакраш орқали бьефлар тутashiши



11.8-расм. Сиқилган кесимдаги гидравлик сакраш

бунда h_c^* — иккинчи туташ чуқурлик. Бу ҳолатда A параметр қиймати 1,0 дан катта бўлиши керак.

3-куриниш. Сиқилган кесимдаги гидравлик сакраш (11.8-расм). Бьефларни туташтириш учун ҳисоб бажарилаётганда юқорида санаб утилган куринишлардан қайси бири бўлишлигини аниқлаш керак. Бунинг учун қуйидаги тартибда иш олиб борилади:

11.2-мавзудаги кўрсатмаларга асосан h_c ҳисобланади ва гидравлик сакраш тенгламасида фойдаланиб, h_c^* катталиқ топилади (11.9-расмдаги штрих чизиққа қаранг). Энди қуйидагича фикр юрита-миз:

1. Агар

$$h_n < h_c^* \quad (11.24)$$

бўлса, узоқлашган гидравлик сакраш мавжуд бўлади (1-куриниш);

2. Агар

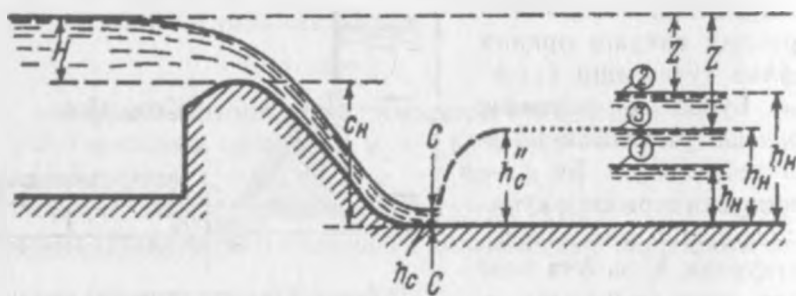
$$h_n > h_c^* \quad (11.25)$$

бўлса, кўмилган гидравлик сакраш мавжуд бўлади (2-куриниш);

3. Агар

$$h_n = h_c^* \quad (11.26)$$

бўлса, кўмилган гидравлик сакраш сиқилган кесимда рўй бериб, 3-куринишда бўлади.



11.9-расм. Бьефлар туташилишининг турини аниқлаш

Демак, хулоса қилиш мумкинки, бьефлар туташилишининг кўри-ниши чуқурликларнинг ўзаро муносабатига боғлиқ экан:

$$h_c^* > h_n. \quad (11.27)$$

Бьефлар туташилишини ҳисоблашда:

а) h_c сиқилган чуқурликни;

б) h_c^* иккинчи сиқилган чуқурлик билан туташган чуқурликни аниқлаш талаб қилинади.

Бундан ташқари, 1-куринишдаги ҳолатда гидравлик сакрашнинг узоқлашган масофаси ҳам аниқланади.

Бьефлар туташинини ҳисоблашнинг уч хил усули мавжуд: аналитик, графиклар ёрдамида ва тақрибий (соддалаштирилган) усуллар.

1. Аналитик усул. Бу усул ёрдамида:

1. Берилган H напорга асосланиб, Q сарф ёки Q сарфга асосланиб, H напор аниқланади;

2. H напорни билган ҳолда пастки бьефдаги узан тубига нисбатан солиштира энергия E ва тўлиқ солиштира энергия E_0 топилади (11.1 ва 11.2-расмлар);

3. h_c сиқилган чуқурлик аниқланади;

4. Гидравлик сакраш тенгламасидан фойдаланиб, h' иккинчи туташ чуқурлик аниқланади;

5. h' ва h_n катталиклар таққосланади;

6. Агар узоқлашган гидравлик сакраш мавжуд бўлса, у ҳолда, l гидравлик сакрашнинг узоқлашув масофаси, l_c сакраш узунлиги, l_{cx} сакрашдан кейинги участка узунлиги аниқланади, бунда:

а) маълум h_n чуқурликдан фойдаланиб, $h_n = h'$ деб ҳисоблаб, гидравлик сакраш тенгламасига асосан туташ чуқурлик h' топилади;

б) Бахметов тенгламасидан фойдаланиб, h_c ва h' чуқурликлар билан чегараланувчи узунлик аниқланади;

в) 8-бобдаги кўрсатмаларга асосан l_c ва l_{cx} узунликлар аниқланади.

2. Графиклар ёрдамида ҳисоблаш. Ҳисоблашнинг қулай бўлиши учун кўпгина муаллифлар томонидан турли графиклар таклиф этилган. Бу графиклар ёрдамида h'_c катталиклари осон аниқлаш мумкин.

Бу графиклардан фойдаланиш учун қуйидаги катталиклар билан танишамиз. (11.27) ифоданинг ҳар иккала томонини h_n га бўламиз:

$$\frac{h'_c}{h_n} < \frac{h_n}{h_n} \quad (11.28)$$

Белгилаш киритамиз:

$$\frac{h'_c}{h_n} = \xi'_c, \quad \frac{h_n}{h_n} = \xi_n, \quad (11.29)$$

бунда ξ'_c — сакрашнинг нисбий чуқурлиги; ξ_n — пастки бьефдаги нисбий чуқурлик.

(11.29) га асосланиб, (11.28) тенгсизликни қуйидагича ёзишимиз мумкин:

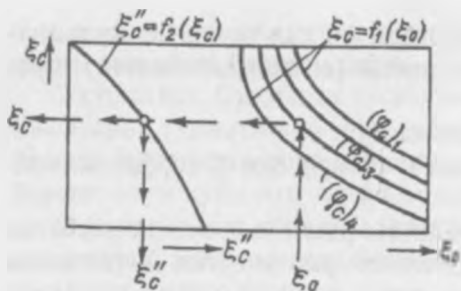
$$\xi'_c < \xi_n, \quad (11.30)$$

бундан кўриниб турибдики:
агар

$$\xi'_c > \xi_n, \quad (11.31)$$

бўлса, узоқлашган гидравлик сакраш мавжуд бўлади;
агар

$$\xi'_c < \xi_n, \quad (11.32)$$



11.10-расм. Бьефларни туташтириш учун ҳисоблашга доир

бўлса, кумилган гидравлик сакраш мавжуд бўлади;
агар

$$\xi_c'' = \xi_n, \quad (11.33)$$

бўлса, гидравлик сакраш сиқилган кесимда амалга ошади.

(11.20) ифодага асосланиб ξ_c катталиги ξ_0 нинг функцияси эканлигини таъкидлаш мумкин:

$$\xi_c = f_1(\xi_0). \quad (11.34)$$

Гидравлик сакраш тенгламасига асосан:

$$\xi_c'' = f_2(\xi_c). \quad (11.35)$$

Демак,

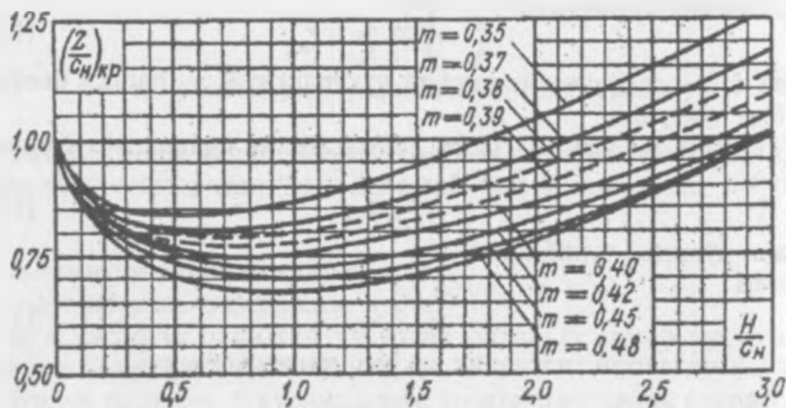
$$\xi_c'' = f(\xi_0). \quad (11.36)$$

деб ёзиш мумкин.

11.4-расмда φ_c коэффициентининг турли қийматлари учун (11.20) ва (11.34) ифодалар асосида чизилган Угинчус ва Павловский эгриликлари кўрсатилган.

11.10-расмдаги график М.Д.Чертоусов томонидан тузилган бўлиб, бу график ёрдамида бьефлар туташтириш қийинчилигини аниқлаш мумкин: ξ_0 катталигини билган ҳолда расмда кўрсатилганидек, ξ_c ва ξ_c'' катталиклари аниқланади; ξ_c'' ва ξ_n катталиклари орасидаги муносабатни ўзаро таққослаб, бьефлар туташтириш аниқланади.

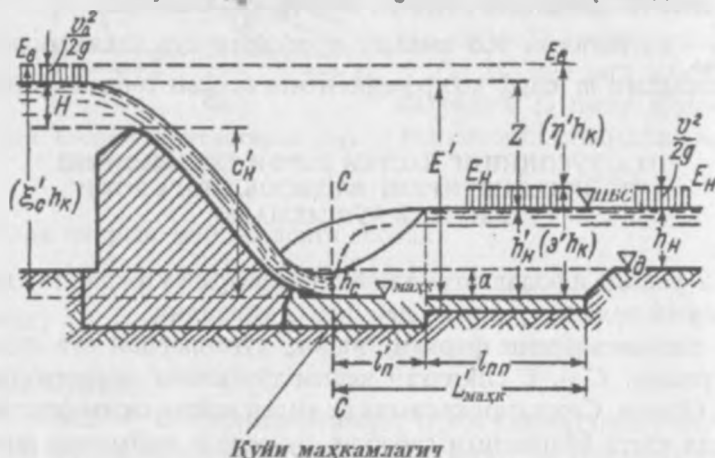
3. Тақрибий (соддалаштирилган) усул. Ҳисоблашнинг бу усули билан суз ўтказгичларни ҳисоблашда танишганмиз. Бунга асосан, агар туғон устида вазиятини тик йўналишда ўзгартирувчи тўсиқ бўлмаса ва



11.11-расм. Критик қийматларни аниқлаш графиги

$$\frac{Z}{c_H} > \left(\frac{Z}{c_H} \right)_{\text{кр}} \quad (11.37)$$

Кумилган гидравлик сакраш жараёнини амалга ошириш учун пастки бьефни a катталиқ даражасида чуқурроқ қилишга тўғри келади. 11.13-расмдан кўриниб турибдики, тўғон баландлиги пастки бьеф томондан катталашади, демак, кўмилиш чуқурлиги оша бошлайди. Янги чуқурлик деб аталувчи h'_k катталиқ қуйидагича аниқланади:



11.13-расм. Пастки бьефнинг енгил мустаҳкамланиш баландлигини ҳисоблашга доир

$$h'_k = h_k + a, \quad (11.39)$$

бунда h_k — берилган сарфга мос келувчи пастки бьефдаги ҳақиқий чуқурлик.

$$L'_m = l'_c + l_{c,x}, \quad (11.40)$$

бунда l'_c — кумилган сакраш узунлиги.

$$l'_c = 6(h'_k - h_c) \quad (11.41)$$

ёки

$$l'_c = (5,2 + 5,5)h'_k. \quad (11.42)$$

Юқорида таъкидланганидек, пастки бьефдаги чуқурлик h_k муайян сарф учун $h_k = f(Q_{пб})$ графикдан фойдаланиб топилади.

$$Q_{пб} = Q + Q', \quad (11.43)$$

бунда $Q_{пб}$ — пастки бьефдаги оқим сарфи; Q — лойиҳалаштирилган тўғондан тушадиган оқим сарфи; Q' — ён томондаги иншоотдан тушаётган сарф.

Q сарф ҳаракатланувчи тўсиқ вазиятига қараб, $Q = 0$ дан $Q = Q_{\max}$ қийматгача ўзгариши мумкин, бунда $Q_{\max}$ — барча тўсиқлар тўлиқ очилганда юқори бьефдаги сув сатҳи энг юқори бўлгандаги сарф.

Бьефларни туташтиришни лойиҳалашда ҳисобий сарф $Q_{хс}$ сифатида иншоотлар туташилишининг энг оғир шароитига мос келувчи катталиқ қабул қилинади. $Q_{хс}$ сув сарфида гидравлик сакрашнинг

узоқлашиши энг катта бўлиши ёки кумилганлик даражаси энг кичик бўлиши керак.

Сарфнинг ихтиёрий қийматига маълум h_n чуқурлик мос келганлиги сабабли, сарф қанча катта бўлса, $h_c > h_n$ тенгсизликдаги h' катталиқ шунга мос миқдорда катта бўлади ва h_n ҳам ўсади.

Ҳисоблашлар натижаси шуни курсатдики, иншоотлар туташининг энг қийин шароити $Q_{\max}$ га тенг бўлган ўтказувчанлик бўлганда эмас, балки оралиқ миқдор (Q_0) га тенг бўлган ўтказувчанликда рўй берар экан.

$$0 < Q_0 < Q_{\max} \quad (11.44)$$

Бу шарт қуйидаги ҳолат мавжуд бўлганда бажарилиши мумкин:

а) юқори бьефда сув сатҳи максимал бўлганда;

б) Q' нинг энг кичик қиймати мавжуд бўлганда.

Бундай шароитда $Q_{\text{чи}} = Q_0$ катталиқ ҳаракагланувчи тусиқларнинг турлича очилиш вазиятига боғлиқ бўлиб, танлаб олиш усулида топилади.

11.5. ИНШООТЛАРНИНГ ПАСТКИ БЬЕФЛАРИДА ОҚИМНИНГ КИНЕТИК ЭНЕРГИЯСИНИ СЎНДИРИШ

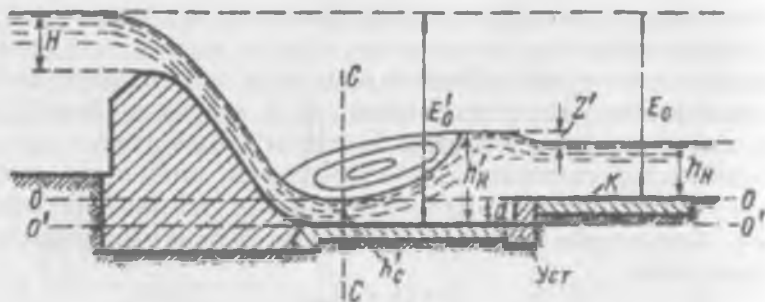
Бизга олдинги мавзулардан маълумки, туғоннинг юқори бьефидаги нисбатан катта потенциал энергия қисман кинетик энергияга айланади. Бу эса ўз навбатида пастки бьефда сув тезлигининг ошишига олиб келади. Пастки бьефда тезликнинг юқори бўлиши — у ерда ниҳоятда қиммат бўлган мустаҳкамлаш ишларини бажаришни тақозо этади. Бундай қуриладиган иншоотларни мустаҳкамлик даражасини камайтириш билан нархини пасайтириш учун қуйидагиларга эътиборни қаратиш керак:

а) h_c чуқурликни h_n чуқурлик катталигига етказиш билан пастки бьефга тушаётган оқим кинетик энергиясининг бир қисмини потенциал энергияга айлантириш;

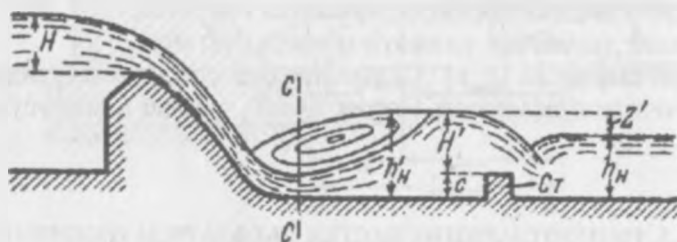
б) ортиқча кинетик энергияни ишқаланиш кучи ҳисобига бажарилган иш билан иссиқликка айлантириб, сўндириш. Пастки бьефдаги ортиқча энергиясини сўндириш натижасида у ерда узоқлашган гидравлик сакраш жараёни ўрнига кумилган гидравлик сакраш амалга ошади.

Пастки бьефнинг мустаҳкамланиш қуввати анча сустлашиши мумкин. Шу пастки бьефда энергияни сўндириш учун қуриладиган махсус иншоотлар *энергия сўндиргичлар* деб аталади. Бундай иншоотларнинг қуйидаги турлари мавжуд:

1) Сув урилма ҳовузи (11.14-расм). Бунда оқим энергияси пастки бьеф чуқурлигини сунъий ошириш ҳисобига сўндирилади. Бу чуқурлик миқдори d катталиқ билан белгиланади. Гидравлик нуқтаи назардан 11.13-расмдаги вазият вужудга келади.



11.14-расм. Сув урилма ҳовузи



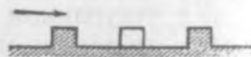
11.15-расм. Сув урилма девори

2) Сув урилма девори (11.15-расм). Бунда h'_n кўмилиш чуқурлиги h_n пастки бьеф чуқурлигидан Z катталиги билан фарқланади. Бу фарқланиш C_m сув уриладиган девор қурилиши ҳисобига амалга оширилади.

3) Умумлаштирилган сув урилма девори (11.16-расм). Бу ҳолатда оқим тубининг пасайиши ҳисобига пастки бьефдаги чуқурлик ошади.



11.16-расм. Умумлаштирилган сув урилма девори



11.17-расм. Энергия сўндиргичлар схемаси

4) Махсус энергия сўндиргичлар. Оқим ҳаракатини секинлаштирувчи ҳар хил тўсиқлар мажмуаси шундай махсус сўндиргичларга кирази. Оқим ҳаракатининг деформацияланиши натижасида энергиянинг сўниши рўй беради. Бундай тўсиқлар 11.17-расмда келтирилган. Сув урилма қудуқлари ва сув урилма деворларидан фарқли ўлароқ махсус энергия сўндиргичларнинг гидравлик ҳисоби бажарилмайди, фақат лаборатория тадқиқотлари натижасида уларнинг ўлчамлари ва жойлаштирилишини аниқлаш мумкин. Бу ҳақда «Гидротехник иншоотлар қурилиши» курсида батафсил маълумотлар бе-

рилган. Биз қуйида энг оддий сўндиргичлар бўлмиш сув урилма девори ва ҳовузчаларининг гидравлик ҳисоблари билан (аналитик ва графиклар ёрдамида) танишамиз.

11.6. ПАСТКИ БЪЕФ ТУБИ БЕЛГИСИ ВА СУВ УРИЛМА ҲОВУЗИ ЧУҚУРЛИГИНИ АНИҚЛАШНИНГ АНАЛИТИК УСУЛИ

1. Умумий кўрсатмалар. Ҳовузча қуриш учун тўғон орқасидаги ўзан туби 00 вазиятдан 0'0' вазиятгача d катталиқка пастга туширилади, бунда d — сув урилма ҳовузи чуқурлиги.

Натижада қуйидагига эга бўламиз:

а) оқимнинг тушиш баландлиги E_0 баландликдан E'_0 баландликкача ўсади;

б) h_c чуқурлик h'_c га тенг чуқурликкача камаяди;

в) h'_c чуқурлик катталиги камайганлиги сабабли, у билан туташ чуқурлик h'' ошади, натижада шунга мос равишда $(h'' - h')$ гидравлик сакраш баландлиги ошади;

г) гидравлик сакраш баландлиги ошганлиги сабабли энергия йўқолиши ҳам ошади, чунки 9.5-мавзудаги фикрларга асосланиб, таъкидлаш мумкинки, энергия йўқолиши сакраш баландлигининг учинчи даражасига тўғри пропорционалдир.

Сув урилма ҳовузининг ишлашини яна қуйидагича изоҳлаш мумкин: бизга маълумки, узоқлашган гидравлик сакраш

$$h'_c > h_n \quad (11.45)$$

шарт бажарилганда рўй беради. Сув урилма ҳовузининг қурилиши h'_c чуқурликнинг ошишига олиб келади:

$$h''_c > h'_n. \quad (11.46)$$

Кўмилиш даражаси $A=1,05 \div 1,10$ бўлган кўмилган гидравлик сакраш жараёни бўлишлиги учун сув урилма ҳовузининг чуқурлиги қуйидагича бўлиши керак:

$$d = (1,05 + 1,10) d_0 + (0,05 + 0,10) h_n, \quad (11.47)$$

бунда d_0 — сув урилма ҳовузининг назарий чуқурлиги деб аталиб, бундай чуқурлик мавжуд бўлганда гидравлик сакраш сиқилган кесимда амалга ошади ва кўмилганлик даражаси $A = 1,0$ га тенг бўлади (11.18-расм).

Юқоридаги формуланинг тўғрилигини қуйидагича асослашимиз мумкин. Гидравлик сакрашнинг кўмилганлик даражасини қуйидагича ифодалаймиз:

$$A = \frac{h'_n}{(h'_c)},$$

бунда h'_n ва (h'_c) чуқурликлар мос равишда 11.14 ва 11.18-расмларда ифодаланган.

Агар Z' сатҳлар фарқини ҳисобга олмасак, юқоридаги ифода ўрнига қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$A = \frac{d+h_n}{d_0+h_n},$$

бундан

$$d = Ad_0 + (A-1)h_n$$

бўлиб, $A=1,05 \div 1,10$ бўлганда (11.47) формула келиб чиқади.

(11.47) формула ёрдамида ҳовузчанинг лойиҳада қўлланиладиган d амалий чуқурлигини аниқлаш учун, d_0 назарий чуқурликни билишимиз керак. Энди d_0 катталикини аниқлашга эътиборни қаратамиз.

2. Сув урилма ҳовузининг назарий чуқурлигини аниқлаш. «прим» (') белгиси билан сув урилма ҳовузи қурилиши натижасида ўз чуқурлигини ўзгартирган катталикларни белгилаймиз. Шунинг таъкидлаш керакки, 11.18-расмда биз эришадиган гидравлик кўриниш эмас, балки d_0 назарий чуқурликни аниқлаш учун ҳисоблаш схемаси берилган.

Тўғондан оқиб тушаётган оқимнинг солиштирма сарфини аниқлаймиз.

$$q_\tau = \frac{Q}{B} \quad (11.48)$$

бунда B — тўғоннинг сув ошиб тушаётган қисми кенлиги.

Q сарфни ҳисоблашда оқимнинг тирқишдан сиқилиб чиқишидаги ҳисоблаш формулаларидан фойдаланамиз. q_τ катталикини билган ҳолда, ишни қуйидаги тартибда бажарамиз:

Ҳисоблашнинг 1-банди:

1. d_0 катталиққа ихтиёрий қиймат берамиз;

2. E'_0 катталиқнинг янги қийматини топамиз:

$$E'_0 = E_0 + d; \quad (11.49)$$

3. E'_0 катталиқдан фойдаланиб h'_e сиқилган чуқурликнинг янги қиймати h'_e катталиқни топамиз;

4. h'_e катталиққа мос келувчи h''_e тугаш чуқурлиқнинг (h''_e) катталигини топамиз;

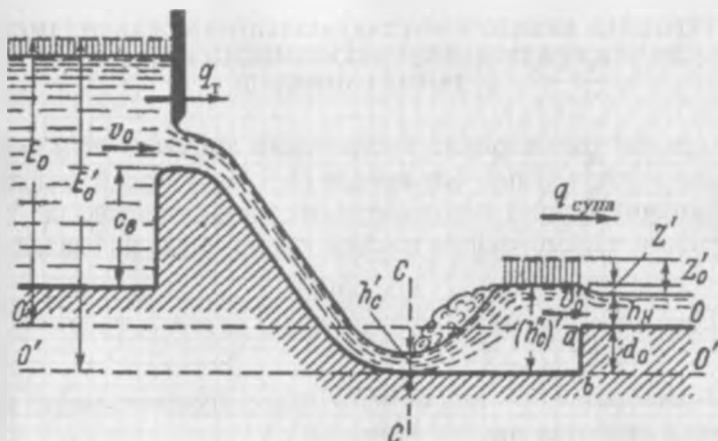
5. сув урилма ҳовузининг тугаш қисмида кенг остонали кўмилган сув ўтказгичдаги сув урилма девори каби ишловчи ab сув урилиш супага эга бўламиз. Шу сабабли, ab супа соҳасида z' сув сатҳи фарқи мавжуд бўлади. (h''_e) катталиқни аниқлаб, (h''_e) = h'_n деб қабул қиламиз ва Z' фарқ катталигини аниқлаймиз:

$$Z' = (h''_e) - d_0 - h_n; \quad (11.50)$$

6. оқимнинг супага яқинлашиш тезлигини аниқлаймиз:

$$v'_0 = \frac{q_\tau}{(h''_e)}; \quad (11.51)$$

7. яқинлашиш тезлигини ҳисобга олган ҳолда сув урилиш супадаги сатҳ фарқини аниқлаймиз:



11.18-расм. Сув урилма ҳовузининг d_0 назарий чуқурлигини аниқлашга доир

$$Z'_0 = Z' + \frac{\alpha(v_0')^2}{2g} \quad (11.52)$$

8. кенг остонали кўмилган сув ўтказгични ҳисоблаш формуласидан фойдаланиб, сув урилувчи супадаги оқимнинг солиштира сарфини аниқлаймиз:

$$q_{\text{супа}} = \varphi_{\text{супа}} h_n \sqrt{2gZ'_0}, \quad (11.53)$$

бунда $\varphi_{\text{супа}}$ — оқимнинг супадаги тезлик коэффиценти ($\varphi_{\text{супа}} \approx 0,95$).

Ҳисоблашнинг 2-банди:

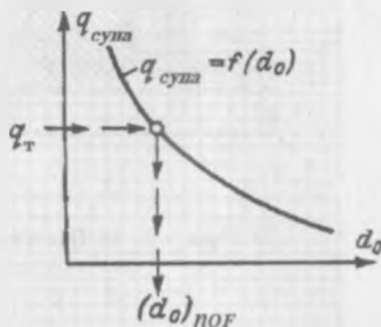
d_0 назарий чуқурликка бошқа қиймат бериб, 1-бандга асосан q_c катталики топилади ва ҳ.к. Ҳисоблашни энг камда уч марта такрорлаб,

$$q_{\text{супа}} = f(d_0) \quad (11.54)$$

графикини чизамиз. Бу график 11.21-расмда ифодаланган.

$$q_{\text{супа}} = q_T \quad (11.55)$$

муносабатни эътиборга олган ҳолда 11.19-расмдан фойдаланиб, (12-55) шартни қаноатлантирувчи d_0 катталики қиймати топилади.



11.19-расм. Ҳовузнинг (d_0) назарий чуқурлигини аниқлашга доир

11.7. ТЎҒОНДАН КЕЙИНГИ МУСТАҲКАМЛАШНИНГ БАЛАНДЛИГИНИ ВА СУВ УРИЛМА ҲОВУЗ ЧУҚУРЛИГИНИ ГРАФИКЛАР ЁРДАМИДА АНИҚЛАШ

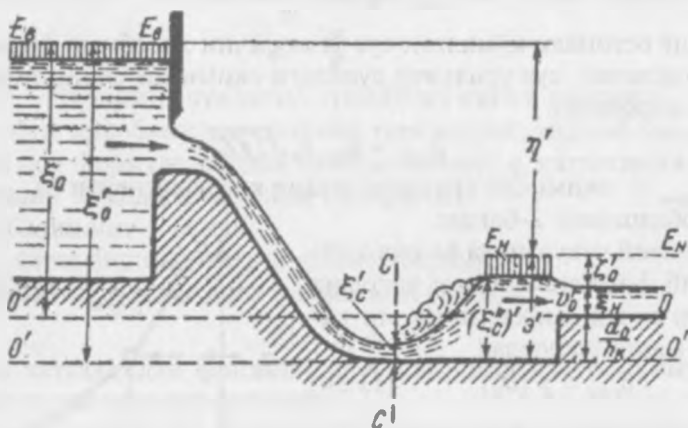
Сув урилма ҳовузларнинг чуқурлигини аниқлаш учун бир неча графиклар мавжуд бўлиб, биз қуйида Н.Н.Павловский графиги билан танишамиз. Бунинг учун сув урилма ҳовузини ифодалаб, (11.20-расм), ундаги параметрларни нисбий қийматларда ифодалаймиз:

$$\xi_0 = \frac{E_0}{h_k}; \quad \xi'_0 = \frac{E'_0}{h_k}; \quad \zeta'_0 = \frac{Z' \frac{\alpha(v'_0)^2}{2g}}{h_k} = \frac{Z'_0}{h_k}; \quad \xi_n = \frac{h_n}{h_k}. \quad (11.56)$$

11.20-расмдаги η' — иншоотдаги напор йўқолишининг критик чуқурликка нисбатан нисбий қиймати:

$$\eta' = \xi_0 - \xi_n - \zeta'_0, \quad (11.57)$$

бунда E_0 , h_n , ва h_k параметрларни билган ҳолда ξ_0 ва ξ_n катталикларни топиш мумкин.



11.20-расм. Н. Н. Павловский графигига асосланиб, сув урилма ҳовузи чуқурлигини аниқлашга доир

ζ'_0 нисбий фарқ катталигини кўмилган кенг остонали сув ўтказгични ҳисоблаш формуласидан фойдаланиб, аниқлаш мумкин:

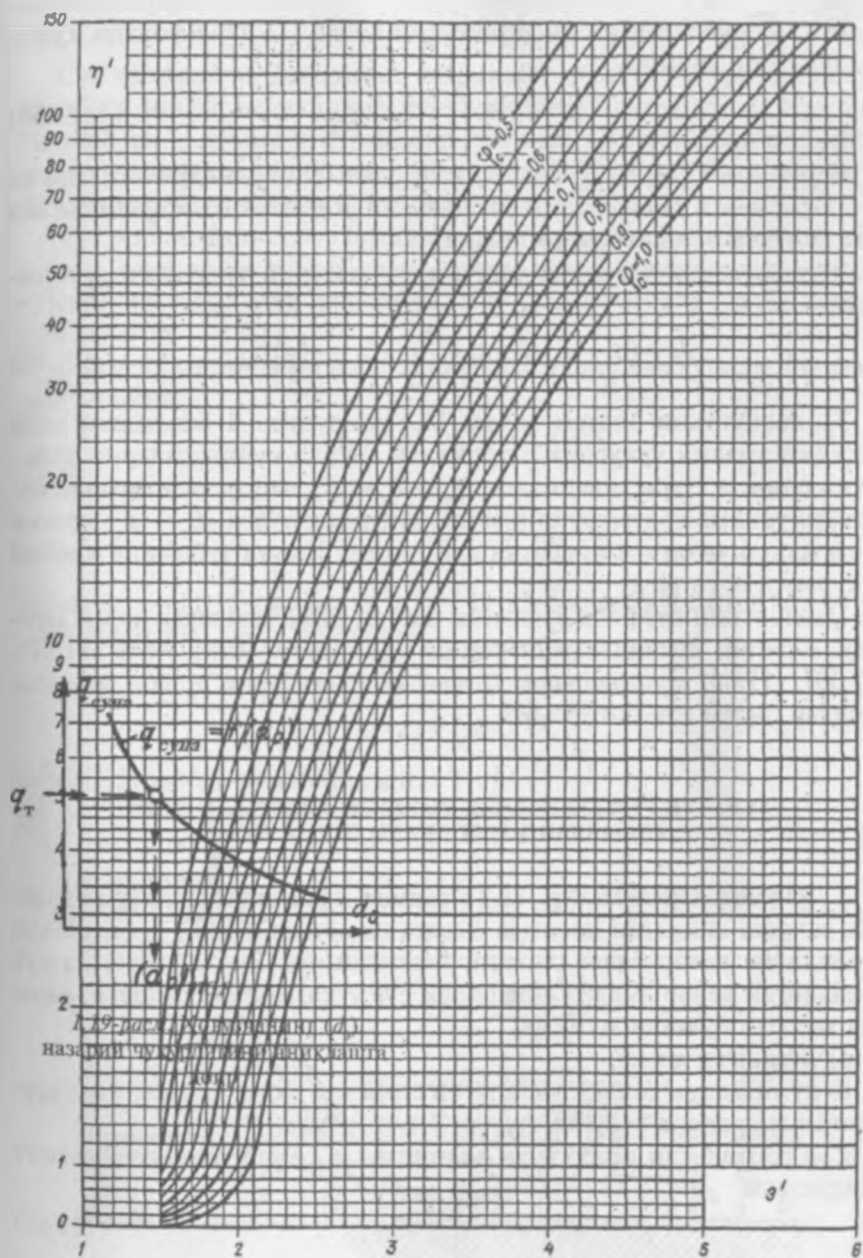
$$q = \varphi_{сма} h_n \sqrt{2gZ'_0},$$

бундан

$$Z'_0 = \frac{q^2}{g} \frac{1}{2\varphi_{сма}^2 h_n^2} = \frac{h_n^2}{2\varphi_{сма}^2 h_n^2}.$$

Демак,

$$\zeta'_0 = \frac{Z'_0}{h_k} \frac{1}{2\varphi_{сма}^2 \xi_n^2} = \frac{1}{2\xi_n^2}, \quad (11.58)$$



11.21-расм. Сув урилма ҳовузи чуқурлиги ва тўғондан кейинги мустаҳкамлагич сатҳларини аниқлашга доир график

бунда $\varphi_{\text{супа}} \approx 1,0$ — сув урилувчи супа учун тезлик коэффициенти.

(11.58) муносабатни ҳисобга олган ҳолда (11.57) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\eta' = \xi_0 - \xi_n - \frac{1}{2\xi_n^2}. \quad (11.59)$$

Берилган E , Q ва h_n катталиклар учун η' параметр топилади ва 11.21-расмдаги Павловский графигидан φ_c тезлик коэффициентиға мос келувчи ε' катталик топилади.

ε' га асосан, сув урилма ҳовузининг назарий чуқурлиги d_0 топилади:

$$d_0 = (\eta' + \varepsilon' - \xi_0) h_n = \left(\varepsilon' - \xi_n - \frac{1}{2\xi_n^2} \right) h_n. \quad (11.60)$$

Бу катталикни билган ҳолда, 11.6-мавзунинг 1-бандидаги каби ҳақиқий амалий чуқурлик d топилади. Бунда қуйидагиларни эътиборга олишга тўғри келади: агар $\xi_0 - E_s - E_n$ напор чизигига нисбатан сув урилма ҳовузи туби нисбий чуқурлик бўлса, $E_n - E_n$ пастки бьеф напор чизигига нисбатан сув урилма ҳовузи тубининг нисбий чуқурлиги ε' га тенг.

Павловский графиги ёрдамида пастки бьефдаги жуда қулай мустаҳкамланиш баландлигини топиш мумкин, бунинг учун (11.47), (11.59), (11.60) ифодалардаги d_0 ва d катталикларни a_0 ва a белгилаишлар билан алмаштирамиз.

11.8. СУВ УРИЛАДИГАН ДЕВОРНИНГ БАЛАНДЛИГИНИ ҲИСОБЛАШНИНГ АНАЛИТИК УСУЛИ

1. Умумий кўрсатмалар. 11.22-расмда ифодаланганидек, гидравлик сакраш сиқилган кесимда амалга ошаётган бўлиб, c_0 билан сув уриладиган девор баландлигини белгилаймиз. Бундай ҳолатда сув уриладиган девор амалий профилли сув ўтказгич каби ишлаб, иккинчи хил ҳолатда бўлиши мумкин:

а) кўмилган ҳолат;

б) кўмилмаган ҳолат, бунда тўғон орқасида оқим ўз ҳолатини узоқлашган гидравлик сакраш орқали ўзгартиради.

Сув уриладиган девор учун солиштирма сарф қуйидагича амалга оширилади:

$$q_d = \sigma'_n m' \sqrt{2g} (H'_0)^{3/2}, \quad (11.61)$$

бунда

$$H'_0 = H' + \frac{\alpha(v_0)^2}{2g} \quad (11.62)$$

Энди сув уриладиган деворнинг назарий баландлигини сув ўтказгич деворининг қўмилган ва қўмилмаган ҳолати учун куриб чиқармиз.

2. Сув ўтказгич деворининг қўмилмаган ҳолати учун c_0 назарий баландликни аниқлаш. Бу катталиқни аниқлаш учун танлаш усулидан фойдаланилади. Ҳисоблаш тартиби қуйидагича бўлади:

1. E пастки бьеф тубига нисбатан тулиқ энергиянинг аниқ қиймати ва $q_0 = (Q : B)$ сарфга мос келувчи h_c сиқилган чуқурлик аниқланади;

2. гидравлик сакрашнинг асосий тенгламасидан фойдаланиб, h' чуқурлик топилади;

3. оқимнинг сув уриладиган деворга яқинлашиш тезлиги аниқланади:

$$v_0' = \frac{q}{h_c} \quad (11.65)$$

ҳамда $\frac{\alpha(v_0')^2}{2g}$ тезлик напори ҳисобланади;

4. (11.61) ифодани ҳисобга олиб, $q_0 = q$ ва $\sigma_n' = 1,0$ деб қабул қилиб, H_0' напор қиймати топилади:

$$H_0' = \left(\frac{q_0}{m' \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (11.66)$$

бунда сарф коэффициенти m қуйидагича аниқланади:

$$m' = 0,40 + 0,44 \approx 0,42;$$

5. Тулиқ напорни билган ҳолда, геометрик напорни аниқлаш мумкин:

$$H' = H_0' - \frac{\alpha(v_0')^2}{2g}; \quad (11.67)$$

6. Ниҳоят c_0 девор баландлиги аниқланади:

$$c_0 = h_c' - H'. \quad (11.68)$$

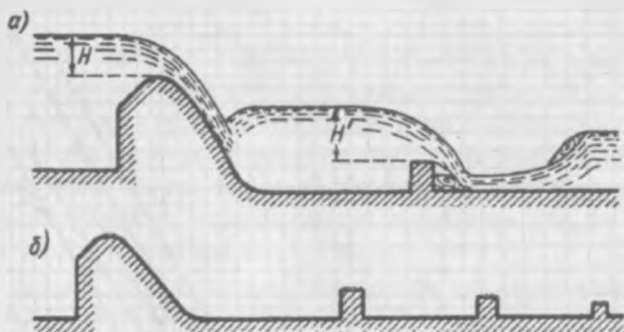
3. Хулосалар.

1. Кўпинча сув урилма деворида ҳосил бўлган сув ўтказгич қўмилган ёки қўмилмаган ҳолатда ишлаши номаълум бўлади. Шу сабабли, деворни дастлаб, қўмилмаган ҳолатда деб қабул қилиниб, ҳисоб бажарилади, агар у қўмилган ҳолатда ишласа, у ҳолда ҳисоблаш қўмилганликни ҳисобга олган ҳолда, қайтадан бажарилади;

2. Девор баландлиги тўғонга ўрнатилган тўсиқнинг турли баландликларда очилган ҳолатлари учун ҳисобланиб, улардан энг каттаси қабул қилинади;

3. Сув урилма деворини ҳисоблашда ундан оқим ўтгандан кейин бьефлар туташшини ҳисобга олиш керак, чунки ундан кейин узоқлашган гидравлик сакраш жараёни рўй берса, бир ёки айрим ҳол-

ларда икки ўлчамли (аввалгилардан кичик бўлган) сув деворлари қуришга тўғри келади (11.23 -расм).



11.23-расм. Сув урилма деворидан кейинги бьефлар туташиши

11.9. СУВ УРИЛМА ДЕВОР БАЛАНДЛИГИНИ ГРАФИКЛАР ЁРДАМИДА ҲИСОБЛАШ

Бунда икки ҳолат учун ҳисоблаш бажарилади.

1. Сув урилма девор қўмилмаган сув ўтказгич каби ишлаганда. Бу ҳолатда Н.Н.Павловский формуласига асосланиб,

$$c_0 = h_x \left(3 - \frac{1}{\sqrt[3]{2m'^2}} \right) \quad (11.69)$$

ифодани ёзишимиз мумкин. Бунда $m'=0,42$ — сув урилма деворнинг сарф коэффициенти.

11.24-расмдаги графикдан фойдаланган ҳолда девор баландлиги аниқланади.

2. Сув урилма девор қўмилган сув ўтказгич каби ишлаганда (11.22-расм). Н.Н.Павловский формуласига асосан:

$$c_0 = h_x \left(\xi_c'' - \frac{\xi_c'}{\eta_n} \right), \quad (11.70)$$

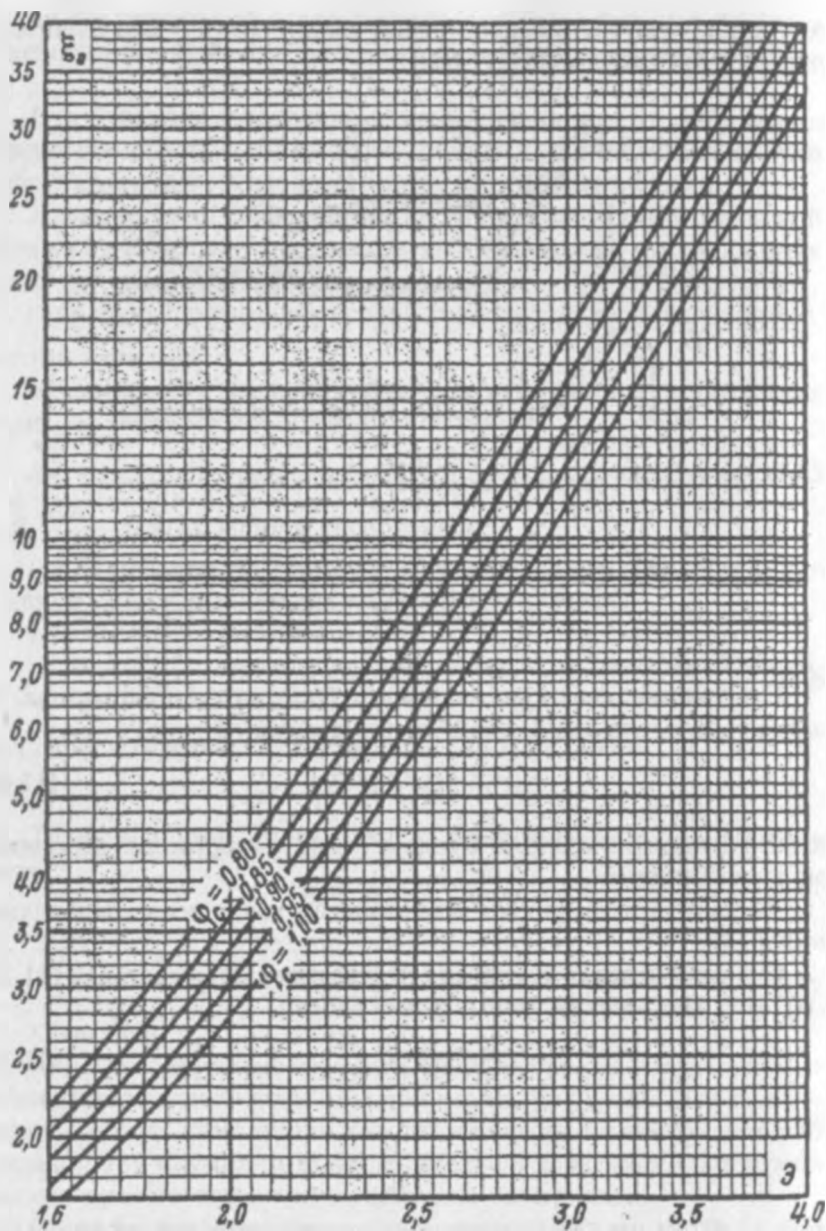
бунда

$$\xi_c'' = \frac{h_c'}{h_x} \quad (11.71)$$

бўлиб, q , E_0 , φ_c , m катталикларнинг маълум қийматлари учун 11.4-расмдаги графикдан аниқланади.

ξ' катталиқни қуйидагича топиш ҳам мумкин:

$$\xi' = \frac{h_c' - h_n}{h_x} = \xi_c'' - \xi_n. \quad (11.72)$$



11.24-расм. Қўмилмаган сув урилма деворининг баландлигини аниқлашга доир график

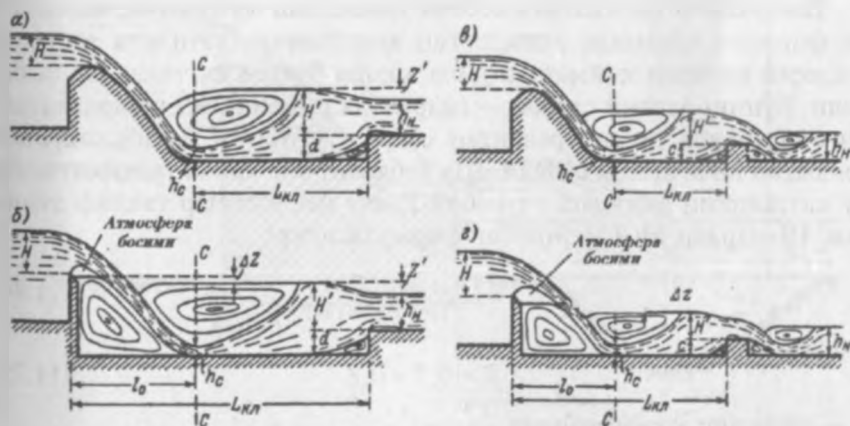
11.10. СУВ УРИЛМА ДЕВОР ҚУРИЛИШИ ВА ЎЗАН ТУБИНИНГ ЧУҚУРЛАШТИРИЛИШИ НАТИЖАСИДА ПАЙДО БЎЛАДИГАН СУВ УРИЛМА ҲОВУЗЛАР УЗУНЛИГИНИ АНИҚЛАШ

Умуман, шуни таъкидлаш керакки, тўғондан ошиб тушаётган оқимнинг кинетик энергиясининг ортиши натижасида тўлиқ энергиянинг ошган миқдорини сўндириш учун гидротехника амалиётида пастки бьефларда қуриладиган иншоотларнинг бўйлама ўлчамларини аниқлашни билган ҳолда, унинг горизонтал йўналишдаги ўлчами, яъни узунлигини билиш муҳим аҳамиятга эга. Бу катталиқни аниқлаш учун қуйидагича иш тутамиз.

11.25-расмда кўрсатилган иншоотларнинг қуйидаги ҳолатларга асосан бир-биридан фарқланишини кўрамиз.

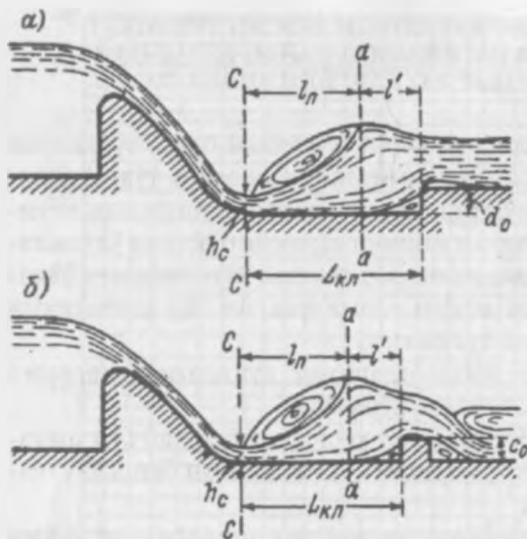
1-ҳолат. Сув оқими ошиб тушаётган кесимдан бошлаб сув ҳовузчаси қурилиши, бунда ҳовузча узунлиги $C-C$ кесимдан бошлаб ўлчанади (11.25-расм, *а, б*).

2-ҳолат. Оқим тушишини кўрсатадиган тик текисликдан кейин ҳовузча узунлиги ўлчанадиган ҳолат (11.25-расм, *б, в*). Бу ҳолатда ҳовузча узунлиги оқимчанинг ошиб тушиш узунлиги l_0 га ўзгаради. Бундай ҳолат сув туширгичларнинг гидравлик ҳолатида учраши мумкин.



11.25-расм. Сув урилма девордаги сув оқими схемаси

Биз бу мавзуда фақат 1-ҳолат билан танишамиз. 11.25,-расм, *а, б* дан кўриниб турибдики, ҳовузчада қўмилган сакраш жараёни содир бўлиб, айланма ҳаракатнинг пайдо бўлиши ҳисобига энергиянинг сўниши рўй бермоқда. Бунда ҳовузчанинг узунлиги шундай қабул қилиниши керакки, айланма ҳаракат тўлиқ амалга ошиши ва икки айланма ҳаракат устма-уст тушмаслиги таъминланиши керак. Шундагина сув оқимининг ҳовузчанинг сув уриладиган деворига яқин-



11.26-расм. Ҳовуздаги сув оқимининг ҳисобий схемалари

лашиши қулай шаклда бўлади. Бу мулоҳазаларни назарда тутган ҳолда 11.26-расмдаги назарий ҳолни кўриб чиқамиз. Расмдан кўриниб турибдики, a — a кесим ўтказилган вазиятда оқимнинг юқори қисмидаги айланма ҳаракат тугаган, пастки қисмдаги айланма ҳаракат эса бошланган. Шу ҳолни ҳисобга олиб, ҳовузча узунлигини қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

$$L_{\text{ҳов}} = l_n + l', \quad (11.73)$$

бунда, l_n — кўмилмаган гидравлик сакраш узунлиги; l' — пастки айланма

ҳаракат узунлиги.

Тажрибалар натижасига асосан таъкидлаш мумкинки, юқоридаги формула ёрдамида аниқланган ҳовузчанинг узунлиги қиймати ҳақиқий керакли қийматдан анча юқори бўлган катталикларни беради. Бунинг асосий сабаби — гидравлик сакрашнинг чегараланганлигидир. Албатта, чегараланган сакраш узунлиги эркин сакрашга нисбатан анча кичик бўлади. Шу сабабли, бир қанча тадқиқотчилар бу катталиқни аниқлаш учун бир қанча формулалар таклиф этишган. Шулардан М.Д.Чертоусов формуласидир:

$$L_{\text{ҳов}} = \beta l_n, \quad (11.74)$$

бунда

$$\beta = 0,7 + 0,8 \quad (11.75)$$

β — эмпирик коэффицент.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, агар лойиҳада ҳовузча узунлиги етарли катталиқда олинмаса, оқим ҳовузча ичида гидравлик сакраш жараёни амалга ошмасдан ҳаракатланади ва катта тезликда ўзанининг тубига ва қирғоғига урилади, натижада ювилиш жараёни рўй бериши мумкин. Бу жараён натижаси жуда ноқулай вазиятларга олиб келади.

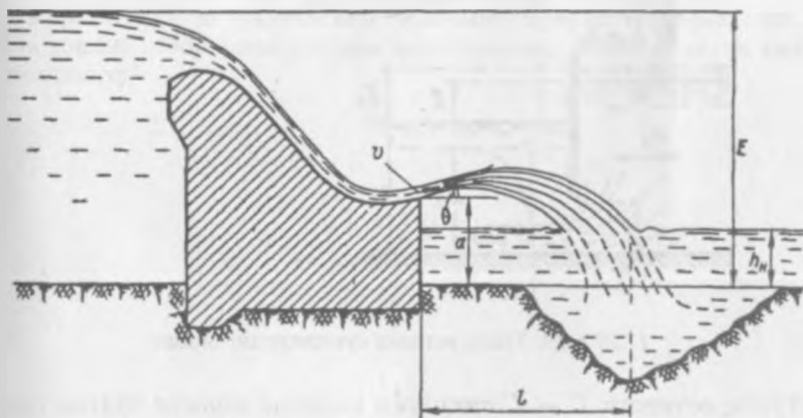
11.11. ТҶҒОННИНГ ПАСТКИ БҶЕҒ БИЛАН ТУТАШИШИ БАЛАНД ПОҒОНА ОРҚАЛИ БЎЛГАНДА УНИ ҲИСОБЛАШГА ДОИР УМУМҲЙ КЎРСАТМАЛАР

Гидротехника амалиётида тўғонларнинг пастки бёфдаги бундай туташishi, асосан, тошли тоғ грунтларида қурилганда қулланилади. Бундай ҳолларда оқимчалар анча узоқ масофага отилиб тушиб, ювилиш айланиларини ташкил қилади. Агар тўғон тўғри лойиҳалаштирилса, ювилиш айланиши тўғондан шундай масофага узоқлашадики, бу ювилиш унга таъсир этмайди.

Тўғонларнинг гидравлик ҳисобини бажаришда, асосан, икки хил муаммо бўлиши мумкин.

1. Поғона баландлиги маълум бўлганда оқимчанинг отилиб тушиш масофасини ва ювилиш айланиши жойлашган вазиятни аниқлаш талаб этилади. Бу масалани ечишда 10.3-мавзудаги фикрларни ҳисобга олишга тўғри келади.

2. Ювилиш айланишининг чуқурлигини аниқлашда аниқ натижа берувчи эмпирик формулалар ёки усуллар ҳозирги вақтгача топилмаган. Бу масалани ҳал қилишда 11.5-мавзуда келтирилган формулалардан фойдаланиш мумкин.



11.27-рasm. Баланд поғонали тўғон

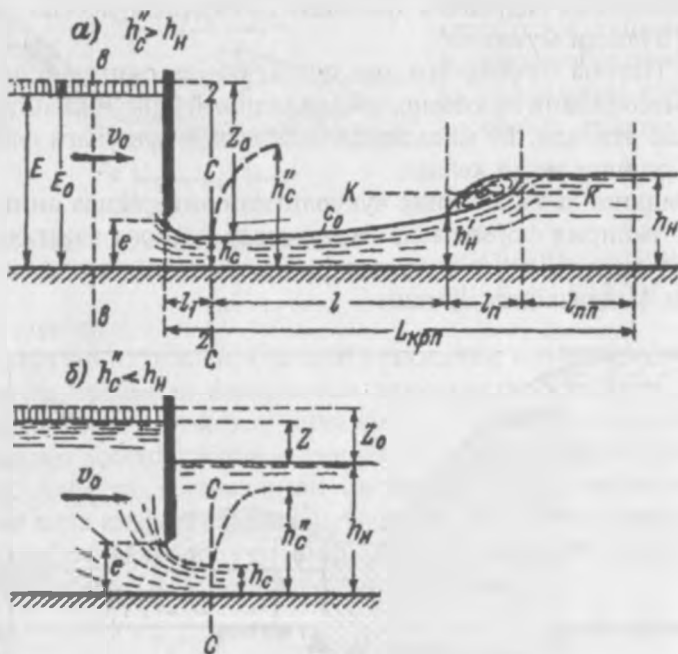
11.12. ТҮСИҚ ОСТИДАГИ ЛОЙҚА ТИРҚИШДАН СУВ ОҚИМЧАСИ ЧИҚҚАНДА БЬЕФЛАР ТУТАШИШИ

Бу ҳолда тўғондан оқим ошиб тушаётган ҳолатлардаги каби бьефлар тутатиши уч хил кўринишда бўлиши мумкин:

а) узоқлашган гидравлик сакраш орқали бьефлар тутатиши (11.28-расм, а);

б) сиқилган кесимдаги сакраш орқали бьефлар тутатиши (С — С кесимда);

в) кўмилган сакраш орқали бьефлар тутатиши (11.28-расм, б).



11.28-расм. Тўсиқ остидаги суюқликнинг оқиши

Тўсиқ остидаги С — С сиқилган кесимда мавжуд бўлган сиқилган чуқурлик қуйдагича аниқланади:

$$h_c = \varepsilon_0 e \quad (11.76)$$

бунда, e — тўсиқнинг очилиш баландлиги; ε_0 — тик йўналишдаги сиқилиш коэффиценти бўлиб, $0,62 + 0,64$ га тенг деб қабул қилинади.

Узоқлашган гидравлик сакраш

$$h_c < h_c'' \quad (11.77)$$

шарт мавжуд бўлганда амалга ошади. Кумилган сакраш эса

$$h_0 > h_c''$$

(11.78)

шарт бажарилганда амалга ошади. Бунда, h_c'' — C—C кесимдаги гидравлик сакрашнинг иккинчи туташ чуқурлиги бўлиб, h_c сиқилган чуқурликнинг маълум қиймати учун гидравлик сакрашнинг асосий тенгламасидан фойдаланиб топилади.

Текшириш учун саволлар

1. Амалиётда бьефларни туташтиришнинг қандай турларини учратиш мумкин? Схемасини чизинг.
2. Тўғоннинг қуйи бьефини лойиҳалашдаги асосий вазифа нимадан иборат?
3. Оқимнинг тушиш узунлигига аэрациянинг қандай таъсири бор?
4. Оқимнинг сиқилган кесимдаги чуқурлигини аниқлаш ифодасини ёзинг.
5. Тўғондан пастга оқиб тушаётган оқимчаларнинг пастки бьефда туташишида қачон гидравлик сакраш ҳодисаси содир бўлади?
6. Бьефлар туташишини ҳисоблашнинг нечта усули бор?
7. М. Д. Чертоусов усулида бьефлар туташишининг ҳисоби қандай амалга оширилади?
8. Сув урилма ҳовузининг назарий чуқурлиги қандай аниқланади?
9. Сув урилма ҳовузи чуқурлигини топишнинг график усули моҳияти.
10. Сув урилма девор баландлигини ҳисоблашнинг аналитик усули қандай изоҳланади?

ХII БОБ

ГИДРАВЛИК ЖАРАЁНЛАРНИ ФИЗИК МОДЕЛЛАШТИРИШНИНГ НАЗАРИЙ АСОСЛАРИ

12.1. МОДЕЛЛАШТИРИШНИНГ УМУМИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ

У ёки бу физик жараёнларни (бизнинг ҳолатда суюқликларнинг ҳаракатини) ўрганишга қаратилган «Моделлаштириш»ни бир-биридан кескин фарқ қилувчи иккита кўринишга ажратиш мумкин. Биринчи кўринишдаги моделлаштириш физик моделлаштириш бўлиб, унда ўрганилаётган жараён физикавий хоссасини сақлаб қолган ҳолда моделда қайта тикланади. Масалан, табиий ҳолатда тўғон мавжуд, ундан сув сизиб ўтади. Модель бу ерда тўғон кўринишига эга, ундан ҳам сув сизиб ўтади, физик таркиби табиий ҳамда моделдаги ўрни бир хил: тупроқ бўшлиқлари орасида сув ҳаракатланади.



12.1-расм. Гидравлик моделлар

Иккинчи кўринишдаги моделлаштириш математик моделлаштиришдир. Бу ҳилдаги моделлаштиришга мисол қилиб, тўғонни моделлаштиришни келтириш мумкин. Бунда тўғон тубидаги сувнинг сизиб ўтиш жараёни (фильтрция) ЭГДА усули ёрдамида ўрганилади. Бу ерда биз моделга қараб сувнинг ҳаракатини эмас, балки юқорида келтирилган математик тенглама — Лаплас тенгламасига бўйсунувчи ўзгармас электр токининг ҳаракатини кўриб чиқамиз. Математик моделлаштиришга ЭҲМда тузилган махсус дастурлар бўйича бажарилувчи шунга ўхшаш жараёнлар ҳам киради.

Дарҳақиқат, бу ҳолда курилаётган физикавий жараён бошқа бир физикавий таркибга эга бўлган жараён билан алмашинади. Ваҳоланки, бу жараён қўлланилаётган дастурга мувофиқ математик тенгламалар асосида курилган ҳақиқий моделга тегишли.

Юқорида келтирилган моделлаштириш турларини яна икки хил категорияга ажратиш мумкин.

Биринчи категорияга — инсон томонидан уйлаб яратилган моделлар кирази. Бундай моделларга:

- а) ҳақиқий суюқликнинг идеал суюқлик деб фараз қилиниши;
- б) Рейнольдс-Буссинеск модели;
- в) Бернадский модели;
- г) Форхгеймер модели мисол бўла олади.

Одатда, кўзда тутилган моделлар тўлиқ эмас, улар ҳақиқий моделни тўлиқ намоён қилмайди, шунинг учун бундай моделларни баъзида «идеал» деб ёки «идеал жараён» деб атаимиз.

У ёки бу идеал жисм ёки жараёнларни назарий тажрибада (амалиётда қўлламасдан) урганиб, ҳақиқий жисм (ёки жараён)да олинган натижаларга баъзида мос келмайдиган натижаларни оламиз. Шунинг учун фараз қилинган моделларда назарий йўл билан (амалиётда қўлламасдан) олинган натижаларга керакли ҳолларда маълум тузатиш коэффицентлари, масалан махсус ўтказилган тажрибалар асосида урнатилган коэффицентни киритиш лозим.

Иккинчи категорияли моделлар моддий моделлар бўлиб, бунда турли хил моддий воситалар ёрдамида муайян конструкцияда у ёки бу жараёнларни ўрганиш мақсадида қайта тикланган (аниқ масштабда) моделлар тушунилади.

Юқорида келтирилган изоҳларни назарда тутиб, моделлаштириш жараёнини (юқорида кўриб чиқилган) 12.1-расмда тасвирланган схема орқали фараз қилиш мумкин. Ушбу бобда биз фақат «моддий физик моделлаштириш»ни кўриб чиқамиз (12.1-расм).

Кўпгина гидравлик формулалар моддий моделлар ёрдамида ўтказилган тажрибалар асосида олинганини биз юқорида кўриб чиқдик. Бундай моделлар орқали ўтказилган тажрибалар у ёки бу тажрибавий (экспериментал) ҳисобий боғлиқликни ёки бошқа умумий назарий фикрларни текшириш учунгина олиб борилмайди. Кўп ҳолларда, замонавий шаронгта математик-физик моделлаштиришда аниқ иншоотга тааллуқли бўлган лойиҳавий маълумотларни тузатишга тўғри келади. Шундай мураккаб гидротехник иншоотлар мавжудки, бу иншоотлар, одатда назарий ҳисоб-китобга умуман тўғри келмайди. Масалан, сув олиш иншоотлари, гидроузеллар ва бошқалар. Бундай иншоотларни лойиҳалашда кўпинча «лаборатория шаронтида лойиҳалаш» усулига мурожаат қилинади.

Бунда лабораторияда мазкур иншоотнинг модели яратилади; бу модель орқали сув ўтказилиб, турли кўрсаткичлар (босим, тезлик ва ҳ.к.) ўлчанади; модель учун олинган бундай кўрсаткичлар ҳақиқий иншоотга кучирилади.

Бундай ишни бажаришда жуда кўп саволлар туғилиши табиий. Лабораторияда иншоотнинг модели қандай қурилиши керак? (унга қандай ўлчамлар берилиши, ўзан моделининг девори қандай, ғадир-будурлиги қандай ўлчамга эга бўлиши керак), агар моделдаги иншоот ҳақиқий иншоотдан бир неча баробар кичик бўлса, v тезлик ва Q сарфга моделда қандай қийматлар бериш керак? Шу йўл билан моделда олинган натижалар ҳақиқий иншоотга қандай ҳолда кучирилади ва ҳ.к. Барча ушбу саволлар билан физик моделлаштириш назарияси (аниқроқ айтганда, моддий физик моделлаштириш) шуғулланади.

Суюқлик механикасига тааллуқли ушбу моделлаштириш асосини физик катталиклар таълимотига таянувчи «ўхшашлик назарияси» ташкил этади. Шунинг назарда тутиб, энг аввало, тўлиқ ҳаракатланадиган муҳитларни ўзида мужассам қилган икки механик (гидравлик) тизим ("моделлар" ва «табиий, ҳақиқий иншоот ёки объектлар»)нинг ўхшашликларини кўриб чиқиш лозим.

12.2. ГИДРАВЛИК ЖАРАЁНЛАРНИНГ ЎХШАШЛИКЛАРИ ҲАҚИДА ТУШУНЧА

Иккита геометрик ўхшаш шакл (фигура)ни фараз қиламиз. Бу шаклларнинг чегарасига нисбатан бир хил жойлашган ўхшаш нуқталарни шартли равишда «нуқталар» деб атаймиз. Физик моделлаштиришни кўриб чиқаётганда, биз ўхшаш нуқталардаги «табиий» ва «моделда» суюқлик заррачаларига (тўлиқ муҳит) бир ёки бошқа шундай табиий (физик) кучлар билан (бир хил номланувчи кучлар) таъсир қилади деб ҳисоблашимиз шарт. Умуман, *физик ўхшаш жараёнлар* деб, барча характерли кўрсаткичлари ўхшаш бўлган у ёки бу табиий физик жараёнларга айтилади. Ўхшаш нуқталарда табиий моделлар ва мос вақт моментларида ўхшаш жараёнларнинг барча вектор ўлчамлари геометрик ўхшаш ва барча скаляр ўлчамлари мос равишда пропорционал бўлиши шарт. Бу ҳолатни батафсил тушунтирамиз.

Моддий моделлар ёрдамида физик моделлаштиришда гидравлик жараёнларнинг геометрик, кинематик ҳамда динамик ўхшашликларини ажратиш осон.

1. Геометрик ўхшашлик. Агар икки гидравлик тизим (жараён)нинг ўхшаш ўлчамлари орасида доимий боғлиқлик бўлса, икки гидравлик тизим (жараён) гидравлик ўхшаш бўлади:

$$\frac{l_M}{h} = a_l = \text{const}, \quad (12.1)$$

бу ерда l — ҳақиқий иншоотнинг табиий ўлчами; l_M — моделнинг ўхшаш ўлчами; a_l — узунлик масштаби.

Геометрик ўхшаш тизимлар учун:

$$\frac{\omega_T}{\omega_M} = a_l^2, \quad \frac{V_T}{V_M} = a_l^3, \quad (12.2)$$

бу ерда ω_T ва V_T — ҳақиқий иншоотга тегишли бўлган муайян табиий майдон ва табиий ҳажм; ω_T , V_T — моделнинг ўхшаш майдони ва ҳажми.

2. Кинематик ўхшашлик. Агар:

а) икки тизимнинг ўхшаш суюқлик заррачалари ҳаракат траекторияси гидравлик ўхшаш ва бу тизимларнинг чегарасига нисбатан бир хил йўналтирилган;

б) u тезлик ва w тезланиш ўхшаш нуқталарда мос вақт лаҳзаларида ҳар ерда доимий боғланган:

$$\frac{u_M}{u_T} = a_u = \text{const} \quad (\text{бутун ҳажм бўйлаб}); \quad (12.3)$$

$$\frac{w_M}{w_T} = a_w = \text{const} \quad (\text{бутун ҳажм бўйлаб}), \quad (12.4)$$

яъни a_u ва a_w тезланиш масштабларининг ўлчамлари аниқ вақт лаҳзасида ҳар қандай ўхшаш нуқталар учун бир хил бўлса, икки гидравлик тизим кинематик ўхшаш бўлади.

Таъкидлаш керакки, кинематик ўхшаш тизимлар ҳар доим геометрик ўхшаш тизимлар бўлади. Кинематик ўхшаш жараёнда «вақт масштаби» тушунчаси намоён бўлади:

$$\frac{t_M}{t_T} = a_t, \quad (12.5)$$

бу ерда t_M ва t_T — аслида ва моделдаги мос жараёнлар кечишидаги вақт оралиқлари. Агар қандайдир суюқлик заррачаси ҳақиқий шароитда t_T вақтда бирор l_T йўлни босиб ўтса (l_T — эгри чизиқни ифодалайди), у ҳолда моделнинг ўхшаш заррачалари t_T вақт мобайнида l_T йўлни босиб ўтиши шарт.

Кинематик ўхшаш тизимлар учун

$$a_t = \text{const} \quad (\text{бутун ҳажм бўйлаб}). \quad (12.6)$$

3. Динамик ўхшашлик. Агар қуйидаги шартлар бажарилса, икки гидравлик тизим динамик ўхшаш бўлади:

а) ҳар қандай ўхшаш жуфт нуқталарда бир хил номланувчи кучлар ҳаракат қилса;

б) мос кучларнинг боғлиқлик ўлчамлари ҳар қандай жуфт ўхшаш нуқталар учун қўрилаётган гидравлик тизимларнинг бутун ҳажми бўйлаб бир хил бўлса, яъни куч масштаби

$$a_F = \frac{F_M}{F_T} = \text{const} \quad (\text{бутун ҳажм бўйлаб}), \quad (12.7)$$

бунда F суюқликда ҳаракатланувчи ихтиёрий куч;

в) биринчи гидравлик тизимга таъсир қилувчи кучлар бир-бирига ва тизим чегараларига иккинчи гидравлик тизимда ҳаракатланувчи кучлардек нисбий йўналтирилса.

Маълумки, кўрсатилган шароитларни сақлаган ҳолда биз қуйидагиларга эга бўламиз: икки динамик ўхшаш тизимлар учун (масалан, ҳақиқий ва модель учун) кучларнинг ёпиқ кўпбурчаклари, ҳар қандай ҳақиқий ва моделларнинг ўхшаш жуфтлари учун қўрилган ўлчамлари геометрик ўхшаш бўлади. Бунда кўпбурчакли кучларнинг муносабатлари бутун ҳажм бўйлаб бир хил бўлади.

Айтиш мумкинки, кучларнинг вектор майдони заррачаларига таъсир қилувчи, ҳосил қилинган бир хил номланувчи кучлар динамик ўхшаш бўлади. У ҳолда бу майдон геометрик ўхшаш ва тизимларнинг чегараларига нисбатан бир хил йўналтирилган бўлади.

Динамик ўхшашлик ва геометрик ўхшашлик мавжуд бўлгандагина кинематик ўхшашлик бўлади. Кўриниб турибдики, динамик ўхшашлик кинематик ўхшашликнинг келиб чиқишини олдиндан аниқлайди. Шунинг учун динамик ўхшаш тизимлар «механик ўхшаш тизимлар» ҳисобланади. Баъзида суюқликка тегишли бўлган бундай тизимлар «гидродинамик» ўхшаш деб ҳам юритилади.

Динамик ўхшашлик ҳақида гапирилганда, суюқликнинг «зичлик масштаби» тушунчаси келиб чиқади:

$$a_\rho = \frac{\rho_M}{\rho_T}. \quad (12.8)$$

Таъкидлаш керакки, динамик ўхшаш тизимларда кўп ҳолларда қуйидаги боғлиқликлар ҳосил бўлади:

а) қаршилиқ коэффициентини ζ учун

$$\zeta_M = \zeta_T; \quad (12.9)$$

б) гидравлик ишқаланиш коэффициентини λ учун

$$\lambda_M = \lambda_T; \quad (12.10)$$

в) Шеши коэффициентини учун

$$C_M = C_T. \quad (12.11)$$

Кўриниб турибдики, бундай кўринишдаги динамик ўхшаш тизимлар учун қаршилиқ коэффициентини (a_ζ), гидравлик ишқаланиш коэффициентини (a_λ), Шеши коэффициентини (a_C) бирга тенг:

$$a_t = a_\lambda = a_c = 1. \quad (12.12)$$

Ҳақиқатан ҳам, қаршиликнинг квадрат соҳасига тегишли напор-сиз ҳаракатни кўриб чиқиб, Шези формуласига асосан қуйидагига эга бўламиз:

$$v_t = C_m \sqrt{R_t J_t};$$

$$v_m = C_m \sqrt{R_m J_m}.$$

Геометрик ўхшаш тизимлар учун $J_t = J_m$, бу ҳолда

$$\frac{v_m}{v_t} = \frac{C_m}{C_t} \sqrt{\frac{R_m}{R_t}} = \frac{C_m}{C_t} \sqrt{a_l}.$$

Бошқа томондан, динамик ўхшаш тизимлар учун лойиҳаланган қаршиликнинг квадрат соҳаси ҳар доим қуйидаги шартга жавоб бериши зарур:

$$\frac{v_m}{v_t} = \sqrt{a_l}.$$

Бу ифодани юқоридаги ифодаларга қуйиб, (12.11) ифодага эга бўламиз. Энди (4-97) ва (5-14) боғлиқликни ҳамда (12.11) тенгликни ҳисобга олиб, (12.10) ва (12.9) боғлиқлик ҳам ҳақиқий эканлигини кўрамиз. Буларни инобатга олиб, лабораторияда иншоотнинг моделини қуришда олинган оқим ҳақиқий оқимга динамик ўхшаш бўлишига ҳаракат қилинади. Бундай моделлар учун топилган ζ , λ , C ўлчамлар кўп ҳолларда ҳеч қандай ўзгаришларсиз ҳақиқийсига кўчирилиши мумкин.

Албатта савол туғилади, модель оқими қандай лойиҳаланса, у ҳақиқийсига динамик ўхшаш бўлади? Бу савол шуниси билан мурраккаби, ундаги тезлик, босим катталиклари ва бошқа параметрлар, одатда, бизни қизиқтираётган соҳа учун ноъмалум бўлади. Шунга кўра, бу ўлчамларни излаш, модель қуриш ва унда керакли ўлчамларни олиб бориш асосий масала ҳисобланади. Бундай шароитда динамик ўхшашликка эришиш қуйидагича амалга оширилади:

- а) ҳақиқий ўзан учун геометрик ўхшаш ўзан моделини қуриш;
- б) вақтнинг бошланғич даврида модель оқимининг бирор чегарасига худди ҳақиқий оқимдаги чегараларга мос келадиган геометрик ва кинематик қийматлар берилади;
- в) тажрибаларда қўлланилаётган суюқликнинг шундай физик хараakterистика (v , ρ , γ)лари танланадики, натижада оқимнинг белгиланган чегарасида динамик ўхшашлик мавжуд бўлсин.

Юқоридаги мулоҳазалардан кўриниб турибдики, физик жараён аслида ва моделда бир хил математик тенгламалар билан тавсифланади, унда биз мавжуд чегаравий ўхшаш ва бошланғич шароитларда

динамик ўхшашлик изланаётган геометрик ўхшаш жараён моделини қайта тиклаймиз. Бундан кўриниб турибдики, чегаравий шароитлар ўхшашликлари моделдаги оқимнинг кейинги чегара ва ўлчамлари: чуқурлик, тезлик, босим (напор тизимлари) йиғиндисидан иборат.

Айтиб ўтиш керакки, келгусида моделлаш турининг айтиб ўтилган назарий асосланган йўли билан ҳар доим ҳам ҳақиқий динамик ўхшаш моделни ярата олмаймиз. Шунинг учун, куп ҳолларда бундай назарий йўллардан четлашиб, моделлаштиришнинг қуйида (тахминий масштабда қурилган) келтирилган турли «шартли» усулларига ўтиш лозим. Икки тизимнинг динамик ўхшашлигини, бу тизимларда мавжуд бўлган кучларни ўлчаш ва бир-бирига таққослаш йўли билан тахмин қилишнинг иложи йўқ. Шу билан бирга аслидаги ва моделдаги кучлар нисбати ўлчаш осон бўлган қийматлар, яъни мавжуд узунлик, тезлик ва суюқлик зичлиги масштабига нисбатан «қия» ўрнатилган бўлиши мумкин. Динамик ўхшашликнинг бундай «қия» услубини баҳолашда «динамик ўхшашлик мезони» деган тушунчадан фойдаланамиз.

12.3. ДИНАМИК ЎХШАШЛИК МЕЗОНЛАРИ

Умуман сиқилмайдиган, қовушоқ, ҳаракатдаги суюқликка қуйидаги кучлар таъсир қилади:

- 1) ҳажмий ташқи оғирлик кучи G ;
- 2) устки (ташқи ва ички) гидродинамик босим кучи P ;
- 3) устки (ташқи ва ички) ишқаланиш (қовушоқлик) кучи T .

Курсатилган кучларнинг геометрик йиғиндиси бошланғич Даламбер тенгламасига мувофиқ қуйидагича ифода қилинади:

$$\vec{G} + \vec{P} + \vec{T} + \vec{I} = 0, \quad (12.13)$$

бунда $\vec{I}$ — инерция кучи.

$$\vec{I} = -M\vec{w}, \quad (12.14)$$

бунда M — ажратилган суюқликнинг ҳажмий массаси, w — тезланиш.

Мавжуд чегаравий шароитларда суюқликнинг берилган нуқтасидаги босим P тўлиқ G , T ва I кучлар билан аниқланади:

$$\vec{P} = f(\vec{G}, \vec{T}, \vec{I}), \quad (12.15)$$

шунинг учун (12.13)ни қуйидаги кўринишда қайта ифодалаш мумкин:

$$\bar{G} + \bar{f}(\bar{G}, \bar{T}, \bar{I}) + \bar{T} + \bar{I} = 0. \quad (12.16)$$

(12.16) ҳаракат тенгламаси турли хусусий ҳоллар учун соддалашган бўлиши мумкин. Унга кирувчи айрим кучлар нолга тенг ёки бошқа кучларга нисбатан ҳисобга олинмайдиган даражада кичик миқдорга эга бўлиши мумкин. Масалан, параллел ўрнатилган оқим ҳаракатида инерция кучи $I = 0$, қувурдаги напорли оқимда оғирлик (G) кўрилатган суюқлик ҳажмининг босим кучи (P) нинг ҳаракат таъсирига нисбатан ҳеч қандай ўзгариш бўлмайди ва (12.16) тенгламадаги G кучи истисно бўлиши мумкин. Тенгламада фақат T ва I кучлари қолади.

Ламинар оқимда I кучлари, кўпинча, T кучларига нисбатан ҳисобга олинмаслиги мумкин. Сувнинг напорсиз турбулент оқимида унинг кам қовушоқлигини ҳисобга олганда, ишқаланиш кучлари T бошқа кучларга нисбатан кичик бўлиши мумкин. Шунинг учун (12.16) тенгламада T кучларни ҳисобга олмаслик мумкин ва ҳ.к. Аввало, оддий бир ҳолатни кўриб чиқайлик. Ўрганилатган суюқликда аниқланадиган кучларнинг (инерция кучини ҳисобга олмаганда) битта тизими мавжуд бўлса, бунда фақат шундай шароитдаги ҳаракатни кўриб чиқиш билан чегараланамизки, бунда инерция кучлари оғирлик кучлари ёки ички ишқаланиш кучлари билан ўлчанади.

1. Суюқликда фақат оғирлик кучлари мавжуд бўлгандаги ҳолат. Бу ҳолатда (12.16) тенгламага фақат G кучи ва I инерция кучлари киради. 12.2-расмда тасвирланган, икки динамик ўхшаш тизимлар («ҳақиқий» ва «модель»)дагига эришиш учун a ва b схемаларда кўрсатилган куч учбурчаклари геометрик ўхшаш бўлиши керак.

Кўрсатилган куч учбурчакларининг ўхшашликларини таъминлаш учун қуйидагилар зарур:

а) кўрилатган икки тизимнинг кинематик ўхшашликлари — фақат шу шароитда бурчакларнинг тенглигини таъминлайди. 12.2-расмдаги куч учбурчаклари G ва I кучлардан ҳосил бўлган. Эслатиб ўтамиз, K кинематик ўхшашликни ва шу билан бирга геометрик ўхшашликни талаб қиламиз;

б) тенгликларнинг сақланиши

$$\frac{I_M}{G_M} = \frac{I_T}{G_T} \quad (12.17)$$

ёки

$$\frac{I_M}{I_T} = \frac{G_M}{G_T} = a_F, \quad (12.18)$$

бунда a_F — кучлар масштаби.

Кўриниб турибдики, ушбу ҳолда кучлар масштаби ҳақиқий ва модель учун ҳисобланган инерция кучлари нисбатига тенг.

(12.14)га мувофиқ

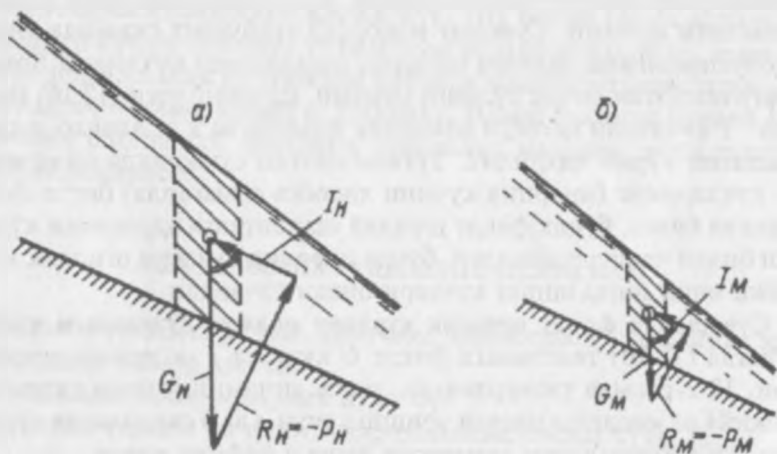
$$[I] = [\rho] L^3 \frac{[u]}{t} = [\rho] L^2 \frac{L}{t} [u] = [\rho] L^2 [u^2], \quad (12.19)$$

бунда L ва t — вақт ва узунлик катталиклари.

Шунинг учун, ушбу ҳолатда динамик ўхшашликни таъминловчи кучлар масштаби:

$$a_F = \frac{I_M}{I_T} = \frac{\rho_M l_M^2 u_M^2}{\rho_T l_T^2 u_T^2}, \quad (12.20)$$

бунда l_M ва l_T — табиий (ҳақиқий) ва моделнинг ихтиёрий ўхшаш чизиқли ўлчамлари.



12.2-расм. Суюқликнинг оддий ҳажмига таъсир этувчи кучлар схемаси:
а) ҳақиқий; б) моделда

Оғирлик кучлари ўлчамларини қуйидаги кўринишда фараз қилиш мумкин:

$$[G] = [\gamma] L^3 = [\rho][g] L^3. \quad (12.21)$$

Бундан қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$\frac{G_M}{G_T} = \frac{\rho_M g_M l_M^3}{\rho_T g_T l_T^3}. \quad (12.22)$$

(12.20) ва (12.22) муносабатларни ҳисобга олиб, (12.18)га мувофиқ ёзишимиз мумкин:

$$\frac{G_M}{G_T} = \frac{\rho_M g_M l_M^3}{\rho_T g_T l_T^3}. \quad (12.23)$$

Кўриниб турибдики, динамик ўхшашликка эришиш учун суюқликка фақат G куч (инерция кучи I ҳам) таъсир қилса, кинематик ўхшашликни сақлашдан ташқари яна қуйидаги кўринишда қайта ёзиш мумкин бўлган (12.23) тенгликни сақлашни ҳам талаб қилиш зарур:

$$\frac{\rho_M l_M^2 u_M^2}{\rho_T l_T^2 u_T^2} = \frac{\rho_M g_M l_M^3}{\rho_T g_T l_T^3}, \quad (12.24)$$

бундан (12.23) ифода ўрнига қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{u_M^2}{u_T^2} = \frac{g_M l_M}{g_T l_T}, \quad (12.25)$$

бунда u — берилган нуқтадаги тезлик; l — ихтиёрий чизикли ўлчам; g — оғирлик кучи тезланиши.

$$\frac{u^2}{gl} = Fr \quad (\text{белги}) \quad (12.26)$$

қиймати ўлчамсиз ва инерция кучларининг оғирлик кучларига нисбатининг миқдорини ифода этади. Бу миқдорни *Фруд миқдори* деб номлаш қабул қилинган.

Шундай қилиб, суюқликда фақат оғирлик кучи мавжуд бўлганда динамик ўхшашлик мавжуд бўлади, агар геометрик ва кинематик ўхшашликлар мавжуд бўлса ҳамда моделнинг ихтиёрий нуқтаси учун ҳисобланган Фруд сони ҳақиқий ўхшаш нуқта учун ҳисоблаб чиқилган Фруд сонига тенг бўлади:

$$\boxed{(Fr)_M = (Fr)_T} \quad (12.27)$$

Бу ҳолат (12.27) ифода фақат кучлар учбурчакларининг ўхшашлиги ихтиёрий нуқталар жуфтликларида мавжуддир. Бу динамик ўхшашликларга эришиш учун барча ҳақиқий ва моделларнинг барча жуфт нуқталарида a_F кучлар масштаби тенглигига ҳам эришиш зарур. Бу охириги ҳолат геометрик ўхшашликнинг мавжудлиги билан таъминланади. Ҳақиқатан ҳам, (12.23) боғлиқлик a_F қийматни ифодалайди. Бу боғлиқликни $\rho_T l_T^2$ га кўпайтириб ва $\rho_M l_M^2$ га бўлсак,

$$a_F \frac{\rho_M l_M^2}{\rho_T l_T^2} = \frac{u_M^2}{u_T^2} = \frac{g_M l_M}{g_T l_T}$$

ифодага эга бўламиз.

$\rho_M = \rho_T$ ва $g_M = g_T$ деб ҳисобласак, ҳосил бўлган боғлиқликни қуйидаги кўринишда қайта ёзиш мумкин:

$$a_F \frac{1}{a_l^3} = \frac{u_M^2}{u_T^2} = a_l,$$

бундан кўринадики, $a_F = a_l^3$.

Геометрик ўхшаш тизимлар учун $a_r = \text{const}$ (бутун ҳажм бўйлаб) келиб чиқадики, a_r қиймати ҳақиқий ва моделнинг барча ўхшаш нуқталари учун бир хил бўлиши шарт.

2. Суюқликда фақат ишқаланиш (қовушоқлик) кучлари мавжуд бўлгандаги ҳолат. Бунда, динамик ўхшашликни сақлаш учун куч масштаби ифодаси олдингидек қолиши керак [(12.20) тенгликка қаранг]. Ишқаланиш кучларининг Ньютон тенгламасига бўйсунини ҳисобга олган ҳолда қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$[T] = [\eta] L^2 \frac{[u]}{L} = [\nu][\rho] L [u], \quad (12.28)$$

бундан

$$\frac{T_M}{T_T} = \frac{\nu_M \rho_M l_M u_M}{\nu_T \rho_T l_T u_T} \quad (12.29)$$

ифодага эга бўламиз. Бунда l_M ва l_T — ҳақиқий ва моделнинг ихтиёрий ўхшаш чизиқли ўлчамлари.

(12.29)ни (12.20) боғлиқлик билан тенглаштириб,

$$a_F \frac{\rho_M l_M^2 u_M^2}{\rho_T l_T^2 u_T^2} = \frac{\nu_M \rho_M l_M u_M}{\nu_T \rho_T l_T u_T}, \quad (12.30)$$

ифодани ҳосил қиламиз.

Кўриниб турибдики, суюқликка T ва инерция кучи I таъсир этаётган ҳолатда динамик ўхшашликка эришиш учун кинематик ўхшашликдан ташқари, (12.30) тенглик сақланишига риоя қилиш зарур. Бу охириги тенгликни қуйидаги кўринишда қайта ёзиш мумкин:

$$\frac{l_M u_M}{l_T u_T} = \frac{\nu_M}{\nu_T}, \quad (12.31)$$

ёки

$$\frac{u_M l_M}{\nu_T} = \frac{l_T u_T}{\nu_T} \quad (12.32)$$

бунда, u — берилган нуқтадаги тезлик; l — ихтиёрий чизиқли ўлчам, масалан, қувур диаметри D ёки гидравлик радиус R ва ҳ.к.; ν — суюқликнинг кинематик ишқаланиш коэффициенти [(3-128) тенгликка қаранг].

$$\boxed{\frac{ul}{\nu} = \text{Re}} \quad (\text{белги}) \quad (12.33)$$

ифода ўлчамсиз ва инерция кучларининг ишқаланишлар сонига нисбатини билдиради. Бу ўлчам билан биз юқорида дуч келганмиз ва у Рейнольдс сони деб аталган. Шундай қилиб, суюқликка фақат ишқаланиш кучи таъсир қилса, бунда агар геометрик ва кинематик ўхшашликлар мавжуд бўлса ва моделнинг ихтиёрий нуқтаси учун ҳисобланган Рейнольдс сони ҳақиқийнинг ўхшаш нуқтаси учун ҳисоб-

лаб чиқилган Рейнольдс сонига тенг бўлса, динамик ўхшашлик со-
дир бўлади:

$$\boxed{(Re)_m = (Re)_r} \quad (12.34)$$

3. Ўхшашлик мезони. Фараз қилайлик, суюқлик эластик куч таъ-
сирида сиқилади ва суюқликка бундан бошқа ҳеч қандай куч таъсир
қилмайди.

Юқоридагидек мулоҳаза қилиб, шуни айтиш мумкинки, агар
ҳақиқий ва моделнинг ўхшаш нуқталаридаги кинематик ўхшашлик,
яъни Коши сони бир хил бўлса, динамик ўхшашлик (ҳақиқий ва
модель учун) ҳосил бўлади.

Кўриниб турибдики, ҳақиқий ва модель орасидаги динамик
ўхшашликка эришиш учун суюқликда мавжуд барча кучлар ҳақиқий
ва моделнинг ўхшаш нуқталарида ўзининг сонлари (Фруд сони, Рей-
нольдс сони ва ҳ.к.) бир хил бўлишини талаб қилади.

Бу ўлчамсиз сонлар (Фруд сони, Рейнольдс сони, Коши сони ва
ҳ.к.)нинг ҳақиқий ва моделнинг ўхшаш нуқталарида тенглиги ҳақиқий
ва моделлар орасидаги динамик ўхшашликни курсатади, бу эса
ўхшашлик мезонлари дейилади.

4. Ўртача тезлик v орқали ифодаланган ўхшашлик мезони. Секин
ҳаракатланувчи оқимда ҳақиқий кесимларни ясси деб ҳисоблаш мум-
кин бўлган ҳолатни кўриб чиқамиз. Кейинчалик, модель ва ҳақиқий-
нинг ҳажмий ўхшаш кесимларида тезликнинг тарқалиш хусусияти
бир хил деб ҳисоблаймиз.

Бунда ҳақиқий ва моделнинг ўхшаш кесимларини белгиланган
ҳар қандай ўхшаш нуқталар жуфтлари учун қуйидагича ёзишимиз
мумкин:

$$\frac{u_m}{v_m} = \frac{u_r}{v_r} = \beta \quad (\text{белги}) \quad (12.35)$$

бунда u_m ва u_r — айтиб ўтилган ўхшаш нуқталарнинг маҳаллий
тезликлари; v_m ва v_r — айтиб ўтилган ҳақиқий кесимларнинг ўртача
тезликлари.

(12.35) тенгликдан

$$u_m = \beta v_m; \quad u_r = \beta v_r, \quad (12.36)$$

ифодани ҳосил қиламиз.

(12.25) ва (12.32) ифодалардаги боғлиқликлардан фойдаланиб ва
 β^2 ва β катталикларни қисқартириб, (12.26) ва (12.33) ифодалар ўрнига
Фруд ва Рейнольдс сонлари учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\boxed{Fr = \frac{v^2}{gl}} \quad (12.37)$$

$$\boxed{\text{Re} = \frac{vl}{\nu}} \quad (12.38)$$

Ўртача тезлик масштаби u , албатта, маҳаллий тезлик масштабларига тенг: $a_v = a_v$. Адабиётларда Фруд сонининг (12.37) ифодадан фарқли равишда ифодаланганлиги учратилади. Баъзида Фруд сони (12.37) ифодага нисбатан тескари қиймат дейилади, яъни

$$Fr' = \frac{1}{Fr} = \frac{gl}{u^2}, \quad (12.37')$$

шунингдек

$$Fr_0 = \sqrt{Fr} = \frac{v}{\sqrt{gl}}, \quad (12.37'')$$

хусусан

$$Fr_0 = \frac{v}{\sqrt{gh}} \frac{v}{c}, \quad (12.37''')$$

бунда h — кўрилатган напорсиз оқим чуқурлиги; $c = \sqrt{gh}$ — напорсиз оқимнинг устида ҳосил бўлувчи кўчиш тўлқинининг ҳаракат тезлиги.

Кўп ҳолларда, напорсиз ҳаракат, Фруд сони ўрнида кинетик оқим параметри қўлланилади (КП), бу эса напорсиз оқимнинг ўртача чуқурлик h га боғлиқ икки баробар кинетик энергияни намоён қилади:

$$КП = 2 \frac{\omega^2 / (2g)}{h} \approx \frac{v^2}{gh} = Fr_h,$$

бунда, Fr_h — характерли ўлчам орқали ифодаланган Фруд сони (12.37).

Айтиб ўтиш керакки, кинетик параметр (КП) қуйидаги кўринишда ифодаланган бўлиши мумкин:

$$КП = \frac{\alpha Q^2}{g} : \frac{\omega^3}{B},$$

бунда ω — ҳақиқий кесим юзаси; B — ҳақиқий кесимнинг устидан кенглиги.

Ушбу муносабатдан кўриниб турибдики, оқимнинг характерли чуқурлиги учун $ПК = 1,0$ [(7-54) формулага қаранг].

5. Умумий ҳолларда, суоқликда бир вақтнинг ўзида бир қанча кучлар мавжуд бўлганда. Бундай ҳолда динамик ўхшашликни ҳосил қилиш учун ҳақиқий ва модель ўртасида ўхшаш кесимлардаги мос ўхшашлик мезонларининг бир вақтда сақланишини талаб қилиш лозим.

Масалан, гидравлик амалиёт қўйилган вақтда кўрсатиб ўтиш керакки, оғирлик ҳамда ишқаланиш кучлари ҳақиқий ва модель ўртасидаги динамик ўхшашликка эришиш учун [(12.7) ифодага қаранг],

кинематик ва гидравлик ўхшашликдан ташқари, бир вақтнинг ўзида яна икки ҳолатни ушлаб туриш лозим:

$$\begin{aligned}(Fr)_m &= (Fr)_r; \\ (Re)_m &= (Re)_r.\end{aligned}\quad (12.39)$$

Бундан ташқари, бу ҳолатлар ҳақиқий ва моделнинг барча ўхшаш кесимларига тааллуқли бўлиши шарт. Суюқликнинг оқимиغا қараб динамик ўхшаш тизимлар учун Fr ва Re қийматлар, албатта, ўзгариши мумкин.

12.4. ГИДРАВЛИК ЖАРАЁНДА МОДЕЛЛАШТИРИШНИНГ АСОСИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ

Фараз қилайлик, узунликнинг маълум бир масштабини қабул қилдик:

$$a_l = l_m : l_r. \quad (12.40)$$

Суюқликда (12.40) тенгламага кирувчи иккита кучлар тизими мавжуд деб ҳисоблаймиз: оғирлик ва ишқаланиш кучлари. Юқорида айтилганидек, кинематик ўхшашликка эришиш учун кинематик ўхшашликдан ташқари, бир вақтда икки талабни (12.39) сақлаш зарур. Бу талабларнинг ҳар бири қуйидагиларга олиб келади:

Биринчи талаб: бунда (12.27) тенгликни сақлаш зарур ёки

$$\frac{v_m^2}{gl_m} = \frac{v_r^2}{gl_r}. \quad (12.41)$$

Кейин оғирлик кучи тезланиши модель ва ҳақиқий учун бир хилдир: $g_m = g_r = g$

Қуйида (12.41) ифодадан олинган ўртача тезлик орқали ифодаланган ўхшашлик мезонларидан фойдаланамиз:

$$\frac{v_m}{v_r} = \sqrt{\frac{l_m}{l_r}} = (a_l)^{1/2}. \quad (12.42)$$

Бундай шароитда ўхшаш кесимлар учун агар Фруд сони тенглиги сақланса [(12.39) боғлиқликка қаранг], модель ва ҳақиқийларнинг тезликлари қаноатлантириши шарт.

Q_m ва Q_r сарфлар бундай шароитни қаноатлантириши шарт:

$$\frac{Q_m}{Q_r} = \frac{v_m \omega_m}{v_r \omega_r} = \sqrt{a_l} a_l^2 = (a_l)^{5/2}. \quad (12.43)$$

Вақт масштабини қуйидагича ҳосил қиламиз:

$$v_m = \frac{l_m}{t_m}; \quad v_r = \frac{l_r}{t_r}. \quad (12.44)$$

v_m ва v_r га бўлиш билан

$$\frac{v_M}{v_T} = \frac{l_M}{l_T} \frac{t_M}{t_T} \quad (12.45)$$

ифодага эга бўламиз, бундан

$$\frac{t_M}{l_T} = \frac{1}{\sqrt{a_l}} a_l = \sqrt{a_l} \quad (12.46)$$

Иккинчи талаб. Бунда (12.34) тенгликни сақлаш зарур ёки

$$\frac{v_M l_M}{v_T} = \frac{v_T l_T}{v_T}, \quad (12.47)$$

$$v_M = v_T = v \quad (12.48)$$

ифодани ҳисобга олиб, яъни, лабораторияда ҳам ҳақиқийдаги суюқлик ишлатилди деб фараз қилиб, (12.47)дан қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{v_M}{v_T} = \frac{l_M}{l_T} \frac{1}{a_l} \quad (12.49)$$

Бундай шароитда v_M ва v_T тезликлар

$$\frac{Q_M}{Q_T} = \frac{v_M}{v_T} \frac{\omega_M}{\omega_T} = \frac{1}{a_l} a_l^2 = a_l \quad (12.50)$$

тенгликни қаноатлантириши шарт.

Фақат (12.49) ва (12.50) шарт бажарилганда, (12.39, II)ни ҳосил қиламиз. Натижада келтирилган мулоҳазалардан 12.1-жадвални тузишимиз мумкин.

12.1-жадвал

Ҳақиқий характеристиканинг модель характеристикасига нисбатининг талаб қилинган қийматига эришиш жадвали

Оқим характеристикалари	Масштаб характеристикалари	
	$(Fr)_M = (Fr)_T$	$(Re)_M = (Re)_T$
Тезлик.	$a_l^{0,5}$	a_l^{-1}
Сарф.	$a_l^{2,5}$	a_l
Вақт.	$a_l^{0,5}$	a_l^2
Куч.		
Иш.		

12.1-жадвалдан кўриниб турибдики, (12.39, I) ва (12.39, II) шартлар бир-бирига мос келмайди. Шунинг учун, агар гидравлик жараён бир ёки бир неча хил кучлар системаси таъсирида кечса, лабораторияда ҳам ҳақиқий ($v_M = v_T$)даги суюқлик ишлатилса, унда динамик ўхшашликка эришиш мумкин эмас. Шундай қилиб, битта ўхшашлик мезони ҳақиқийдан моделга ўтишда ўзгаришни талаб қилади, масалан,

$a_i^{0.5}$ да тезлик бир, a_i^{-1} да эса ўхшашлик мезонлари бошқа ва ҳ.к. Ҳозирги ҳолатда моделда бошқа суюқликни қўллаш билан динамик ўхшашликка эришиш мумкин эди. Албатта, бу йўл шу билан қийинки, лабораторияларда қўллаш мумкин бўлган табиатда мавжуд суюқликлар учун $v_m : v_l$ боғлиқлик бирдан кичик фарқ қилади.

Юқорида келтирилганларга асосан, моделлаштиришни умумий ҳолда фақат бир қанча яқинлаштириш билан қуришга тўғри келади. Бир турдаги кучлар аниқ шароитларда бошқа турдаги кучлардан устун бўлади, бунда бошқа мезонларга жавоб берувчи иккиламчи кучлар ҳисобга олинмайди.

Гидравлик жараёнларни моделлаштиришда авиамодель соҳасига жавоб берувчи қуйидаги моделлаштириш амалга оширилади:

а) ҳақиқий ўзанга геометрик ўхшаш (ишқаланиш баландлигининг геометрик ўхшашлигини инобатга олган ҳолда);

б) ўзан моделининг чегаравий кесимида суюқлик ҳаракати берилади (ҳақиқийдаги ҳаракатга кинематик ўхшаш);

в) ўзан моделининг чегаравий кесимида қўшимча шароит яратилади, модель ва ҳақиқий учун Фруд сони ҳосил бўлади. Натижада, ўзан модели чегарасида кўрсатилган операцияларда автоматик равишда ҳақиқий оқимга динамик ўхшаш оқим ҳосил бўлади, бу эса аниқ илмий изланиш олиб боришни талаб қилади. Бундай турдаги тажрибаларни олиб боришда, яна қуйидаги ҳолатларни инобатга олиш зарур.

Агар Фруд сони $Fr_h = \frac{v^2}{gh}$ (h — оқимнинг ўртача чуқурлиги) бўлса, бирдан катта шиддатли напорсиз ҳаракат ҳосил бўлади:

$$Fr_h > 1,0. \quad (12.51)$$

$Fr_h < 1,0$ да секин оқимга эга бўламиз. Модель ва ҳақиқий учун Фруд сонига эга бўлиб, албатта, модель ва ҳақиқий учун автоматик равишда оқим (шиддатли ёки секин) ҳосил қиламиз. Юқорида кўрсатилганидек, масалан, секин ҳаракатда пастда ётган оқим бўйлаб қирқимдаги ҳаракат шароити юқорида ётган оқим бўйлаб оқим қисмининг шаклланишига таъсир қилади. Бунда секин оқимни моделлаштира туриб, келиб чиққан чегара кесими сифатида моделлаштирилаётган ўзан майдони охирида белгиланган қирқимни қабул қилиш керак.

Шиддатли ҳаракатда тескарисига эга бўламиз: «келиб чиққан» ўзанинг кундаланг қирқими деб, моделлаштирилаётган майдоннинг бошида белгиланган қирқимга айтилади.

Агар ҳақиқийда суюқликнинг турбулент оқими эга бўлсак, унда албатта модель шароитида ҳам худди шундай ҳаракатга эга бўлиниши шарт, шунинг учун турбулент ҳаракатни моделлаштиришда моделлаштиришнинг қуйидаги қўшимча шарти пайдо бўлади:

$$(Re)_m = (Re_\kappa)_m, \quad (12.52)$$

бу ерда $(Re_\kappa)_m$ — моделнинг критик сони. Агар ҳақиқийда турбулент оқимга эга бўлсак, қаршилиқнинг квадрат соҳасига (яъни биз кўриб чиқаётган соҳа) жавоб берувчи (12.52) билан биргаликда қуйидаги шарни талаб қилиш зарур:

$$(Re)_m \geq (Re_{\kappa_{cr}})_m. \quad (12.53)$$

Агар (12.53) шарт оқимни Фруд бўйича моделлаштиришда сақланмаса, унда геометрик ўхшашликдан воз кечиб, ўзан моделини бузилган масштабда бажаришга тўғри келади.

Бундай ҳақиқий ўзанни қайта ҳосил қила туриб моделнинг вертикал ўлчамлари горизонтал ўлчамларига нисбатан кўпайтирилади, бу эса суюқликнинг ҳаракат тезлигини оширади ва натижада моделда қаршилиқнинг квадрат майдонига жавоб берувчи турбулент оқим ҳосил қилади. Бунда оқимни моделлаштириш бўйича саволлар анча мураккаблашади.

Хулоса ўрнида айтиш керакки, қаршилиқнинг квадрат майдонига жавоб берувчи напорли ҳаракатни моделлаштириш ҳамда Рейнольдснинг кичик сонларида напорли ва напорсиз ҳаракатларни моделлаштириш асосий қондаларни бошқариш билан амалга оширилади. Биз булар устида тўхталмаймиз, чунки улар юқорида тушунтирилган жуда ўхшаш қондалардир.

Оқимларни моделлаштиришда асосий қийинчилик юқорида айтиб ўтилган икки автомодель майдонлар орасида ётган зоналарда пайдо бўлади.

Текшириш учун саволлар

1. Моделлаштиришнинг моҳияти нимада?
2. Физик ва математик моделлаштириш орасидаги фарқни тушунтиринг.
3. Фаразий модель нима? Моддий модель-чи?
4. Гидравлик жараёнинг ўхшашлик хусусиятлари ҳақида қисқача изоҳ беринг.
5. Моделлаштиришдаги ўхшашлик турлари.
6. Динамик ўхшашлик шартлари нималардан иборат?
7. Динамик ўхшашлик мезонларини айтиб беринг.
8. Физикавий, ҳақиқий ва санокли моделлаштиришнинг асосий хусусиятларини тушунтиринг.
9. Геометрик ўхшаш оқим деганда нимани тушунаси?
10. Геометрик ўхшаш оқимларда ўлчамлар нисбати қандай бўлиши керак?
11. Қандай оқимлар динамик ва гидродинамик ўхшаш бўлади?
12. Ўхшашлик мезони нима?

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Абелев А.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и основы гидравлики.—Л.: Сельхозгиз, 1959.
2. Абрамов Н.Н. Водоснабжение.—М.: Стройиздат, 1967.
3. Абрамов Н.Н., Поспелова М.М. Расчёт водопроводных сетей. — М.: Госстройиздат, 1962.
4. Абрамович Г.Г. Теория турбулентных струй.—М.: Физматгиз, 1960.
5. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика.— М.—Л.: Энергия, 1964.
6. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика — М.: Госэнергоиздат, 1964.
7. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления.— М.: Недра, 1970.
8. Альтшуль А.Д., Киселёв П.Г. Гидравлика и аэродинамика — Л.: Стройиздат, 1975.
9. Андрияшев М.М. Гидравлический расчёт водопроводных сетей — М.: Стройиздат, 1964.
10. Бахметов Б.А. Механика турбулентного потока — М.—Л.: Стройиздат, 1939.
11. Бернар Ле Меоте. Введение в гидравлику и теорию волн на воде.— Л.: Гидрометеиздат, 1974.
12. Богомолов А.И., Михайлов К.А. Гидравлика.—М.: Стройиздат, 1973.
13. Бозоров Д.Р. Прогноз деформации русел рек с применением численных методов расчета, Ташкент 2001.
14. Гидравлика, гидромашин, гидроприводы./ Т.М.Башта, С.С.Руднёв, Б.Б.Некрасов и др.—М.: Машиностроение, 1970.
15. Гидроэнергетические установки./Под ред. Д.С.Щавелева.— Л.: Энергоиздат, 1981.
16. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика.—М.: Стройиздат, 1978.
17. Зегжда А.П. Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах.—М.—Л.: Стройиздат, 1957.
18. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1954.
19. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям — М.: Машиностроение, 1975.
20. Избаш М.В. Основы гидравлики.—М.: Госстройиздат, 1952.
21. Каримов Р.М. Гидравлический расчёт каналов — Ташкент, Узгипрозем, 1976
22. Качановский Б.Д. Гидравлика судоходных шлюзов — М.—Л.: Речиздат, 1951.
23. Киселёв П.Г. Гидравлика.—М.—Л.: Госэнергоиздат, 1963.

24. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей. — М.—Л.: ГИТТЛ, 1951.
25. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач./Под ред. С.С.Руднёва и Л.Г.Подвидза.—М.: Машиностроение, 1974.
26. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.— М.: Наука, 1972.
27. Михайлов А.В. Внутренние водные пути.— М.: Стройиздат, 1973.
28. Мошин Л.Ф. Методы технико—экономического расчёта водопроводных сетей — М.: Госстройиздат, 1950.
29. Некрасов Б.Б. Гидравлика и её применение в летательных аппаратах.—М.: Машиностроение, 1967.
30. Оглоблин А.П. Основы гидромеханики.—М.: Оборонгиз, 1945.
31. Павловский Н.Н. Собрание сочинений, т. I.—М.—Л.: Издательство АН СССР, 1955.
32. Патрашев А.Н. Гидромеханика.—М.: Военно—морское издательство, 1953.
33. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении.—Л.: Машиностроение, 1974.
34. Позднеев М.В. Противопожарное водоснабжение.: Изд. Наркомхоза РСФСО, 1940.
35. Примеры гидравлических расчётов./Под ред. А.И.Богомолова.— М.: Транспорт, 1977.
36. Рауз Х. Механика жидкости для инженеров гидротехников — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1958.
37. Ржаницын Н.А. Гидравлика струйных течений — М.: Издательство Университета дружбы народов, 1985.
38. Семёнов—Тян—Шанский В.В. Статика и динамика корабля — Л.: Судостроение, 1973.
39. Симаков Г.В. Сифонные водосбросы (пособие к курсовому и дипломному проектированию).—Л.: из—во ЛПИ им. М.И.Калинина, 1974.
40. Справочник по гидравлике./Под ред. В.А.Большакова.—Киев: Высшая школа, 1977.
41. Справочник по гидравлическим расчётам. /Под ред. П.Г.Киселева.— М.: Энергия, 1972.
42. Тер—Степанов Г.А. Гидромониторные работы — М.: Стройвоенмориздат, 1948.
43. Угинчус А.А., Чугаева Е.А. Гидравлика.—Л.: Стройиздат, 1971.
44. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов.— М.: Стройиздат, 1969.
45. Чугаев Р.Р. Гидравлика —Л.: Энергоатомиздат, 1982.
46. Шевелёв Ф.А. Таблицы для гидравлического расчёта стальных, чугунных, асбестоцементных и пластмассовых водопроводных труб.— М.: Стройиздат, 1970.
47. Шлихтинг Г. Возникновение турбулентности — М.: Издательство иностр. лит., 1962.
48. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя — М.: Издательство иностр. лит., 1956.
49. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. I, II, III, IV т. —М.: Энергоатомиздат, 1991.
50. Штеренлихт Д.В. Очерки истории гидравлики, водных и строительных искусств. I, II, III т. —М.:Геос, 1999.

МУНДАРИЖА

Муқаддима	3

I БОБ.

1.1. Гидравлика фанининг асосий мақсади	5
1.2. Сууюқлик ва уларнинг физик хоссалари	8

II БОБ. ГИДРОСТАТИКА

2.1. Гидростатик босим ва унинг асосий хоссалари	15
2.2. Тинч ҳолатдаги сууюқликнинг дифференциал тенгламаси	18
2.3. Сууюқликнинг тинч ҳолати учун дифференциал тенгламани интеграллаш ...	20
2.4. Оғирлик кучи таъсиридаги сууюқликка таъсир этувчи гидростатик босим кучи	21
2.5. Пъезометрик баландлик	23
2.6. Вакуум	25
2.7. Сууюқликнинг потенциал энергияси. Потенциал напор°	25
2.8. Босим ўлчаш асбоблари	26
2.9. Текис сиртга таъсир этувчи гидростатик босим кучи	28
2.10. Тўртбурчак кўринишдаги текис шаклларга таъсир этувчи гидростатик босим кучини аниқлашнинг графоаналитик усули	31
2.11. Эгри сиртларга таъсир этувчи гидростатик босим кучи	33
2.12. Айлана шаклдаги қувур ичидан таъсир этувчи гидростатик босим кучи	34
2.13. Энг оддий гидравлик машиналар	35
2.14. Архимед қонуни	36

III БОБ. ТЕХНИК ГИДРОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

3.1. Гидродинамик ва гидромеханик босимлар	45
3.2. Сууюқлик ҳаракатини кузатишнинг асосий аналитик усуллари	47
3.3. Идеал ҳолатдаги сууюқликлар ҳаракатининг дифференциал тенгламаси (Эйлер тенгламаси)	49
3.4. Сууюқлик ҳаракатининг асосий уч кўриниши. Бурама (вихрли) ва нобурама (вихрсиз) ҳаракатлар ҳақида тушунча	51
3.5. Тезлик потенциали. Сууюқликнинг потенциал ҳаракати	54
3.6. Сууюқликнинг барқарор ва беқарор ҳаракатлари	55
3.7. Оқим чизиги ва элементар оқимчалар тўплами	56
3.8. Сууюқлик оқимининг текис ўзгармас, секин ўзгарувчан ва тез ўзгарувчан ҳаракатлари. ҳаракатдаги кесим, сарф ва ўртача тезлик. Тезлик эпюраси	57
3.9. Сууюқликнинг барқарор ҳаракатида узлуксизлик тенгламаси	59
3.10. Ҳаракатланаётган сууюқлик учун сиқилмаслик тенгламасининг дифференциал шакли	61
3.11. Текис ва нотекис ҳаракатлар, эркин оқимчалар, босимли ва босимсиз ҳаракатлар. Ҳаракатдаги кесимнинг гидравлик элементлари	62
3.12. Кинетик энергиянинг гидравлик тенгламаси идеал барқарор ҳаракатланаётган элементар оқимчалар учун Бернулли тенгламаси	65
3.13. Бернулли тенгламаси ҳақларининг маъноси	67

3.14. Барқарор ҳаракатланаётган идеал ҳолатдаги суюқликнинг элементар оқимчалари учун Бернулли тенгламасининг геометрик таҳлили. Элементар оқимча учун тўлиқ напор	68
3.15. Барқарор ҳолатдаги элементар оқимчалар учун Бернулли тенгламасининг энергетик таҳлили	69
3.16. Кинетик энергиянинг гидравлик тенгламаси. Барқарор ҳаракатланаётган реал суюқликнинг элементар оқимчаси учун Бернулли тенгламаси. Элементар оқимчанинг ён сиртлари орқали механик энергия «диффузияси»	70
3.17. Текис ва текис ўзгарувчан ҳаракатланаётган суюқликнинг ҳаракатдаги кесими бўйлаб босим тақсимланиши (биринчи кўмаклашувчи вазият)	71
3.18. Кесим орқали оқиб ўтаётган Ихтиёрӣ ҳаракатдаги суюқлик массасининг кинетик энергияси миқдори ва ҳаракат сони катталигига ҳаракатдаги кесим бўйлаб тезлик тақсимланиши нотекислигининг таъсири (иккинчи кўмаклашувчи вазият)	72
3.19. Тўлиқ оқим учун тўлиқ напор	75
3.20. Барқарор ҳаракатланаётган реал суюқлик оқими кинетик энергиясининг гидравлик тенгламаси (Бернулли тенгламаси)	76
3.21. Оқимнинг барқарор ҳаракатида напор ва пьезометрик чизиқларнинг кўринишлари ҳақида умумий кўрсатмалар. Бернулли тенгламасига кирувчи ҳадлар ҳақида қўшимча мулоҳазалар	79
3.22. Барқарор ҳаракатдаги оқим учун ҳаракатлар сонининг гидравлик тенгламаси	81
3.23. Суюқликнинг икки хил ҳаракати	83

IV БОБ. ОҚИМНИНГ БАРҚАРОР ҲАРАКАТИДА НАПОР ЙЎҚОЛИШИ. ГИДРАВЛИК ҚАРШИЛИК. ТУРБУЛЕНТ ОҚИМ ҲАРАКАТИНИ ҲИСОБЛАШ СХЕМАСИ

4.1. Напор йўқолиши ҳақида умумий тушунчалар. Гидравлик қаршилик	88
4.2. «Тўғри ўзанлар» учун текис барқарор ҳаракатланаётган оқимнинг асосий тенгламаси. Ички ишқаланиш кучлари бажарган иш	90
4.3. Суюқликда ички ишқаланиш кучлари қонуни. Оқимнинг ламинар ҳаракатида уринма кучланиш катталиги	93
4.4. Текис барқарор ламинар тартибда ҳаракатланаётган суюқлик оқимининг ҳаракатдаги кесими бўйлаб тезлик тақсимланиши	96
4.5. Цилиндрсимон қувурдаги Q сарфли оқим учун Пуазейл формуласи. Барқарор текис ламинар тартибда ҳаракатланаётган суюқлик учун напорнинг узунлик бўйича йўқолиши	97
4.6. Турбулент ҳаракатдаги оқимни урганишда фойдаланиладиган асосий тушунчалар	99
4.7. Ўрта оқимлардаги турбулент уринма кучланишлар	104
4.8. Текис барқарор ҳаракатланаётган турбулент оқим кесимидаги ўртача тезликининг тақсимланиши. Қовушоқлик қатлами. Силлиқ ва гадир-будур қувурлар. Чегаравий қатлам	107
4.9. Дарси-Вейсбах формуласи. Гидравлик ишқаланиш коэффицентини	113
4.10. Напор йўқолишини аниқлаш бўйича И. Никурадзе тадқиқотлари	115
4.11. Айлана ва тўғри тўртбурчак шаклдаги қувурларда гидравлик ишқаланиш коэффицентини аниқлашнинг амалий усуллари	118

V БОБ. СУЮҚЛИК ОҚИМИНИНГ ҚУВУРЛАРДАГИ БОСИМЛИ ТЕКИС БАРҚАРОР ҲАРАКАТИ

5.1. Дастлабки тушунчалар	124
5.2. Напор йўқолишини аниқлашда фойдаланиладиган ифодалар	124

5.3.	Напор йўқолишининг йигинди қийматини аниқлаш. Тулиқ қаршилиқ коэффициенти. Узун ва қисқа қувурлар ҳақида тушунча	129
5.4.	Ўзгармас диаметрли оддий қисқа қувурлар тизими	132
5.5.	Қисқа қувурлардаги асосий ҳолатлар. Сифон, насоснинг сўрувчи қувири ва дюкер	135
5.6.	Умумий маълумотлар	140
5.7.	Гидравлик ҳисобларни бажаришда қувурларнинг кетма-кет ва параллел уланиши	142
5.8.	Напорнинг сарф ўзгарувчан бўлганда йўқолиши	144
5.9.	Мураккаб қувурлар системасининг гидравлик ҳисоби	145

VI БОБ. ТИРҚИШ ВА НАЙЧАЛАР ОРҚАЛИ СУЮҚЛИКНИНГ ОҚИШИ

6.1.	Оқимнинг кичик тирқишдан атмосферага оқиб чиқиши	148
6.2.	Оқимчаларнинг сиқилиш турлари. ϵ , ζ , μ ва μ_0 коэффициентлар катталиклари	151
6.3.	Оқимчанинг траекторияси	153
6.4.	Оқимчанинг кичик тирқишлардан оқимчанинг сув сатҳи остига чиқиши	154
6.5.	Суюқликнинг идишдаги ҳаракати. Кичик ва катта тирқишлар ҳақида тушунчалар. Катта тирқишларнинг гидравлик ҳисобига доир амалий кўрсатмалар	155
6.6.	Найчаларнинг шакллари. Умумий кўрсатмалар	157
6.7.	Ташқи цилиндрсимон найча (Вентури найчаси)	158
6.8.	Ички цилиндрсимон найча (Борд найчаси)	163
6.9.	Найчаларнинг бошқа шакллари	164
6.10.	Оқимчанинг атмосферага ёки суюқликнинг доимий сатҳга оқиб чиқиши	165
6.11.	Идишдаги доимий напор таъсирида суюқлик сатҳининг ўзгарувчан суюқлик сатҳига оқиб чиқиши	167
6.12.	Эркин оқимчалар ҳақида умумий маълумотлар	167

VII БОБ. СУВ ОҚИМИНИНГ ОЧИҚ ЎЗАНЛАРДАГИ БОСИМСИЗ ТЕКИС БАРҚАРОР ҲАРАКАТИ

7.1.	Дастлабки тушунчалар	171
7.2.	Каналдаги оқим кесимининг асосий гидравлик элементлари	173
7.3.	Трапециясимон қўндаланг кесимли каналнинг энг қулай гидравлик профили	175
7.4.	Каналларда сув оқими ҳаракат тезлигининг чегаравий қийматлари. Трапециясимон кесимли каналларда текис ҳаракатланаётган сув оқимини ҳисоблашдаги асосий масалалар	177
7.5.	Асосий ҳисоблаш формулалари	179
7.6.	Солиштирма ҳўланганлик периметрининг функцияси сифатида оқим гидравлик элементларининг нисбий ўзгариши	187
7.7.	Каналларни гидравлик энг қулай кесим билан таққослаш орқали ҳисоблаш	192
7.8.	Трапециясимон кесимли каналларнинг гидравлик ҳисоби	194
7.9.	Парабола кўринишидаги кесимнинг гидравлик ҳисоби	206
7.10.	Каналларда сув оқими тезлигининг чегаравий жойи қийматлари	225

VIII БОБ. ОЧИҚ ЎЗАНЛАР ВА КАНАЛЛАРДА СУВНИНГ НОТЕКИС БАРҚАРОР ҲАРАКАТИ

8.1.	Дастлабки тушунчалар	245
8.2.	Сув оқими нотекис ҳаракатининг асосий дифференциал тенгламаси (дифференциал тенгламанинг 1-кўриниши)	249
8.3.	Оқимнинг нотекис ҳаракати асосий дифференциал тенгламасининг иккинчи кўриниши	251

8.4. Цилиндрсимон ўзанлардаги оқим ҳаракати дифференциал тенгламасининг иккинчи кўриниши	253
8.5. Тўрт асосий тушунча. Кесимнинг солиштирма энергияси, критик чуқурлик, нормал чуқурлик, критик нишаблик	255
8.6. Оқимнинг тинч, нотинч ва критик ҳолатлари	261
8.7. Цилиндрсимон ўзанларда оқимнинг текис ўзгарувчан нотекис ҳаракатидаги эркин сирт эгрилигини кузатиш	263
8.8. Тўғри нишабли ($i < 0$) ўзанлар учун сувнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини интеграллаш учун қулай кўринишга келтириш	269
8.9. Туби тескари нишабли ($j < 0$) ўзанларда оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини интеграллаш учун қулай кўринишга келтириш	271
8.10. Оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини интеграллашга доир амалий кўрсатмалар	271
8.11. Сарф модулининг асосий кўрсаткичи. Ўзаннинг гидравлик кўрсаткичи ...	272
8.12. Туби тўғри нишабли ($i > 0$) ўзанларда оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини Бахметов усулида дифференциаллаш	276
8.13. Туби горизонтал ($i = 0$) ўзанлардаги оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини Бахметов усулида интеграллаш	279
8.14. Туби тескари нишабли ($i = 0$) ўзанларда оқимнинг нотекис ҳаракати дифференциал тенгламасини Бахметов усули бўйича интеграллаш	287
8.15. Оқимнинг эркин сирт эгрилигини яқиний фарқ усулида чизиш	287

IX БОБ. ГИДРАВЛИК САКРАШ. ГИДРАВЛИК САКРАШДАН KEYINГИ УЧАСТКА. ТУБИНИНГ НИШАБЛИГИ ТЕЗ ЎЗГАРАДИГАН ЦИЛИНДРСИМОН ЎЗАНЛАРДАГИ

9.1. Умумий кўрсатмалар	290
9.2. Гидравлик сакрашнинг асосий тенгламаси	293
9.3. Гидравлик сакраш функцияси. Туташ чуқурликлар катталигининг бирига асосан иккинчини аниқлаш	294
9.4. Тўғри тўртбурчакли цилиндрсимон ўзанлар учун гидравлик сакрашнинг асосий тенгламаси	296
9.5. Туби горизонтал бўлган тўғри тўртбурчакли ўзанларда эркин гидравлик сакраш усулиги. Сакрашда энергиянинг йўқолиши	297
9.6. Гидравлик сакрашнинг асосий кўринишлари	298
9.7. Цилиндрсимон каналлар тубининг нишаблиги кескин ўзгарганда оқимнинг эркин сирт эгрилиги шакллари	301

X БОБ. СУВ ЎТКАЗГИЧЛАР

10.1. Асосий тушунчалар ва сув ўтказгичлар таснифи	305
10.2. Тўғри тўртбурчакли сув ўтказгичларни асосий ҳисоблаш формуласи	308
10.3. Ингичка деворли сув ўтказгичларнинг таснифи	309
10.4. Тик ҳолатдаги ингичка деворли кўмилмаган сув ўтказгичлардан оқимнинг эркин оқиши	310
10.5. Ингичка тик деворли, кўмилган тўғри тўртбурчакли сув ўтказгичларда оқимнинг эркин оқиши	311
10.6. Сарфни ўлчашда ишлатиладиган сув ўтказгичлар	314
10.7. Кенг остонали кўмилмаган сув ўтказгичлар	316
10.8. Кенг остонали сув ўтказгичларнинг кўмилиш шарти	321
10.9. Кенг остонали кўмилган сув ўтказгични ҳисоблаш формулалари	324
10.10. Амалий профили деворга эга бўлган сув ўтказгичларнинг қўшимча таснифи	325

10.11. Амалий профилли кўринишдаги деворли сув ўтказгичларни ҳисоблаш формуласи	326
10.12. Амалий профилли сув ўтказгичларнинг кўмилиш коэффицентини аниқлаш	327
10.13. Амалий профилли сув ўтказгичлар учун ён томондан сиқилиш коэффицентини аниқлаш	328
10.14. Амалий профилли сув ўтказгичларнинг кўмилиш коэффиценти	330

XI БОБ. ТЎҒОН ОРҚАЛИ БЬЕФЛАРНИ ТУТАШТИРИШ

11.1. Дастлабки тушунчалар	331
11.2. Оқимнинг сиқилган кесимдаги чуқурлигини аниқлаш	332
11.3. Тўғондан ошиб тушаётган оқимчаларнинг пастки бьефда туташиши	336
11.4. Тўғоннинг пастки бьефи тузилишини лойиҳалаштириш ва ҳисоблашга доир умумий кўрсатмалар	341
11.5. Иншоотларнинг пастки бьефларида оқимнинг кинетик энергиясини сўндириш	343
11.6. Пастки бьеф туби белгиси ва сув урилма ҳовузи чуқурлигини аниқлашнинг аналитик усули	345
11.7. Тўғондан кейинги мустаҳкамлашнинг баландлигини ва сув урилма ҳовузи чуқурлигини графиклар ёрдамида аниқлаш	348
11.8. Сув уриладиган деворнинг баландлигини ҳисоблашнинг аналитик усули	350
11.9. Сув уриладиган девор баландлигини графиклар ёрдамида ҳисоблаш	353
11.10. Сув урилма девор қурилиши ва ўзан тубининг чуқурлаштирилиши ва ўзан тубининг чуқурлаштирилиши натижасида пайдо бўладиган сув урилма ҳовузлар узунлигини аниқлаш	355
11.11. Тўғоннинг пастки бьеф билан туташиши баланд поғона орқали бўлганда уни ҳисоблашга доир умумий кўрсатмалар	357
11.12. Тўсиқ остидаги лойқа тирқишдан сув оқимчаси чиққанда бьефлар туташиши	358

XII БОБ. ГИДРАВЛИК ЖАРАЁНЛАРНИ ФИЗИК МОДЕЛЛАШТИРИШНИНГ НАЗАРИЙ АСОСЛАРИ

12.1. Моделлаштиришнинг умумий кўрсаткичлари	360
12.2. Гидравлик жараёнларнинг ўхшашликлари ҳақида тушунча	362
12.3. Динамик ўхшашлик мезонлари	366
12.4. Гидравлик жараёнда моделлаштиришнинг асосий кўрсаткичлари	373

**Д. Р. Бозоров, Р. М. Каримов,
Ж. С. Казбеков, С. Қ. Хидиров**

ГИДРАВЛИКА

**Муҳаррир З. Аззамова
Техник муҳаррир Т. Смирнова
Бадний муҳаррир Ж. Гурова.
Компьютерда тайёрловчи Э. Ким**

Босишга 20. 11. 2003 й. да рухсат этилди. Бичими 60×90¹/₁₆. «Таймс» гарнитура.
Офсет босма. 24 шартли б.т. 24.5 нашр б.т. Жами 1000 нусха.
202-рақамли буюртма.

«Билим» нашриёти, 2003.

«ARNAPRINT» МЧЖ босмахонасида босилди.
Тошкент, Х. Бойқаро кучаси, 51.

