Қ. ЛАТИПОВ, С. ЭРГАШЕВ

ГИДРАВЛИКА ВА ГИДРОМАШИНАЛАР

532.5
Л-24

Қ. ЛАТИПОВ, С. ЭРГАШЕВ

ГИДРАВЛИКА ВА ГИДРОМАШИНАЛАР

Ўзбекистон . Маориф министрлиги педагогика олий ўқув юртларининг индустриал-педагогика факультетлари учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этган

БИБЛИОТЕКА
Бух ТИП и ЛП
№ У/5196

Тошкент „Ўқитувчи" 1986

532.5
Л-24

Қ. ЛАТИПОВ, С. ЭРГАШЕВ

ГИДРАВЛИКА ВА ГИДРОМАШИНАЛАР

Ўзбекистон . Маориф министрлиги педагогика олий ўқув юртларининг индустриал-педагогика факультетлари учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этган

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИП и ЛП
№ У/5196

Тошкент „Ўқитувчи" 1986

Китобда гидравликанинг асосий тушунчалари, гидростатик мувозанат ва унинг шартлари, гидродинамиканинг асосий қонунлари ва тенгламалари ҳамда уларнинг турли гидравлик системаларни ҳисоблашда татбиқ қилиниши ҳақида маълумотлар берилган. Гидромашиналар (турли насослар, гидротурбиналар ва гидродвигателлар) ва гидроузатмаларнинг асосий кўрсаткичларини ҳисоблашда гидравлика қонунлари ва тенгламаларидан фойдаланиш усуллари келтирилган. Бундан ташқари, китобда турли насослар, гидродвигателлар ва гидроузатмаларнинг тузилиши, ишлаш принципи, гидроэлектростанцияларнинг турлари, уларда ишлатиладиган қурилмаларнинг ўзаро боғланиши ҳақида асосий тушунчалар берилган.

Ўқув қўлланма педагогика олий ўқув юртларининг индустриал-педагогика факультетлари студентлари учун «Гидравлика ва гидромашиналар» курси бўйича СССР Маориф министрлиги 1976 йилда тасдиқлаган, «Умумтехника фанлари ва меҳнат» ҳамда «Умумтехника ва физика» ихтисосликларига мўлжалланган программа асосида ёзилди.

Рецензентлар: *Ўзбекистон . ФА академиги* **Х. А. Рахматуллин**, *Наманган давлат педагогика институти «Ишлаб чиқариш асослари» кафедрасининг мудири* **О. Эшонов.**

Л $\frac{2305020000-262}{353(04)-86}$ 108—86

© «Ўқитувчи» нашриёти, 1986

СЎЗ БОШИ

Ўқитувчи кадрлар тайёрлашни анча яхшилаш — халқ маорифи системасини ислоҳ қилишнинг ажралмас қисмидир. Бўлажак ўқитувчиларга энг замонавий илмларни ўргатиш ва уларни амалий жиҳатдан яхши тайёрлаш лозим. Шу мақсадда умумий таълим ва ҳунар мактабини ислоҳ қилишнинг асосий йўналишларида педагогика олий ўқув юртлари ва билим юртларининг ўқув планлари ҳамда программаларини қайта ишлаш, уларни турмуш талаблари билан маҳкам боғлаш, педагогика ўқув юртларини юқори сифатли дарсликлар ва ўқув қўлланмалари билан таъминлаш юзасидан қўшимча тадбирлар ишлаб чиқилиб, уларни амалга ошириш кўзда тутилган.

Педагогика олий ўқув юртларининг индустриал-педагогика факультетларида табиий, ижтимоий ва гуманитар фанлар билан бир қаторда техникага оид махсус фанлар ҳам ўқитилади. «Гидравлика ва гидромашиналар» курси ана шу махсус фанлар қаторига киради. Лекин педагогика институтлари учун бу соҳада ўзбек тилида яратилган асарлар деярли йўқ, рус тилидан таржима қилинган «Машинашунослик» ўқув қўлланмасининг нашр этилганига 20 йилдан ошиб кетди. Шу боисдан муаллифлар «Гидравлика ва гидромашиналар» ўқув қўлланмасини ўзбек тилида биринчи марта яратишга жазм қилдилар.

Бу ўқув қўлланмаси муаллифларнинг шу курс юзасидан Низомий номли Тошкент давлат педагогика институтида ва бошқа олий ўқув юртларида ўқиган лекциялари асосида ёзилган бўлиб, муаллифлар бу ўқув қўлланмаси юқорида айтиб ўтилган тадбирларни амалга оширишга кичик бир ҳисса бўлиб қўшилади, деган умиддалар.

Китоб олти бобдан иборат бўлиб, гидравлика, гидромашиналар, гидроузатмалар, гидродвигателлар ва гидравлик куч қурилмалари ҳақидаги асосий маълумотларни ўз ичига олади.

Ўқув қўлланмаси ўзбек тилида биринчи марта нашр этилаётганлиги сабабли гидравликага оид терминлар, ўқув материалининг жойлаштирилиши тўғрисида мунозарали жойлар учраши мумкин. Шу боисдан муаллифлар бу ўқув қўлланмаси тўғрисидаги фикр-мулоҳазаларни мамнуният билан қабул қиладилар.

Бизнинг адрес: *Тошкент — 700129, Навоий кўчаси, 30, «Ўқитувчи» нашриётининг умумтехника адабиёти редакцияси.*

Муаллифлар.

Китобда гидравликанинг асосий тушунчалари, гидростатик мувозанат ва унинг шартлари, гидродинамиканинг асосий қонунлари ва тенгламалари ҳамда уларнинг турли гидравлик системаларни ҳисоблашда татбиқ қилиниши ҳақида маълумотлар берилган. Гидромашиналар (турли насослар, гидротурбиналар ва гидродвигателлар) ва гидроузатмаларнинг асосий кўрсаткичларини ҳисоблашда гидравлика қонунлари ва тенгламаларидан фойдаланиш усуллари келтирилган. Бундан ташқари, китобда турли насослар, гидродвигателлар ва гидроузатмаларнинг тузилиши, ишлаш принципи, гидроэлектростанцияларнинг турлари, уларда ишлатиладиган қурилмаларнинг ўзаро боғланиши ҳақида асосий тушунчалар берилган.

Ўқув қўлланма педагогика олий ўқув юртларининг индустриал-педагогика факультетлари студентлари учун «Гидравлика ва гидромашиналар» курси бўйича СССР Маориф министрлиги 1976 йилда тасдиқлаган, «Умумтехника фанлари ва меҳнат» ҳамда «Умумтехника ва физика» ихтисосликларига мўлжалланган программа асосида ёзилди.

Рецензентлар: *Ўзбекистон . ФА академиги* **Х. А. Рахматуллин,** *Наманган давлат педагогика институти «Ишлаб чиқариш асослари» кафедрасининг мудири* **О. Эшонов.**

Л $\frac{2305020000-262}{353(04)-86}$ 108—86

© «Ўқитувчи» нашриёти, 1986

СЎЗ БОШИ

Ўқитувчи кадрлар тайёрлашни анча яхшилаш — халқ маорифи системасини ислоҳ қилишнинг ажралмас қисмидир. Бўлажак ўқитувчиларга энг замонавий илмларни ўргатиш ва уларни амалий жиҳатдан яхши тайёрлаш лозим. Шу мақсадда умумий таълим ва ҳунар мактабини ислоҳ қилишнинг асосий йўналишларида педагогика олий ўқув юртлари ва билим юртларининг ўқув планлари ҳамда программаларини қайта ишлаш, уларни турмуш талаблари билан маҳкам боғлаш, педагогика ўқув юртларини юқори сифатли дарсликлар ва ўқув қўлланмалари билан таъминлаш юзасидан қўшимча тадбирлар ишлаб чиқилиб, уларни амалга ошириш кўзда тутилган.

Педагогика олий ўқув юртларининг индустриал-педагогика факультетларида табиий, ижтимоий ва гуманитар фанлар билан бир қаторда техникага оид махсус фанлар ҳам ўқитилади. «Гидравлика ва гидромашиналар» курси ана шу махсус фанлар қаторига киради. Лекин педагогика институтлари учун бу соҳада ўзбек тилида яратилган асарлар деярли йўқ, рус тилидан таржима қилинган «Машинашунослик» ўқув қўлланмасининг нашр этилганига 20 йилдан ошиб кетди. Шу боисдан муаллифлар «Гидравлика ва гидромашиналар» ўқув қўлланмасини ўзбек тилида биринчи марта яратишга жазм қилдилар.

Бу ўқув қўлланмаси муаллифларнинг шу курс юзасидан Низомий номли Тошкент давлат педагогика институтида ва бошқа олий ўқув юртларида ўқиган лекциялари асосида ёзилган бўлиб, муаллифлар бу ўқув қўлланмаси юқорида айтиб ўтилган тадбирларни амалга оширишга кичик бир ҳисса бўлиб қўшилади, деган умиддалар.

Китоб олти бобдан иборат бўлиб, гидравлика, гидромашиналар, гидроузатмалар, гидродвигателлар ва гидравлик куч қурилмалари ҳақидаги асосий маълумотларни ўз ичига олади.

Ўқув қўлланмаси ўзбек тилида биринчи марта нашр этилаётганлиги сабабли гидравликага оид терминлар, ўқув материалининг жойлаштирилиши тўғрисида мунозарали жойлар учраши мумкин. Шу боисдан муаллифлар бу ўқув қўлланмаси тўғрисидаги фикр-мулоҳазаларни мамнуният билан қабул қиладилар.

Бизнинг адрес: *Тошкент — 700129, Навоий кўчаси, 30, «Ўқитувчи» нашриётининг умумтехника адабиёти редакцияси.*

Муаллифлар.

1-боб. КИРИШ

1-§. Гидравликанинг ривожланиши ҳақида қисқача маълумот

Суюқликларнинг мувозанат ва ҳаракат қонунларини ҳамда бу қонунларнинг техниканинг турли соҳаларига татбиқ этилишини ўрганувчи фан *гидравлика* деб аталади.

Гидравлика суюқликларда кучларнинг тарқалиш ва бу кучларнинг ҳаракат давомида ўзгариб бориш қонунларини ҳар хил қурилмалар ва машиналарни ҳисоблаш ҳамда лойиҳалашга татбиқ этиш билан ҳам шуғулланади.

Гидравлика ирригация, сув таъминоти ва канализация, нефть механикаси каби бир қанча фанларга асос бўлади.

Гидравлика энг қадимги фанлардан ҳисобланади. Археологик текширишлар одамлар жуда қадим замонларда ҳам турли гидротехник иншоотлар қуришни билганликларини кўрсатади.

Археологик қазилмаларнинг гувоҳлик беришича, эрамиздан олдинги тўрт-уч мингинчи йиллардан бошлаб қулфаклик ҳовузлар, коризлар (ер ости ариқлари), эрамизнинг бошларида эса Афросиёбда водопровод қурилган.

Ўрта асрларда қурилган сув иншоотларига Фориш ва Нуротадаги сув омборлари мисол бўла олади. Бу сув омборларининг сув кирадиган қисми тор ва оқиб чиқадиган қисми кенг қилиб ишланган. Ўша замонларда қувурлардан фойдаланиш сувнинг динамик босими ҳақида қурувчилар маълум тушунчага эга эканликларидан дарак беради. Аммо лойқаларни чиқариб ташлаш усулларининг йўқлиги улар лойқаларнинг чўкиш қонуниятларидан бехабар эканликларидан далолат беради. Бу иншоотларни ҳисоблаш ҳақидаги маълумотлар сақланмаган, булар асосан тажрибаларга асосланиб қурилган деб тахмин қилса бўлади.

Бизгача етиб келган, гидравликага алоқадор илмий ишлардан биринчиси Архимеднинг «Сузиб юрувчи жисмлар ҳақида» номли асаридир. Суюқликка оид қонунларнинг очилиши XVI—XVII асрлардан бошланди. Буларга Леонардо да Винчининг суюқликларнинг ўзандаги ва трубадаги ҳаракати ҳамда жисмларнинг сузиб юриши, С. Стевиннинг суюқликнинг идиш тубига ва деворларига таъсир қилувчи кучи, Г. Галилейнинг жисмларнинг суюқликлардаги ҳаракати ва мувозанати, Е. Торичеллининг суюқликларнинг кичик тешикдан оқиб чиқиши, Б. Паскалнинг босимнинг суюқликда узатилиши, И. Ньютоннинг суюқликлардаги ички қаршиликлар қонуни ҳақидаги ишлар киради.

Кейинчалик суюқликларнинг мувозанат ва ҳаракат қонунлари икки йўналишда ривожланган. Булардан бири тажрибаларга асосланган гидравлика бўлса, иккинчиси назарий механиканинг мустақил бўлими бўлган назарий гидромеханика эди.

Назарий гидромеханика аниқ математикага таянган бўлиб, суюқлик қонунларини дифференциал тенгламалар билан ифодалаш ва уларни ечишга асосланади. Бу назарий билимларнинг тараққий этишига XVII—XVIII асрларда яшаган буюк математиклар Л. Эйлер, Д. Бернулли ва Лагранжнинг илмий асарлари асос бўлди. У вақтдаги ишлар соф назарий бўлиб, суюқликларнинг физик хоссаларини идеаллаштириб кўрар ва олинган натижалар ҳаракат тарзларини кўрсатгани билан тажриба натижаларидан жуда узоқда эди. Шунинг учун улар, табиийки, гидромеханиканинг ривожланишида айтарлик муҳим роль ўйнай олмас ва гидромеханиканинг ўша замон техникасига қўйган талабига жавоб бера олмас эди. XVIII—XIX асрларда Шези, Дарси, Буссинеск, Вейсбах ва бошқа олимларнинг ишлари гидравлика фанининг асоси бўлди.

Кейинчалик гидравлика билан гидромеханика фани бир-бирига яқинлашиб, ўзаро бир-бирини тўлатувчи фанга айланди. Бу нарса асримиз бошида ижод этган талантли олим Л. Прандтлнинг номи билан боғлиқ.

Гидравлика хулосалари суюқлик ҳаракатининг соддалаштирилган схемалари асосида тузилади. Назарий тенгламаларга эмпирик коэффициентлар киритиб, улар тажрибалар ўтказиш йўли билан аниқланади. Гидравликада оқимнинг кесими бўйича ўртача тезлиги ва босимнинг ҳаракат давомида йўлнинг бир нуқтасидан иккинчи нуқтасига ўтганда қандай ўзгариб бориши текширилади.

Ҳозирги замон гидравликаси назарияни тажриба билан боғлаб, назарий текширишларни тажрибада синаш, тажриба натижаларини эса назарий умумлаштириш билан ривожлантириб борувчи ҳамда ўз текширишларида гидромеханиканинг усуллари ва ютуқларидан фойдаланувчи фандир. Бу эса гидравлика ва гидромеханика фанлари орасидаги фарқни камайтириб боради.

2- §. Суюқлик механикаси ва гидравлик машиналарни яратишда ватанимиз олимларининг роли

Гидравликанинг ривожланишида ватанимиз олимларининг ҳам катта ҳиссаси бор. Гидромеханика фанининг асосчилари Д. Бернулли ва Л. Эйлер Петербург Фанлар академиясининг аъзолари бўлиб, Россияда яшаб ижод этганлар. Н. П. Петровнинг гидродинамик сирғалиш назарияси, Н. Е. Жуковскийнинг трубалардаги гидравлик зарб назарияси ва гидромеханика соҳасидаги муҳим ишлари, В. Г. Шуховнинг нефть қувурларини ҳисоблаш ишлари, А. Н. Криловнинг кема назарияси, Н. Н. Пав-

ловскийнинг суюқликларнинг фильтрацияси назарияси, Л. С. Лейбензоннинг ер ости гидромеханикаси ва Ватанимиз олимларининг бошқа ишлари дунё фанига қўшилган буюк ҳиссадир. Н. Е. Жуковский, С. А. Чаплигин, Е. Н. Кочин ҳозирги аэродинамика ва газ динамикасининг асосчилари бўлиб, бу фанлар ҳозирги вақтда самолёт ва ракеталар ҳаракатини ўрганишда катта роль ўйнайди. Ҳозирги замон гидравликасининг тараққиётида академик Х. А. Рахматуллининг аралашмалар гидродинамикаси бўйича қилган ишлари муҳим ўрин тутади.

Совет ҳокимияти даврида замонавий ускуналар билан таъминланган бир қанча гидравлик, гидродинамик ва аэродинамик институтлар ҳамда лабораториялар барпо этилган.

Гидромашиналар механик ҳаракатни суюқликнинг ҳаракатига ёки суюқлик ҳаракатини механик ҳаракатга айлантириб берувчи қурилмалардир. Гидромашиналарнинг гидроузатмалар деб аталувчи турларида эса механик ҳаракат аввал суюқликнинг ҳаракатига, сўнгра яна қайтадан механик ҳаракатга айлантирилади.

Инсоният тарихида суюқликнинг ҳаракатини механик ҳаракатга айлантириб берувчи биринчи қурилма чархпалак бўлиб, уни Ўрта Осиё, Ҳиндистон, Хитой ва Мисрда қадим замонлардаёқ суғориш ишларида ва тегирмонларда ишлатилгани маълум. Биринчи яратилган насос поршенли насос бўлиб, уни инсон ёки ҳайвон кучи билан ҳаракатга келтирилган. Бу машиналар Россияда қадимдан маълум эди. Буюк рус олими М. В. Ломоносов ўз асарларида чуқур шахталардан сувни тортиб олишда ишлатиладиган насосларнинг тузилишини ва конструкцияларини келтирган. У бир қанча қурилмаларни чархпалак ёрдамида ҳаракатга келтириш усуллари устида ишлади ва уларни ҳаётга татбиқ этди. XVIII аср ўрталарида гидравлик қурилмалардан фойдаланувчи заводлар Уралнинг ўзида 150 дан ортиқ эди. И. И. Ползунов кашф қилган (1765 й.) буғ машинаси поршенли насосларни ҳаракатга келтириш учун ишлатилган. Л. Эйлер парракли гидромашиналар ишини характерловчи муҳим муносабатларни аниқлади. Бу муносабатлардан А. А. Саблуков кашф этган марказдан қочирма насосни, кейинчалик эса гидравлик турбиналарни лойиҳалашда фойдаланилди.

Машҳур рус олими ва инженери академик В. Г. Шухов нефтни чуқур қудуқлардан чиқариб олиш учун поршенли насосларнинг бир қанча конструкцияларини кашф этди. Н. Е. Жуковский ва С. А. Чаплигин қанотларнинг ҳаракати назариясини яратдилар. Бу назария кейинчалик паррракларни, йўналтирувчи қурилмаларни, турли турбина ва насосларни лойиҳалашда хизмат қилди.

Проф. И. Н. Куколевский томонидан динамик ўхшашлик қонунларининг марказдан қочирма насосларни лойиҳалашда қўлланилиши насослар қурилиши бўйича лаборатория тажрибаларини илмий асосга қўйди.

Инсоният электр энергияси ҳақида тушунчага эга бўлгандан

кейин, гидромашиналардан электр энергияси ҳосил қилиш мақсадида фойдалана бошлади.

Дунёда биринчи (қуввати 3000 от кучига тенг бўлган) гидроэлектр станцияни 1891 йили М. О. Доливо-Добровольский Лауфен шаҳрида (Германия) қурган эди.

А. Н. Шчененович Россияда қуввати 1200 кВт, кучланиши 250 вольтли биринчи гидроэлектростанцияни 1893 йили Новороссийскда қурган эди.

Ўзбекистонда ГОЭЛРО плани асосида қурилган биринчи Бўзсув гидроэлектростанцияси 1926 йил 1 майда ишга туширилди.

С[illegible] гидромашиналар қурилишини ривожлантиришда проф. И. Г. Есьман, Н. М. Шапов ва бошқаларнинг хизматлари жуда катта.

Гидромашиналар каби гидроузатмаларнинг ҳам айрим элементлари қадим замонлардан ишлатилиб келинган, лекин уларнинг комплекс ишлатилиши яқин вақтлардан (1888 й.) бошланди. 1907 йилдан бошлаб эса денгиз флотида гидроузатмалар (гидротрансформаторлар ва гидромуфталар) ишлатила бошланди.

Ватанимиз тоғ саноатида гидроузатмалардан 1933—1937 йиллардан фойдаланила бошланди. 1950 йилдан бошлаб эса гидромашиналар ва гидроузатмаларнинг мамлакатимиз саноатида ишлатилиши жуда тез ривожланди.

Ҳозирги кунда бу қурилмалардан пахта териш машиналари, тракторлар, бульдозерлар, турли автомобиллар ва бошқа машина-механизмларда кенг кўламда фойдаланилмоқда.

3- §. [illegible] халқ хўжалигида гидромашинасозлик, гидротехника ва гидроэнергетиканинг аҳамияти

[illegible] халқ хўжалигида саноат ва қишлоқ хўжалигининг ривожланиши натижасида гидромашинасозликнинг аҳамияти ортиб бормоқда. Гигант иншоотларни қуришда кучли насослар, гидроузатмалар, гидроцилиндрлардан фойдаланилади.

В. И. [illegible] номидаги Волга-Дон каналида қурилган бир неча улкан насос станцияси Дон дарёси сувини 44 м га кўтариб, уни Волга дарёси билан туташтирди.

Ўрта Осиё ва Қозоғистонда қўриқ ерларни ўзлаштириш ҳамда уларни ҳосилдор ерларга айлантириш учун суғориш иншоотлари кўпайтирилиши керак. Шунинг учун йирик сув омборлари, каналлар, сув тиндиргичлар қурилиши ҳозирги вақтда жуда авж олиб кетди. Бундай иншоотларни қуриш учун гидравлика ва гидротехниканинг ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш зарур.

Ҳозирги вақтда техниканинг энергияга бўлган талаби ошиб бормоқда. Ёқилғи запаслари чекланганлиги учун кўплаб гидроэлектр станциялар қурилишига аҳамият берилмоқда. «[illegible] и

иктисодий ва социал ривожлантиришнинг 1986—1990 йилларга ва 2000 йилгача бўлган даврга мўлжалланган асосий йўналишлари»да кўрсатилишича, электр энергияни 1990 йилда 1840—1880 миллиард кВт-соатга етказиш планлаштирилган.

4- §. Партия ва ҳукуматимизнинг халқ хўжалигини ривожлантириш тўғрисидаги карорлари асосида гидромашинасозликнинг вазифалари

Марказий Комитети 1984 йил октябрь Пленумининг «Мамлакат озиқ-овқат фондини муттасил ошириб бориш мақсадида узоқ муддатли мелиорация программаси. Мелиорация қилинган ерлардан фойдаланиш самарадорлигини ошириш тўғрисида» ги қарорида «...ишлаб чиқилган программага қатъий мувофиқ равишда юқори сифатли ва пухта машиналар, материаллар ҳамда асбоб-ускуналар етказиб беришни таъминлансин, бирмунча мукаммал, серунум ва тежамли ер қазиш ҳамда мелиорация машина-механизмларини, приборларни, сув хўжалиги иншоотларини автоматлаш ва телемеханизациялаш воситаларини, мелиорация системаларини ремонт қилиш ва ишлатиш учун махсус мўлжалланган машиналар ҳамда ускуналарни яратиш соҳасидаги ишлар кучайтирилсин»[1] дейилади.

Гидромашиналарни ривожлантириш истиқболлари юқорида айтилган миқёсда қуйидагиларни ўз ичига олади:

— янада қувватлироқ ва фойдали иш коэффициенти юқорироқ насослар, турбиналар ва гидроузатмалар яратиш ҳамда уларни амалда жорий қилиш;

— гидромашиналар ва гидротехник иншоотларни лойиҳалашда ҳозирги замон ҳисоблаш усуллари ва ЭҲМ лардан кўпроқ фойдаланиш. Машиналарни бошқаришда автоматик бошқариш системаларидан фойдаланиш;

— гидроузатмаларда ишлатиладиган иш суюқликларининг арзонроқ ва сифатлироқ турларини, иш суюқликларининг тирқишлардан сизишини камайтириш йўлларини топиш;

— баъзи шароитларда машиналарнинг мойлаш системаларини такомиллаштириш ва уни асосий қурилмадан ажратиш;

— гидромуфталарда иссиқликдан ҳимоялаш воситаларини такомиллаштириш ва уларнинг янги конструкцияларини яратиш;

— пневмоузатмаларда сиқилган ҳаво тайёрлаб берувчи қисмларни ва пневмосистемалардаги тирқишларни беркитувчи бўлинмаларни яхшилаш ва ҳоказо.

---

[1] КПСС Марказий Комитети Пленумининг материаллари. 1984 йил 23 октябрь. „Ўзбекистон", 1984

5-§. Суюқликлар тўғрисида асосий тушунчалар

Жуда кичик кучлар таъсирида ўз шаклини ўзгартирувчи физик жисмлар *суюқликлар* деб аталади. Суюқликлар қаттиқ жисмлардан ўз заррачаларининг жуда ҳаракатчанлиги билан фарқ қилади ва оқувчанлик хусусиятига эга бўлади.

Гидравликада суюқликлар икки группага бўлинади: *томчиланувчи* ва *газсимон* суюқликлар. Суюқлик деганда томчиланувчи суюқлик тушунилади. Уларга сув, спирт, нефть, симоб, турли мойлар ва бошқалар киради. Томчиланувчи суюқликлар бир қанча хусусиятга эга: 1) ҳажми босим таъсирида жуда кам ўзгаради; 2) температура ўзгариши билан ҳажми ўзгаради; 3) чўзувчи кучларга деярлик қаршилик кўрсатмайди; 4) сиртида молекулалараро қовушоқлик кучи юзага келади ва у сирт таранглик кучини вужудга келтиради. Томчиланувчи суюқликларнинг бошқа хусусиятлари тўғрисида кейинчалик тўхталиб ўтамиз.

Газлар томчиланувчи суюқликларга нисбатан тез ҳаракатланувчи заррачалардан иборат бўлиб, уларнинг ҳажми босим ва температура таъсирида тезроқ ўзгаради. Уларда чўзувчи кучга кўрсатиладиган қаршилик ва қовушоқлик кучи томчиланувчи суюқликларга нисбатан кичик. Газлар газ динамикаси, термодинамика ва аэродинамика фанларида ўрганилади.

Гидравлика курси асосан томчиланувчи суюқликлар билан шуғулланади. Шунинг учун томчиланувчи суюқликларни тўғридан-тўғри суюқлик деб атаймиз.

Суюқликлар туташ жисмлар қаторига киради ва мувозанат ҳамда ҳаракат вақтида доимо қаттиқ жисмлар: суюқлик солинган идиш туби ва деворлари, труба ҳамда каналларнинг деворлари ва бошқалар билан чегараланган бўлади. Суюқликлар газлар (ҳаво) билан маълум чегара бўйича ажралиши мумкин. Бу чегара эркин сирт деб аталади.

Суюқликлар силжитувчи кучларга сезиларли қаршилик кўрсатади ва ички кучлар сифатида намоён бўлади. Бу кучларни аниқлаш суюқликларнинг ҳаракатини текширишда муҳим аҳамиятга эга.

6-§. Суюқликларнинг физик хоссалари. Бу хоссаларнинг температура ва босимга боғлиқлиги

1. Солиштирма оғирлик. Ҳажм бирлигидаги модда оғирлиги суюқликларнинг солиштирма оғирлиги деб аталади ва грекча γ ҳарфи билан белгиланади. Юқорида айтилган таърифга асосан:

$$\gamma = \frac{G}{V}, \tag{1.1}$$

бу ерда V — суюқлик ҳажми; G — оғирлиги.

Солиштирма оғирликнинг ўлчов бирлиги СИ системасида:

$$[\gamma] = \frac{G}{V} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^3},$$

техник системада эса кГ/м³ булиб, улар узаро қуйидагича боғланган:

$$1\ кг/м^3 = 9{,}80665\ Н/м^3$$

Солиштирма оғирлик ҳажми аввалдан маълум булган идишдаги суюқликларнинг оғирлигини улчаш усули билан ёки ареометрлар ёрдами билан аниқланади.

Солиштирма оғирлик босимга ва температурага боғлиқ булиб, улар уртасидаги муносабат идеал газлар учун қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$\frac{p}{\gamma} = RT, \tag{1.2}$$

бу ерда p — босим, T — абсолют температура, R — газ доимийси

$$\left(R_{ҳаво} = 287\ \frac{Ж}{кг\cdot град};\ R_{метан} = 518\ \frac{Ж}{кг\cdot град}\right).$$

Суюқлик солиштирма оғирлигининг 4°C даги сувнинг солиштирма оғирлигига нисбати унинг нисбий солиштирма оғирлиги булади. Масалан, минерал мойнинг нисбий солиштирма оғирлиги 0,9 га тенг:

$$\frac{\gamma_{ммой}}{\gamma_{сув}} = 0{,}9; \qquad \gamma_{ммой} = \gamma_{сув}\cdot 0{,}9.$$

2. Солиштирма ҳажм. Суюқликнинг оғирлик бирлигига тугри келган ҳажми суюқликларнинг солиштирма ҳажми дейилади ва ҳажмни оғирликка булиш йули билан аниқланади:

$$v = \frac{V}{G}. \tag{1.3}$$

(1.1) ва (1.3) формулалардан куриниб турибдики,

$$\gamma\cdot v = 1 \text{ ёки } v = \frac{1}{\gamma}.$$

Солиштирма ҳажмнинг улчов бирлиги СИ системасида:

$$[v] = \frac{[V]}{[G]} = \frac{м^3}{Н}.$$

Солиштирма ҳажм ҳам солиштирма оғирлик каби босим ва температурага боғлиқ:

$$pv = RT. \tag{1.4}$$

3. Зичлик. Суюқликнинг ҳажм бирлигига туғри келган тинч ҳолатдаги массаси суюқликнинг зичлиги деб аталади:

$$\rho = \frac{M}{V}, \tag{1.5}$$

бу ерда M — суюқликнинг массаси.

Зичликнинг улчов бирлиги қуйидагича:

$$[\rho] = \frac{[M]}{[V]} = \frac{Н\cdot с^2}{м^4}$$

Баъзан нисбий зичлик тушунчаси киритилади. Суюқлик зичлигининг сувнинг 4°C температурадаги зичлигига нисбати унинг нисбий зичлиги бўлади. (1.5) ва (1.1) лардан кўриниб турибдики, зичлик билан солиштирма оғирлик ўзаро қуйидагича боғланган:

$$\rho = \frac{\gamma}{g}, \tag{1.6}$$

У ҳолда нисбий зичлик солиштирма оғирлик орқали қуйидагича ифодаланади:

$$\rho_{\text{нисб}} = \frac{M_{\text{суюқ}}}{M_{\text{сув}}} = \frac{G_{\text{суюқ}}}{G_{\text{сув}}} = \gamma_{\text{нисб}} \tag{1.7}$$

Зичлик температурага боғлиқ бўлиб, одатда, темпетатура ортиши билан камаяди. Бу ўзгариш нефть маҳсулотлари учун қуйидаги муносабат орқали ифодаланади

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1+\beta_t\ (t-20)}, \tag{1.8}$$

бу ерда t — температура (бирлиги °C); β_t — ҳажмий кенгайиш температура коэффициенти; ρ_{20} — суюқликнинг 20°C даги зичлиги. Сувнинг зичлиги бу қонундан мустасно бўлиб, унинг зичлиги энг катта қийматига 4°C (аниқроғи 3,98°C) да эга бўлади. Унинг температураси бундан ошса ҳам, камайса ҳам зичлиги камайиб боради.

4. Суюқликларнинг иссиқликдан кенгайиши. Зичлик иссиқлик ўзгариши билан ўзгариб боради. Демак, иссиқлик ўзгариши билан ҳажм ҳам узгаради.

Суюқликларнинг бу хусусиятларидан гидравлик машиналарни ҳисоблашда ва турли масалаларни ҳал қилишда фойдаланилади.

Суюқликларнинг бу хусусиятларидан фойдаланиб, суюқлик термометрлари ва бошқа турли ўлчов асбоблари яратилган.

Суюқликларнинг ҳажмий кенгайишини ифодалаш учун ҳажмий кенгайиш температура коэффициенти деган тушунча киритилиб, у β_t билан белгиланади. Бирлик ҳажмдаги суюқликнинг температураси 1°C га ошгандаги кенгайган миқдорига унинг ҳажмий кенгайиш температура коэффициенти дейилади ва қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$\beta_t = \frac{1}{V}\cdot\frac{\Delta V}{\Delta t}, \tag{1.9}$$

бу ерда $\Delta V = V - V_0$ — қиздирилгандан кейинги ва бошланғич ҳажмлар айирмаси; $\Delta t = t - t_0$ — температуралар айирмаси;

$[\beta_t] = \frac{1}{\text{град}}$; β_t — жуда кичик қиймат бўлиб, у $t = 20$°C да сув учун $\beta_t = 2\cdot10^{-4}\ \frac{1}{\text{град}}$, минерал мойлар учун $\beta_t = 7\cdot10^{-4}\ \frac{1}{\text{град}}$; симоб учун $\beta_t = 18\cdot10^{-5}\ \frac{1}{\text{град}}$ га тенг.

1.1- жадвал. Сувнинг ҳажмий кенгайиш температура коэффициенти

Босим, Мн/м²	t, °C				
	1—10	10—20	40—50	60—70	90—100
0,1	0,000014	0,000150	0,000422	0,000556	0,000719
9,8	0,000043	0,000165	0,000422	0,000548	0,000714
19,6	0,000072	0,000183	0,000426	0,000539	—
49,0	0,000149	0,000236	0,000429	0,000523	0,000661
88,3	0,000229	0,000296	0,000437	0,000512	0,000621

5. Суюқликларнинг сиқилиши. Техникада ва табиатда босим жуда катта бўлган ҳоллар учрайди. Бунда суюқликнинг умумий ҳажми катта булса, ҳажмнинг ўзгариши сезиларлик миқдорга эга булади ва у ҳисобга олинади.

Суюқликларнинг сиқилишини ҳисоблашда *ҳажмий сиқилиш коэффициенти* деган тушунча киритилади ва у β_p билан белгиланади (баъзида β_v билан белгиланади). Босимни бир бирликка оширганда суюқликнинг ҳажм бирлигида камайган миқдори ҳажмий сиқилиш коэффициенти дейилади ва у қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$\beta_p = -\frac{1}{V}\cdot\frac{\Delta V}{\Delta p}, \tag{1.10}$$

Бу ерда $\Delta p = p - p_0$ — ўзгарган ва бошлангич босимлар айирмаси β_p ҳам β_t каби кичик миқдор булиб ($t=20°C$ да сув учун $\beta_p = 4{,}9\ 10^{-4}$ м²/мн, минерал мойлар учун $\beta_p = 6\cdot10^{-4}$ м²/мн), куп ҳолларда ҳисобга олинмайди.

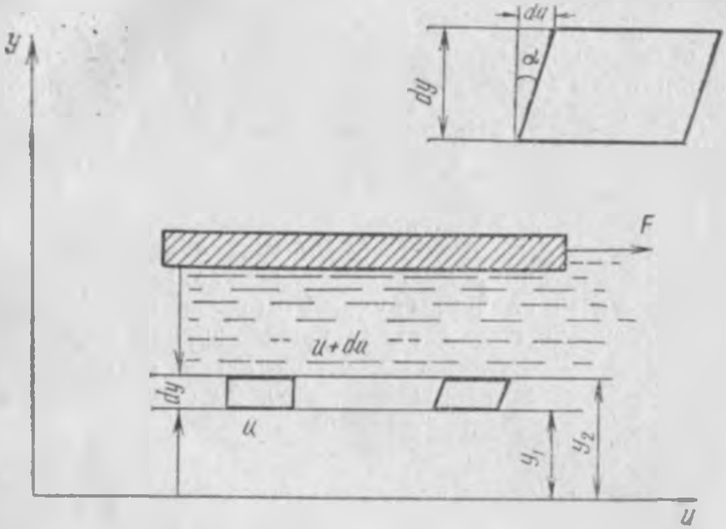
2- жадвал. Сувнинг ҳажмий сиқилиш коэффициенти

t, °C	Босим, МН/м²				
	0,5	1,0	2,0	3,9	7,8
0	0,00000540	0,00000537	0,00000531	0,00000523	0,00000515
5	0,00000529	0,00000523	0,00000518	0,00000508	0,00000493
10	0,00000523	0,00000518	0,00000508	0,00000498	0,00000481
15	0,00000518	0,00000510	0,00000503	0,00000488	0,00000470
20	0,00000515	0,00000505	0,00000495	0,00000481	0,00000460

7- §. Қовушоқлик, суюқликларда ички ишқаланиш ҳақида Ньютон гипотезаси

Қовушоқлик ҳодисаси суюқликлар ҳаракатланаётганда намоён булади ва заррачаларининг ҳаракатланишига қаршилик курсатади. Қовушоқлик қанча юқори булса, бу қаршиликни енгиш учун сарфланадиган куч ҳам шунча катта булади. Қовушоқлик даражаси *қовушоқлик коэффициенти* деб аталувчи катталик билан ифодаланади ва у икки хил булади. Аниқланиш усулига қараб улар *динамик* ва *кинематик* қовушоқлик коэффициентлари деб аталади.

Суюқликни юзаси катта бўлган идишга солиб, унинг юзига бирор пластинка қўйсак ва бу пластинкани маълум бир куч билан торта бошласак, суюқлик заррачалари пластинка сиртига ёпишиши натижасида ҳаракатга келади (1.1- расм). Агар плас-



1.1-расм. Суюқликдаги ички ишқаланиш ҳақидаги Ньютон гипотезасига оид чизма.

тинканинг F куч таъсирида олган тезлиги u бўлса, у билан ёнма-ён турган заррачалар ҳам u тезликка эга бўлади. Суюқликнинг қалинлиги бўйича бир қанча юпқа қатламлар бор деб фараз қилсак, ҳар бир қатламда заррачалар тезлиги ҳар хил бўлиб, у пластинкадан пастки деворга томон камайиб боради. Ҳаракат ихтиёрий қатламга унинг устида жойлашган бошқа қатлам заррачалари орқали берилади. Бу ҳаракат суюқлик қатламларининг деформацияланишига олиб келади.

Агар суюқлик ичида пастки сирти идишнинг асосидан y_1 масофада, устки сирти эса y_2 масофада бўлган суюқлик қатламини кўз олдимизга келтирсак, юқорида айтилган сабабларга кўра унинг пастки сиртида тезлик u_1 юқори сиртида эса u_2 бўлади. Шундай қилиб, олинган қатламнинг қалинлиги Δy бўйича суюқлик тезлиги $u_2 - u_1 = \Delta u$ миқдорга ўзгаради (яъни қатламнинг юқориги сирти пастки сиртига нисбатан силжийди ва қатлам 1.1- расмда кўрсатилганидек деформацияланади). Силжиш бурчагини α деб белгиласак, силжиш катталиги $tg\alpha = \frac{\Delta u}{\Delta y}$ бўлади. Қатлам қалинлигини чексиз кичрайтириб, дифференциал белгилашга ўтсак, у ҳолда юқоридаги нисбат тезлик градиенти $\frac{du}{dy}$ ни беради.

Суюқлик сиртидаги пластинкага қуйилган куч қанча катта бўлса, силжиш шунча кўп бўлади. Бу эса қўйилган куч билан тезлик градиенти орасидаги боғланишни кўрсатади. Шундай қилиб, суюқликлардаги ички ишқаланиш кучи тезлик градиентига боғлиқ.

1686 йили И. Ньютон ана шу боғланишни чизиқли боғланишдан иборат деган гипотезани олдинга сурди. Бу гипотезага асосан, суюқликнинг икки ҳаракатланувчи қатламлари орасидаги ишқаланиш кучи F қатламларнинг тегиб турган сирти S га ва тезлик градиенти $\frac{du}{dy}$ га пропорционал, яъни

$$F = \pm \mu \cdot S \frac{du}{dy}. \qquad (1.11)$$

Пропорционаллик коэффициенти μ динамик қовушоқлик коэффициенти деб қабул қилинган. Ҳисоблаш ишларини осонлаштириш учун ишқаланиш кучининг бирлик юзага тўғри келган катталигига ёки гидравликада уринма зўриқиш (ишқаланиш кучидан ҳосил бўлган зўриқиш) деб аталган катталикка ўтиш зарур бўлади. Бу катталик грекча τ ҳарфи билан белгиланади:

$$\tau = \frac{F}{S} = \pm \mu \frac{du}{dy}, \qquad (1.12)$$

бундан мусбат ва манфий ишора тезлик градиентининг йўналишига қараб танланади.

(1.12) формуладан кўринадики, ишқаланиш кучидан ҳосил бўлган зўриқиш тезлик градиенти (ёки тезликнинг нормал ҳосиласи) га тўғри пропорционалдир. Қовушоқлик коэффициентининг бирлиги СИ системасида қуйидагича бўлади:

$$[\mu] = \frac{[t]}{\frac{du}{dy}} = \frac{Нс}{м^2}$$

СГС системасида эса $\frac{дина.\ с}{см^2}$ билан ўлчанади.

Гидравликада кўпчилик ҳисоблаш ишларида μ нинг ρ га нисбати билан ифодаланувчи ва кинематик қовушоқлик коэффициенти деб аталувчи катталикдан фойдаланиш қулайдир. Бу миқдор грекча ν ҳарфи билан белгиланади:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \qquad (1.13)$$

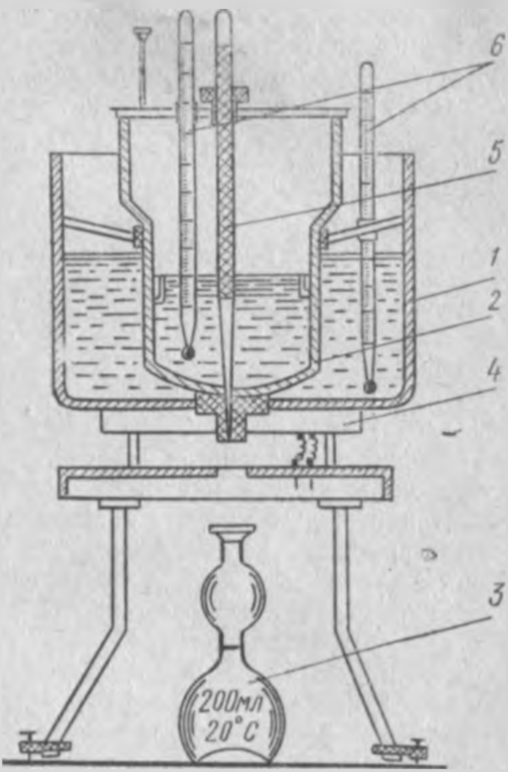
ν нинг СИ даги бирлиги $\frac{м^2}{с}$, СГС системасида $\frac{см^2}{с}$ билан ифодаланади.

8- §. Қовушоқликни аниқлаш усуллари

Қовушоқлик коэффициентини аниқлаш учун вискозиметр деб аталувчи асбобдан фойдаланилади. Қовушоқлиги сувга нисбатан катта бўлган суюқликлар учун Энглер вискозиметри ишлатилади

(1.2- расм). У бирининг ичига иккинчиси жойлашган иккита идишдан иборат бўлиб, улар орасидаги бўшлиқ сув билан тўлдирилган. Ички идишнинг сферик тубига диаметри 3 мм бўлган найча кавшарланган бўлиб, у тиқин билан беркитилган бўлади.

Ички идишга текширилаётган суюқлик қуйилиб, унинг температураси икки идиш оралиғидаги сувни иситиш йўли билан керакли температурага етказилади. Текширилаётган суюқлик температураси термометр ёрдамида ўлчаб турилади. Суюқлик зарур температура t^1 гача исиганидан сўнг тиқин олинади. 200 см³ суюқлик оқиб тушган вақт T секундомер билан белгиланади. Худди шундай тажриба $t = 20°C$ да дистилланган сув билан ҳам ўтказилади. Текширилаётган суюқликнинг ва $t = 20°C$ да дистилланган сувнинг оқиб чиққан вақтларининг нисбати қовушоқликнинг шартли градуслари ёки Энглер градусларини билдиради:



1. 2-расм Энглер вискозиметрининг схемаси:

1—ташқи идиш, 2—ички идиш, 3—ўлчов идиши, 4—иситкич, 5—тиқин, 6—термометрлар.

$$°E = \frac{T_{суюқ}}{T_{сув}}$$

Энглер градусидан $\frac{м^2}{с}$ га ўтиш учун Уббелоденинг эмпирик формуласидан фойдаланилади.

$$\nu = \left(0{,}0731\ °E - \frac{0{,}0631}{°E}\right) 10^{-4}\ м^2/с. \quad (1.14)$$

Қовушоқни аниқлаш учун капилляр вискозиметр, ротацион вискозиметр, стокс вискозиметри ва бошқа турли вискозиметрлардан ҳам фойдаланиш мумкин.

Қовушоқлик суюқликларнинг турига, температурасига ва босимига боғлиқ. Жадвалларда ҳар хил суюқликларнинг қовушоқлик коэффициентлари келтирилган. Температура ортиши билан томчиланувчи суюқликларнинг қовушоқлиги камаяди, газларники

эса ортади. Суюқликлар қовушоқлигининг температурага боғлиқлиги умумий тенглама билан ифодаланмайди. Лекин кўпинча қуйидаги формулалардан фойдаланилади:

ҳаво учун:

$$\nu_t = (0{,}0132 + 0{,}000918\ t + 0{,}00000066\ t^2)\ 10^{-4},\ \text{м}^2/\text{с} \qquad (1.15)$$

сув учун:

$$\nu_t = \frac{0{,}0177}{(1+0{,}0337+0{,}00022)\ t\cdot 10^{-4}},\ \text{м}^2/\text{с}. \qquad (1.16)$$

Гидроузатмаларда ишлатиладиган турли минерал мойлар учун температура 30°C дан 150°C гача, қовушоқлик $°E_{50}$ 10 гача бўлганда

$$\nu_t = \nu_{50}\left(\frac{50}{t}\right)^n, \qquad (1.17)$$

бу ерда ν_t, ν_{50} — тегишли температурада ва 50°C да кинематик қовушоқлик коэффициенти: t — темпетатура, °C да; n — даража кўрсаткичи, унинг қиймати қуйидаги жадвалда $°E_{50}$ нинг турли қийматлари учун келтирилган.

3- жадвал

$°E_{50}$	1,2	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ν_t	1,39	1,59	1,72	1,79	1,99	2,13	2,24	2,32	2,42	2,49	2,52	2,56

Турли суюқликларнинг қовушоқлиги бошлангич қовушоқлик ва температурага қараб турлича ўзгаради. Кўпинча суюқликларнинг қовушоқлиги босимнинг кўтарилиши билан ортади. Минерал мойларнинг қовушоқлиги босимнинг 0—50 МН/м² чегарасида тахминан чизиқли ўзгаради ва қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$\nu_p = \nu_0\ (1 + \kappa_p p), \qquad (1.18)$$

бу ерда ν_p ва ν_0 — тегишлича босимда ва атмосфера босимида кинематик қовушоқлик коэффициенти; p — қовушоқлик ўлчанган босим, МН/м²; κ_p — тажрибада аниқланган коэффициент, у справочникларда келтирилган (тахминан 0,03 га тенг).

9- §. Идеал суюқлик ва унинг хусусиятлари

Суюқликлар ҳаракатини текширишда, одатда, ҳамма кучларни ҳисобга олишнинг иложи бўлмагани учун, суюқлик мувозанат ҳолатига ёки ҳаракатига таъсири катта бўлган кучлар олинади. Шу усул билан суюқликлар учун идеал ва реал суюқликлар модели тузилади. Ҳозир суюқлик ҳаракатини ифодаловчи умумий тенгламалар жуда мураккаб бўлиб, уларни ечишда юқорида айтилган соддалаштиришдан фойдаланилади. Бу соддалаштиришлар эса суюқликларнинг физик хоссаларини чегара-

ланган ҳолатда тасвирлайди ва бундай суюқликларга *идеал суюқликлар* дейилади. Идеал суюқликлар абсолют сиқилмайдиган, иссиқликдан ҳажми ўзгармайдиган, чўзувчи ва силжитувчи кучларга қаршилик кўрсатмайдиган, абстракт тушунчадаги суюқликлардир. Реал суюқликларда ҳам юқорида айтилган хоссалар мавжуд бўлиб, лекин сиқилиши, иссиқликдан кенгайиши ва ҳажмий ўзгариши жуда кичик қийматга эга. Шунинг учун бу соддалаштиришлар ҳисоблашда унчалик кўп хато бермайди. Идеал суюқликларнинг реал суюқликлардан катта фарқ қилишига сабаб силжитувчи кучга қаршилик кўрсатиш хоссаси, яъни ички ишқаланиш кучи бўлиб, унинг бу хусусияти қовушоқлик тушунчасида ифодаланади. Шунга асосан идеал суюқликларни ноқовушоқ, реал суюқликларни эса қовушоқ суюқликлар дейилади.

2- боб. **ГИДРОСТАТИКА АСОСЛАРИ**

Гидростатика — гидравликанинг суюқликлар мувозанат қонунларини ўрганадиган бўлимидир. Бу қонунларни ўрганиш суюқликлар орқали кучларни узатиш билан боғлиқ масалаларни ҳал қилишда муҳим аҳамиятга эга, бундан ташқари, гидростатика суюқликларга тўлиқ ёки қисман ботирилган қаттиқ жисмларнинг мувозанат қонунларини ҳам ўрганади.

Одатда, суюқликлар мувозанат ҳолатида бўлганда, унинг айрим бўлакларига бўлган таъсири ҳамда суюқлик сақланаётган идиш деворларига ва суюқликка ботирилган жисмга таъсири босим орқали ифодаланади.

10- §. Тинч турган суюқликка таъсир этувчи кучлар

Суюқликларга таъсир қилувчи кучлар қўйилиш усулига қараб ички ва ташқи кучларга бўлинади.

Ички кучлар — суюқлик заррачаларининг ўзаро таъсири натижасида вужудга келади.

Ташқи кучлар — суюқликка бошқа жисмларнинг таъсирини ифодалайди (масалан, суюқлик солинган идиш деворларининг таъсири, очиқ юзага таъсир қилаётган ҳаво босими ва ҳоказо). Ички кучлар силжитувчи кучларга кўрсатиладиган қаршилик сифатида намоён бўлади ва *ички ишқаланиш кучи* деб аталади. Ташқи кучларни юза бўйича таъсир қилувчи кучлар сифатида кўриш мумкин. Шунинг учун суюқликларга таъсир қилувчи кучлар сирт бўйича ёки ҳажм бўйича таъсир қилишига қараб сирт кучларга ва масса кучларга бўлинади.

Сирт кучлар — кўрилаётган суюқликнинг сиртига таъсир қилувчи кучлардир. Уларга босим кучи, сирт таранглик кучи, ички ишқаланиш кучи ва суюқлик солинган идиш деворининг реакция кучлари киради. Ички ишқаланиш кучи суюқлик ҳаракат қилган вақтда ҳосил бўлади ва қовушоқлик хусусиятини юзага келтиради (7- § га қаранг).

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИП и ...
№ V15196

Масса кучлар — кўрилаётган суюқликнинг ҳар бир заррасига таъсир қилади ва унинг массасига пропорционал бўлади. Уларга оғирлик кучлари ва инерция кучлари киради.

Гидравликада масса кучлар, одатда, массанинг ҳажмга нисбатини ифодаловчи, бирлик массага таъсир қилувчи кучлар сифатида ифодаланади.

11-§. Гидростатик босим ва унинг хоссалари

Суюқликларга таъсир қилувчи асосий кучлардан бири гидростатик *босимдир* (2. 1-расм). Бу ерда мувозанат ҳолатидаги суюқликнинг ихтиёрий ҳажми ифодаланган. Бу ҳажм ичида ихтиёрий A нуқтани олиб, ундан BC текислигини ўтказамиз. Натижада ҳажм икки қисмга ажралади. BC сиртда A нуқта атрофида бирор S юза ажратамиз. Ҳажмнинг I қисми орқали унинг II қисмига BC бўйича босим кучи берилади. Бу кучнинг S юзага таъсир қилган қисмини P билан белгилаймиз.

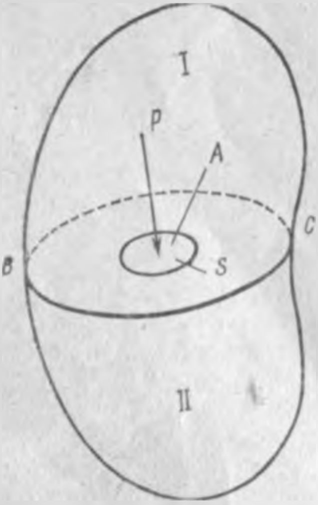
Қаралаётган S юзага таъсир қилувчи P куч *гидростатик босим кучи* ёки қисқача *гидростатик куч* деб аталади.

P куч иккала қисмга нисбатан ташқи куч, бутун ҳажмга нисбатан эса ички куч ҳисобланади. P кучнинг S юзага нисбати ўртача *гидростатик босим* деб аталади:

$$p_{\text{ўрт}} = \frac{P}{S} . \tag{2.1}$$

Агар S юзани кичрайтириб бориб нольга интилтирсак ($S \to 0$) $p_{\text{ўрт}}$ бирор чегара қийматга интилади:

$$p = \lim_{s \to 0} \frac{P}{S} . \tag{2.2}$$



2. 1-расм. Гидростатик босимни тушунтиришга оид чизма.

Бу қиймат A нуқтага таъсир қилаётган босимдан иборат бўлади ва у *гидростатик босим* деб аталади. Гидростатик босим Н/м² билан ўлчанади. Умумий ҳолда гидростатик босим p ўртача гидростатик босим $p_{\text{ўрт}}$ га тенг эмас. Улар бир-биридан кичик миқдорга фарқ қилади.

Тинч турган суюқликдаги босим (яъни гидростатик босим) иккита асосий хоссага эга; биринчи хосса — гидростатик босим ўзи таъсир қилаётган юзага нормаль бўйича йўналади. Бу хоссанинг тўғри эканлигини исботлаш учун гидростатик босим p ўзи таъсир қилаётган юзага нормаль бўйича йўналмаган деб фараз қиламиз. Бу ҳолда p нормаль ва уринма йўналишларда проекцияларга эга бўлади. Уринма йўналишидаги проекция I ва II қисм-

ларнинг бир-бирига нисбатан силжишига олиб келади. Суюқлик мувозанатда булгани учун бу ҳолнинг юз бериши мумкин эмас. Бундан p нормаль буйича йуналмаган деган фикр нотўғри эканлиги келиб чиқади.

Иккинчи хосса—гидростатик босим. У таъсир қилаётган нуқтада ҳамма йуналишлар буйича бир хил қийматга эга. Бу хоссани ҳам исботлаш мумкин.

Бу ерда исботни келтирмаймиз, уни бошқа дарсликлардан куриш мумкин.

12-§. Босимни ўлчаш учун техникада ишлатиладиган турли бирликлар

Босимни ўлчаш учун техникада қуйидаги бирликлардан фойдаланилади:

1. Куч бирликларининг юза бирликларига нисбати билан, масалан:

$$\frac{Н}{м^2}; \quad \frac{кГ}{м^2}; \quad \frac{кГ}{см^2}; \quad Па \ (Паскаль) = \frac{Н}{м^2}.$$

2. Суюқлик устунининг баландликлари билан, масалан: мм сув устуни, мм симоб устуни.

3. Кучнинг бирор миқдорининг юза бирликлари маълум миқдорига нисбати, ёки суюқлик устунининг маълум сонлари билан ўлчанади, масалан, техник атмосфера билан ўлчанганда кучнинг $10{,}2 = 10^{-6}$ Н миқдорини, юзанинг бир см² ига нисбати ($1ат = 10{,}2\cdot10^{-6}\frac{Н}{см^2}$) ёки симоб устунининг 760 мм баландлик миқдори босим бирлиги ҳисобланади ва қуйидагича белгиланади: техник атмосфера—ат; физик атмосфера—атм, бар.

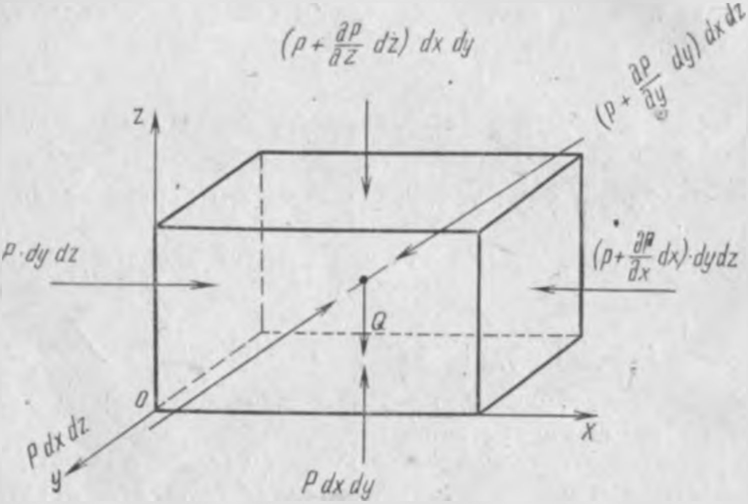
Юқорида айтилган бирликларнинг биридан иккинчисига ўтиш учун 2.1-жадвалдан фойдаланиш мумкин:

2.1-жадвал. **Босимнинг турли ўлчов бирликлари орасидаги нисбат**

Бирликлар	Па	Бар	кгк/см²	мм симоб устуни	мм сув устуни
1 Па	1	10^{-5}	$1{,}02\cdot10^{-5}$	$7{,}5024\cdot10^{-3}$	0,102
1 Бар	10^5	1	1,02	7,5024·10[illegible]	$1{,}02\cdot10^4$
1 кгк/см²	$9{,}8067\cdot10^4$	0,98067	1	735	10^4
1 мм симоб устуни	133	$1{,}33\cdot10^3$	$1{,}36\cdot10^3$	1	13,6
1 мм сув устуни	9,8067	$9{,}8067\cdot10^5$	10^{-4}	$7{,}35\cdot10^{-2}$	1

13-§. Суюқликлар мувозанатининг дифференциал тенгламаси

Мувозанат ҳолатдаги суюқликларга босим ва оғирлик кучлари таъсир қилади. Босим суюқлик эгаллаган ҳажмнинг ҳар хил нуқтасида ҳар хил қийматга эга, шунинг учун босимни x, y, z



2. 2-расм. Мувозанат дифференциал тенгламасини тушунтиришга оид чизма.

координаталарнинг функцияси деб қараш керак. Кўрилаётган суюқликда томонлари dx, dy, dz бўлган параллелопипедга тенг элементар ҳажм ажратиб оламиз (2.2-расм). Энди суюқликка таъсир қилувчи кучларнинг мувозанат ҳолатини текширамиз. Оғирлик кучининг проекциялари: ρXdV, ρYdV, ρZdV бўлсин, яъни

$$G=\{\rho XdV;\ \rho YdV;\ \rho ZdV\}.$$

Ox ўқи йўналишида элементар ҳажмнинг yOz текисликда ётган сиртига p га тенг, унга параллел бўлган сиртига $p+\frac{\partial p}{\partial x}dx$ га тенг босимлар таъсир қилади.

Бу сиртларга таъсир қилувчи босим кучлари эса ўзаро $pdy\cdot dz$ ва $(p+\frac{\partial p}{\partial x}dx)\,dy\cdot dz$ га тенг. Олинган элементар ҳажм Ox ўқи бўйича мувозанатда бўлиши учун, шу ўқ бўйича йўналган кучлар йиғиндиси нолга тенг бўлиши керак, яъни

$$pdy\cdot dz-(p+\frac{\partial p}{\partial x}\cdot dx)dy.\ dz+\rho Xdx\ dy\ dz=0$$

Худди шунингдек $0y$ ўқи бўйича $x0z$ текисликда ётувчи сиртга $pdx \cdot dz$, унга параллел бўлган сиртга эса

$$(p + \frac{\partial p}{\partial y} dy) \cdot dx \cdot dz$$

кучлар таъсир қилади.

Шунинг учун элементар ҳажмнинг $0y$ ўқи бўйича мувозанат шарти қуйидагича бўлади:

$$pdx \cdot dz - (p + \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dy)\, dx \cdot dz + \rho Y dx \cdot dy \cdot dz = 0.$$

Шунингдек $0z$ ўқи бўйича

$$pdx \cdot dy \text{ ва } (p + \frac{\partial p}{\partial z} \cdot dz)\, dx \cdot dy$$

куч таъсир қилади ва унинг мувозанат шарти қуйидагича бўлади:

$$pdx \cdot dy - (p + \frac{\partial p}{\partial y} dz)\, dx \cdot dy + \rho \cdot Z dx \cdot dy \cdot dz = 0.$$

Ўхшаш миқдорларни қисқартириб ва қолган ҳадни dx, dy, dz га бўлиб, қуйидаги тенгламалар системасини оламиз:

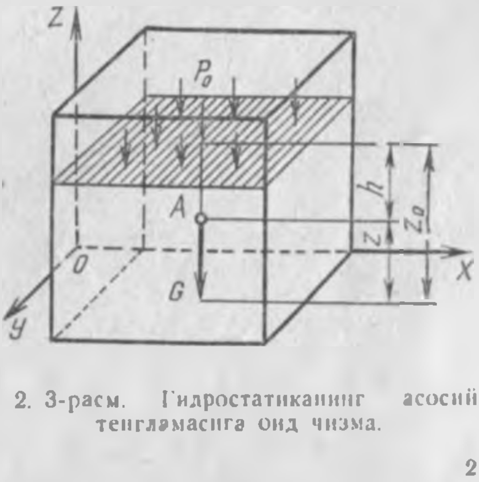
$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho X; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = \rho Y; \quad \frac{\partial p}{\partial z} = \rho Z. \qquad (2.3)$$

Бу тенгламалар системасидан кўриниб турибдики, гидростатик босимнинг бирор координата ўқидаги ўзгариши зичлик билан бирлик оғирлик кучининг шу ўқ йўналишидаги проекцияси кўпайтмасига тенг экан, яъни мувозанатдаги суюқликларда босимнинг ўзгариши масса кучларига боғлиқ. (2. 3) тенгламалар системаси суюқликлар мувозанат ҳолатининг умумий дифференциал тенгламасидир. Бу тенгламани 1755 йилда Л. Эйлер чиқарган.

14- §. Гидростатиканинг асосий тенгламаси

Тинч турган идишдаги суюқликни қараймиз. Бу суюқликка оғирлик кучи таъсир этади. Координата ўқларини шундай йўналтирамизки, $0z$ ўқи вертикал юқорига йўналган бўлсин (2. 3- расм).

Қурилаётган идиш ичида бирор $x0y$ текисликдан z масофада, эркин сиртдан эса h масофада жойлашган бирор A нуқтани оламиз. У ҳолда бирлик масса кучларининг бу координата системасидаги проекциялари қуйидагича бўлади: $X = 0$, $Y = 0$, $Z = -g$.



2. 3-расм. Гидростатиканинг асосий тенгламасига оид чизма.

Гидростатик босим p, суюқликнинг эркин сиртидаги босим p_0, эркин сирт xOy текислигидан z_0 масофада жойлашган булсин. Бу ҳолда Эйлер тенгламаси (2.3) қуйидагича ёзилади:

$$\frac{dp}{dx} = 0; \qquad \frac{dp}{dy} = 0; \qquad \frac{dp}{dz} = -\rho \cdot g.$$

Бу тенгламалардан босимнинг Ox ва Oy координаталарига боғлиқ эмаслиги келиб чиқади. У ҳолда қуйидагини ёзамиз:

$$dp = -\rho \cdot g dz.$$

Охирги тенгламани эркин сиртдан A нуқтагача булган оралиқ учун интеграллаймиз ва қуйидаги тенгламани чиқарамиз:

$$p - p_0 = -\rho \cdot g(z - z_0).$$

$z_0 - z$ нинг қиймати h га тенг булгани учун, сунгги тенглама қуйидагича ёзилади:

$$p = p_0 + \rho g h \text{ ёки } p = p_0 + \gamma \cdot h. \qquad (2.4)$$

Бу гидростатиканинг асосий тенгламаси деб аталади ва у суюқликнинг ихтиёрий нуқтасидаги босимни суюқлик турига қараб ва олинган нуқтанинг эркин сиртдан қандай масофада эканлигига қараб аниқланади. Гидростатиканинг асосий тенгламаси қуйидаги қонуниятни ифодалайди: суюқлик ичидаги ихтиёрий нуқтадаги босим p суюқлик эркин сиртидаги босим p_0 билан шу нуқтадаги суюқлик устуни босими $\gamma \cdot h$ нинг йиғиндисига тенг.

15- §. Босими тенг сиртлар. Эркин сирт

Эйлер тенгламаларини интеграллашда уларни қулай шаклга келтириш учун (2.3) нинг ҳар бир тенгламасини dx, dy, dz ларга тегишлича купайтирамиз ва уларни ҳадма-ҳад қушиб чиқамиз:

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \rho(X dx + Y dy + Z dz).$$

Бу тенгламанинг чап томони босимнинг тулиқ дифференциалини беради, шунинг учун:

$$dp = \rho(X dx + Y dy + Z dz). \qquad (2.5)$$

Ҳосил булган тенглама босим суюқлик турига ва фазонинг нуқталари координаталарига боғлиқлигини курсатади ва босимнинг ихтиёрий нуқтадаги қийматини топишга ёрдам беради. Бу тенглама томчиланувчи суюқликлар учун ҳам, газлар учун ҳам уринли булиб, газлар учун татбиқ қилинганда газнинг ҳолат тенгламалари билан биргаликда ишлатилади. (2.5) дан ҳамма нуқталарида босим бир хил булган сиртни топиш мумкин. Бундай сиртлар босими тенг сиртлар деб аталади. Бунда $p = \text{const}$ булгани учун $dp = 0$ булади, ρ эса нолга тенг булиши мумкин эмас. Шунинг учун босими тенг сиртлар тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$X dx + Y dy + Z dz = 0. \qquad (2.6)$$

Босими тенг сиртлар хусусий ҳолда суюқликнинг эркин сирти бўлиши мумкин. Суюқликнинг девор билан чегараланмаган сирти *эркин сирт* деб аталади. Масалан, идишда газ ва суюқлик бирга сақланган бўлса, у ҳолда суюқликнинг юқори сирти жисм деворига тегмай, газ билан чегараланган бўлади. Хусусий ҳолда очиқ идишдаги суюқликнинг юқори сирти ҳаво билан чегараланган бўлиб, эркин сиртни ташкил қилади (2.3- расм). Босими тенг сиртлар ва эркин сиртлар учун мисоллар сифатида оғирлик кучи таъсирида идишда тинч турган ҳамда текис тезланувчан ҳаракат қилаётган ва айланма ҳаракат қилаётган идишлардаги суюқликни кўрсатиш мумкин.

16- §. Оғирлик кучи таъсирида тинч турган суюқликлар

Биз юқорида Эйлер тенгламаси (2.3) ни (2.5) кўринишига келтирдик. Бу кўринишда уни интеграллаш ва босими тенг сиртларни топиш осон бўлади. Идишда тинч турган суюқликка фақат оғирлик кучи таъсир қилади. Бу ҳолда (2.3- расм) бирлик масса кучларининг проекциялари:

$$X = 0; \quad Y = 0; \quad Z = -g$$

бўлади. Бу қийматларни (2.5) га қўйсак:

$$gdz = 0$$

га эга бўламиз. Уни интегралласак:

$$gz = \text{const}$$

бўлади. Бу эса горизонтал текисликнинг тенгламасидир.

Шундай қилиб, тинч турган суюқликлар учун ҳар қандай горизонтал текислик босими тенг сиртдан иборат. Унинг ҳаво билан чегараланган сирти ҳам горизонтал бўлиб, у эркин сирт бўлади. Эркин сиртда босим p_0 эканлигини ҳисобга олсак (2.3), гидростатиканинг асосий тенгламаси (2.4) келиб чиқади:

$$p = \gamma \cdot h + p_0$$

17- §. Суюқликларда босимнинг узатилиши. Паскаль қонуни

Суюқлик солинган ва оғзи поршень билан ёпилган идиш оламиз. Суюқлик эркин сиртидаги босим p_0 бўлсин. У ҳолда бирор *A* нуқтадаги абсолют босим

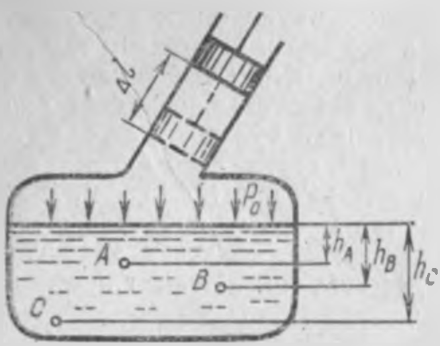
$$p_A = p_0 + \gamma h_A \qquad \text{га,}$$

B ва *C* нуқталарда эса

$$p_B = p_0 + \gamma h_B; \quad p_C = p_0 + \gamma h_C$$

га тенг бўлади.

Агар поршенни Δl масофага (2.4-расм) силжитсак, у ҳолда суюқлик эркин сиртидаги босим Δp га ўзгаради. Суюқликнинг солиштирма оғирлиги босим ўзгариши билан деярлик ўзгармайди. Шунинг учун A, B ва C нуқталардаги босим қуйидагича бўлади:



2. 4-расм. Паскаль қонунига оид чизма.

$$p_A^1 = p_0 + \Delta p + \gamma \cdot h_A,$$
$$p_B = p_0 + \Delta p + \gamma h_B,$$
$$p_C^1 = p_0 + \Delta p + \gamma h_C.$$

Бу ҳолда босимнинг ўзгариши ҳамма нуқталар учун бир хил:

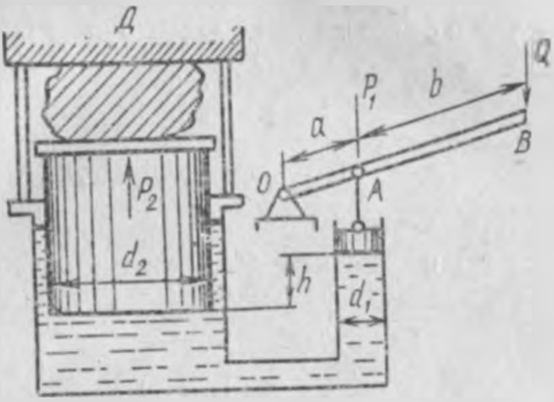
$$p_A^1 - p_A = \Delta p;$$
$$p_B^1 - p_B = \Delta p; \qquad (2.7)$$
$$p_C^1 - p_C = \Delta p.$$

Бундан қуйидагича хулоса келиб чиқади: суюқликка ташқаридан берилган босим суюқликнинг ҳамма нуқталарига бир хил миқдорда тушади (узатилади). Бу Паскаль қонуни сифатида маълум. Купчилик гидромашиналарнинг тузилиши ва ишлаши ана шу қонунга асосланган.

18-§. Паскаль қонунининг техникада қўлланилиши. Гидростатик машиналар

Гидростатиканинг асосий қонунлари асосида ишлайдиган машиналар гидростатик машиналар деб аталади. Уларда босимнинг узатилиш қонуни (Паскаль қонуни) муҳим роль уйнайди. Бу машиналарга гидропресслар, гидроаккумляторлар, домкратлар ва бошқалар киради. Қуйида уларнинг ишлаш принциплари ҳақида қисқача маълумот берилган.

а) Гидропресслар. Гидропресслардан гидростатика қонуни асосида катта кучларни ҳосил қилиш учун фойдаланилади. Бу нарса пресслаш, штамплаш, болғалаш, материалларни синаш ва бошқа ишлар учун зарур. Гидропресслар (2.5-расм) диаметрлари ҳар хил, узаро туташтирилган икки цилиндрдан иборат булиб, биринчи кичик цилиндрда диаметри d_1, катта цилиндрда эса диаметри d_2 га тенг булган икки поршень ҳаракатланади. Кичик поршенга *OAB* ричаг орқали куч қуйилади. Катта поршенга стол урнатилиб, бу стол билан *D* девор орасига пресcланувчи буюм қуйилади. Ричаг қул билан ёки двигатель ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Бу ҳолда кичик поршень куч таъсирида пастга қараб силжийди ва суюқликка босим беради. Бу босим катта цилиндрга узатилади ва натижада катта поршень ҳаракатга келади. Бундай



2. 5-расм. Гидропресснинг схемаси.

ҳаракат стол устидаги буюм D деворга тақалгунча давом этади. Столнинг бундан сунгги кутарилиши натижасида буюм сиқилади ва прессланади.

Айтилган усул жисмларни фақат кўтариш учун керак булса, у ҳолда конструктив схемада D девор булмайди. Бу ҳолда бизнинг машина гидростатик кутаргичга, домкратга айланади. Энди гидропрессларда кучларнинг муносабатини топамиз. OAB ричагнинг B учига Q куч қўйилган булсин, у ҳолда куч моменти учун қуйидаги тенгламани оламиз:

$$Q\cdot(a+b)=P_1\cdot a.$$

Бу тенгламадан кичик поршенга таъсир қилувчи кучни топамиз:

$$P_1=\frac{a+b}{a}\cdot Q.$$

У ҳолда кичик поршень остидаги суюқлик босими қуйидагига тенг булади:

$$p=\frac{P_1}{S_1}=\frac{a+b}{a}\cdot\frac{4Q}{\pi d_1^2}$$

Катта поршень остидаги босим эса

$$p+\gamma\cdot h=\frac{a+b}{a}\cdot\frac{4Q}{\pi d_1^2}+\gamma\cdot h, \qquad (2.8)$$

бу ерда h — поршенлар остки сиртлари орасидаги геометрик масофа.

Натижада катта поршенга таъсир қилувчи куч қуйидагича топилади:

$$P_2=(p+\gamma\cdot h)\cdot S_2=\left(\frac{a+b}{a}\cdot\frac{4Q}{\pi d_1^2}+\gamma\cdot h\right)\frac{\pi d_2^2}{4}. \qquad (2.9)$$

Куп ҳолда гидропрессларда гидростатик босим жуда катта булгани учун $\gamma \cdot h$ ни ҳисобга олмаса ҳам булади, яъни:

$$P_2 = \frac{a+b}{a}\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \cdot Q. \qquad (2.10)$$

Биз келтирган схема соддалаштирилган булиб, ҳақиқий гидропрессларда жуда куп ёрдамчи қисмлар булади. Амалда гидропрессларда суюқликнинг поршень ва цилиндрлар орасидан сизиб утиши, туташтирувчи трубалардаги қаршилик кучи ҳисобига катта поршенга таъсир қилувчи куч юқорида келтирилган назарий ҳисобдан фарқ қилади ва қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$P_2^1 = \frac{a+b}{a}\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \cdot Q \cdot \eta, \qquad (2.11)$$

бу ерда: η — юқорида айтилган хатоликларни ҳисобга олувчи коэффициенти бўлиб, уни фойдали иш коэффициенти деб аталади.

Амалда бу коэффициент қиймати 0,75 билан 0,85 уртасида бўлади. Келтирилган ҳисобдан куриниб турибдики, цилиндрларнинг диаметрлари ва ричагнинг елкасини танлаб олиш йули билан преселовчи кучни истаганча катта қилиш мумкин. Амалда эса жуда катта кучлар ҳосил булганда цилиндрлар девори деформацияланиши ва ҳатто бузилиши мумкин. Бу эса қўшимча қийинчиликлар туғдиради. Ҳозирги вақтда мавжуд гидропрессларда 25000 т гача куч ҳосил қилиш мумкин.

б) Гидроаккумуляторлар. Гидравлик системаларда босим ва суюқлик сарфининг ортиб кетиши ёки камайиш ҳоллари бўлади. Бундай ҳолларда босим ва сарфни нормаллаштириш учун гидроаккумуляторлардан фойдаланилади. Улар суюқлик сарфи ёки босими ортиб кетганда юқори босимдаги суюқликнинг бир қисмини узига олиб, системадаги босим ва сарфни камайтиради, тескари ҳолда эса узидаги суюқликни системага бериш йули билан босимни ва сарфни оширади. Гидроаккумуляторлар гидротормозлар, кутаргичлар, пресслар, чиғирлар ва бошқа гидромашиналарда ишлатилади.

Потенциал энергия қайси усул билан тупланиши ва қайтариб берилишига қараб пневматик, пружинали ва юкли гидроаккумуляторга булинади. Юкли гидроаккумуляторлар цилиндр ва унинг ичида ҳаракатланувчи ва юк ортилган коромислоли плунжердан иборат булиб, цилиндрга гидросистеманинг суюқлик ҳаракат қилувчи қисмлари труба орқали туташтирилган булади. Системада босим ортиб кетса, суюқлик цилиндрга утиб, юкли плунжерни кутаради, босим камайганда эса плунжер пастга тушиб, суюқлик цилиндрдан системага қараб оқади. Натижада босимнинг узгариши текисланади.

2.6- расмда катта босим олиш зарур булганда ишлатиладиган пневматик гидроаккумулятор тасвирланган. У корпус *1* ва диафрагма *2* дан тузилган булиб, штуцер *4* орқали гидросистемага уланган. Штуцер *5* гидроаккумуляторни газ билан тулдириш

учун хизмат қилади. Шайба *3* эса аккумуляторда босим пасайганда газнинг резина диафрагмани корпусга босиб, эзиб қуйишидан сақлайди. Идишга суюқлик штуцер *4* орқали берилганда газ камерасининг ҳажми камаяди. Натижада газнинг босими ошиб кетади.

Диафрагмани ҳаракатга келтирувчи куч:

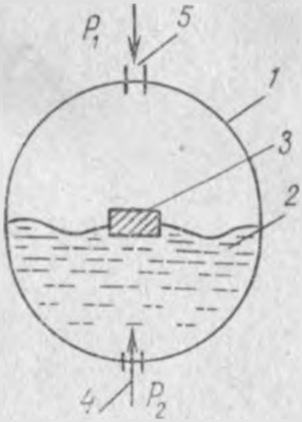
$$F_1 = (p_1 - p_2)\cdot S. \qquad (2.12)$$

Суюқликда ишқаланиш кучи F_2 мавжуд. У ҳолда диафрагмага таъсир этувчи кучдан ҳосил буладиган ҳақиқий босим p қуйидагича аниқланади:

$$p = \frac{(p_1 - p_2)S + F_2}{S}. \qquad (2.13)$$

Бу ҳолда ҳақиқий бажарилган иш

$$A_x = \eta\cdot A_н = \eta\int p\cdot S\cdot dh, \qquad (2.14)$$



2. 6-расм. Пневматик гидроаккумуляторнинг схемаси:

1—корпус, *2*—диафрагма, *3*—шайба, *4*—суюқлик учун штуцер, *5*—газ учун штуцер.

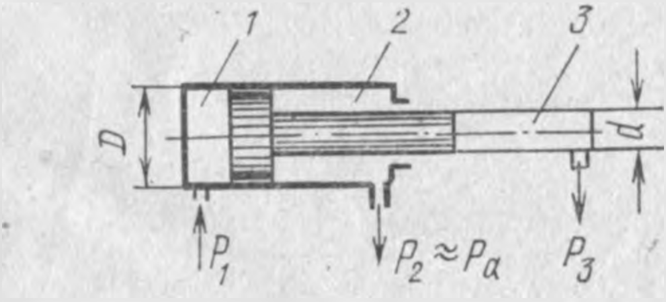
бу ерда η—гидроаккумуляторнинг фойдали иш коэффициенти.

Бу ерда гидросистемадан гидропрессга суюқлик ҳаракатланган вақтда юзага келган қаршиликни ҳисобга олиш мумкин эди.

Бу ҳисоб гидроаккумуляторга суюқлик ўтмагандагина керак. Бошқа ҳамма ҳолларда юқоридаги формула гидроаккумуляторларни ҳисоблаш учун ўринли булади.

в) **Гидромультипликаторлар**. Гидросистемадаги босимни унинг бирор қисмида орттириш учун фойдаланилади. Бу вазифа куп ҳолларда, хусусан, гидроаккумуляторлар босимни етарли таъминламаганда муҳим аҳамиятга эга.

Гидромультипликатор дифференциал цилиндрда ҳаракатланувчи дифференциал поршендан иборат (2.7-расм). *1*-бушлиқ гидросистемага уланган, *2*-бушлиқ ортиқча суюқлик оқиб кетиши



2. 7-расм. Гидромультипликаторнинг схемаси:

1—паст босимли суюқликка туташган бўшлиқ, *2*—атмосфера босимли суюқликка туташган бўшлиқ, *3*—юқори босимли суюқликка туташган бўшлиқ.

учун мулжалланган, *3*-бушлиқ эса суюқликни гидросистеманинг иш бажарувчи органига боғлайди. 2-бушлиқдаги чегирма босимни ҳисобга олмаганда, *3*-бушлиқдаги босим қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

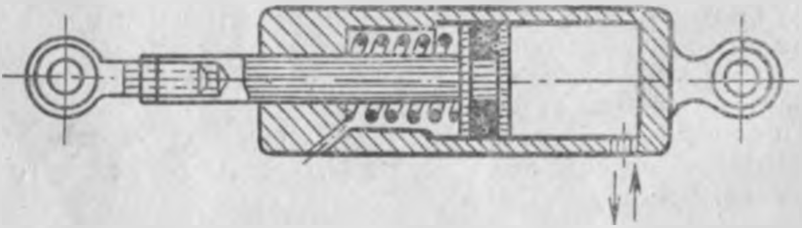
$$p_3 = p_1 \left(\frac{D_1}{d_3}\right)^2 \cdot \eta_2 \cdot \eta_{мех}, \qquad (2.15)$$

бу ерда η_2 — гидравлик қаршиликни ҳисобга олувчи коэффициент; $\eta_{мех}$ — механик қаршиликни ҳисобга олувчи коэффициент.

Гидромултипликаторларнинг сарфи суюқлик сарфининг миқдорига қараб ҳисобга олинади ва улар суюқлик сарфининг кичик қийматларида ишлатилади. Суюқлик сарфининг катта узгаришида бунга қараганда бошқачароқ схемалар ишлатилади.

г) Куч гидродвигателлари. Куч гидродвигателлари ҳажмий гидроузатгич системаси элементларининг булаги булиб, цилиндрда поршень силжиши билан суюқлик потенциал энергиясини механик энергияга айлантириш учун фойдаланилади. Суюқлик поршень билан узатиладиган гидроцилиндрларда энергия манбаи хизматини насос бажаради. Илгариланма-қайтма ва айланма ҳаракатга асосланган куч гидроцилиндрлари поршень принципи буйича ишлайди ва уч турга булинади: бир томонлама куч, икки томонлама куч ва бурилиб ишлайдиган цилиндрлар. Бурилиб ишлайдиган цилиндрлар квадрантлар деб ҳам аталади.

2.8-расмда бир томонлама ишлайдиган куч гидроцилиндрининг схемаси келтирилган. Бунда поршенга суюқликнинг боси-

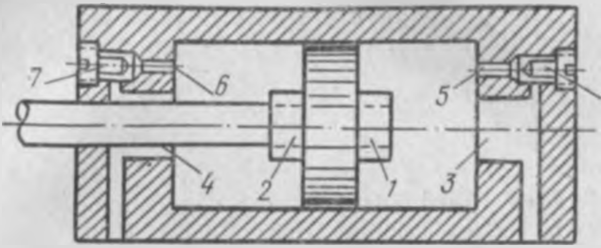


2. 8-расм. Бир томонлама ишлайдиган куч гидроцилиндри

ми фақат бир томондан таъсир қилади. Поршеннинг тескари томонга ҳаракати пружина таъсирида амалга ошади.

2.9-расмда икки томонлама ишлайдиган куч гидроцилиндри схемаси келтирилган. Бунда суюқлик поршенга икки томондан галма-гал таъсир қилади. Поршеннинг шток томонга бир томонлама ҳаракати вақтида цилиндрнинг иккала бушлигида суюқлик бир хил босим таъсирида булади.

Поршеннинг иккинчи томонга ҳаракати вақтида ҳам бу ҳол сақланади. Поршень цилиндрнинг четка қопқоқларига равон ва зарбасиз яқинлашиши учун тирқишлар *3* ва *4* диаметрига мос буртмалар *1* ва *2* урнатилган булиб, улар тирқишларга киришда ҳосил булган зарб таъсирида сиқиб чиқарилаётган суюқлик



2. 9-расм. Икки томонлама ишлайдиган куч гидроцилиндри:
1, 2—демпферловчи бўртмалар, *3, 4*—демпферловчи тирқишлар, *5, 6*—суюқлик чиқиб кетувчи каналлар, *7, 8*—дросселлар.

ҳисобига демпферланади. Цилиндрда қолган суюқлик дросселлар *7* ва *8* билан таъминланган каналлар *5* ва *6* дан чиқиб кетади. Дросселларнинг улчамлари поршеннинг чекка қопқоқларига яқинлашиш шароитига мос равишда ҳисобланган булади.

19-§. Абсолют, ортиқча босимлар ва вакуум

Суюқликдаги ихтиёрий нуқтанинг (гидростатиканинг асосий тенгламаси ёрдамида аниқланадиган) босими p шу нуқтанинг абсолют босими деб аталади. Суюқликнинг эркин сиртидаги босими p_0 эркин сиртдаги абсолют босимдан иборат. γh эса суюқлик устунининг нуқтадаги босимидан иборат. Усти ёпилмаган идишларда, сув сиғимларида суюқликларнинг эркин сиртига таъсир қилувчи босим атмосфера босими деб аталади ва $p_а$ ҳарфи билан белгиланади.

Бу ҳолда абсолют босим (2.4) тенглама орқали қуйидагича аниқланади:

$$p = p_а + \gamma h. \tag{2.16}$$

Агар суюқликдаги бирор нуқтанинг босими атмосфера босимидан катта ($p > p_а$) булса, (2. 16) тенгламанинг охирги ҳади манометрик босим $p_м$ деб аталади:

$$p_м = \gamma \cdot h = p - p_а. \tag{2.17}$$

Манометрик босим абсолют босим билан атмосфера босимининг айирмасига тенг булгани учун уни ортиқча босим деб ҳам аташ мумкин.

Манометрик босим абсолют босимнинг миқдорига қараб ҳар хил қийматга эга булади, масалан: $p = p_а$ булганда $p_м = 0$; $p \to \infty$ булганда $p_м \to \infty$, яъни манометрик босим 0 билан ∞ уртасидаги барча қийматларни қабул қилиши мумкин.

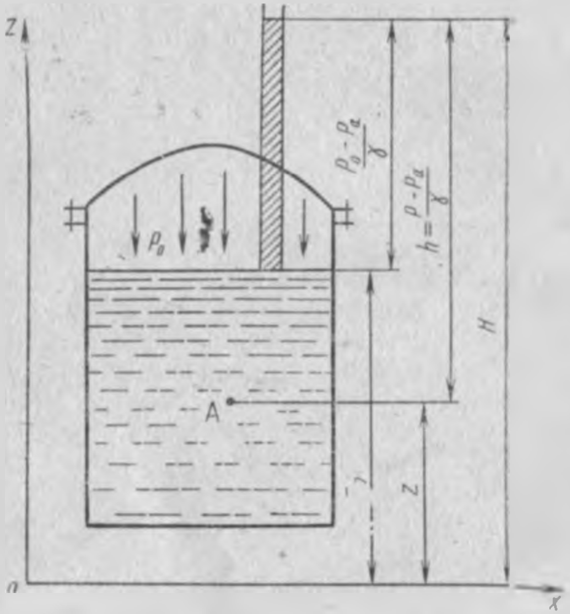
Агар суюқликдаги бирор нуқтанинг абсолют босими атмосфера босимидан кичик ($p < p_а$) булса, уларнинг айирмаси вакуумметрик босим $p_в$ га тенг булади ва суюқликнинг сийракланиш миқдорини белгилайди:

$$p_в = p_а - p. \tag{2.18}$$

Вакуумметрик босим нуқтадаги босимнинг атмосфера босимидан камлигини кўрсатади ва $p = p_a$ да $p_в = 0$; $p = 0$ да $p_в = p_a$. Шундай қилиб, вакуумметрик босим 0 дан p_a гача бўлган қийматда бўла олади.

20-§. Пьезометрик баландлик. Гидростатик босим

Бирор идишга солинган суюқликнинг сиртидаги босим p_0 бўлсин (2.10-расм). Бу ҳолда бирор координаталар системаси танлаб



2. 10-расм. Пьезометрик баландлик ва гидростатик босимни тушунтиришга оид чизма.

олинган бўлса, исталган нуқтадаги босим учун гидростатиканинг асосий тенгламаси (2. 4) дан фойдаланиб, ушбу тенгликни ёзаоламиз:

$$p - p_0 = -\gamma(z - z_0) \qquad (2.19)$$

Бу тенгламани қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$\frac{p}{\gamma} + z = \frac{p_0}{\gamma} + z_0. \qquad (2.20)$$

Тенглама исталган нуқта учун ёзилгани сабабли унинг кўриниши қуйидагича бўлиши мумкин:

$$\frac{p}{\gamma} + z = H = \text{const}, \qquad (2.21)$$

бу ерда $\frac{p}{\gamma}$ — исталган A нуқтадаги босимга тааллуқли суюқлик устунининг баландлиги, у суюқлик сиртида $\frac{p_0}{\gamma}$ га тенг;

z—исталган A нуқтанинг координатаси (у суюқлик сиртида z_0 га тенг).

Сунгги тенгламадан кўринадики, тинч ҳолатдаги суюқлик учун босимга тааллуқли суюқлик устунининг баландлиги билан нуқта координатасининг йиғиндиси ўзгармас миқдор H га тенг экан. Ўзгармас миқдор *H гидростатик босим* деб аталади.

Исталган A нуқтадаги ортиқча босим.

$$p_м = p - p_а = \gamma h.$$

Бу тенгликдан суюқлик устунининг баландлиги ортиқча босимнинг миқдори ёрдамида аниқланади.

$$h = \frac{p - p_а}{\gamma}. \qquad (2.22)$$

Суюқлик устунининг ортиқча босимни кўрсатувчи баландлиги суюқликнинг *пьезометрик баландлиги* деб аталади.

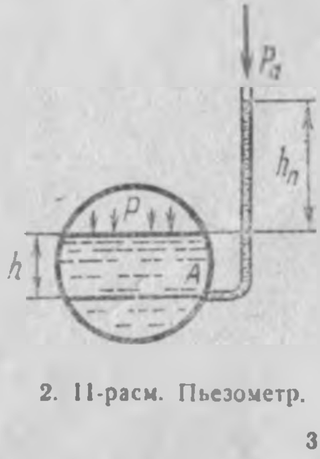
21-§. Босим ўлчаш асбоблари

Босим ўлчаш асбоблари барометрлар деб аталади. Улар атмосфера босимини улчаш учун мулжалланган. Барометрлар атмосфера босимига нисбатан ҳавонинг сийракланишини ўлчайдиган вакуумметрларга ва атмосфера босимидан ортиқ босимни ўлчашга мўлжалланган манометрларга бўлинади.

Манометрлар ишлаш принципига қараб суюқлик ва механик манометрларга бўлинади.

Суюқлик манометрлари қисман сув ёки симоб билан тўлдирилган U-симон найдан ясалади. Найнинг бир учи текширилаётган муҳит билан, иккинчи учи (очиқ қолдирилиб) атмосфера билан туташтирилади. Энг оддий суюқлик манометри пьезометрдир.

а) **Пьезометрлар.** Идишдаги босим унга уланган шиша найчада текширилаётган суюқликнинг кўтарилишига қараб аниқланади (2. 11-расм). Идишдаги босимнинг катта ёки кичиклигига қараб пьезометр (шиша найча) да сувнинг сатҳи $h_п$ баландликка кўтарилади. Текширилаётган A нуқтадаги p_A босим идишнинг эркин сатҳидаги босим билан сув устуни босимининг йиғиндисига тенг. Бу босим пьезометр ёрдамида аниқланганда у гидростатиканинг асосий тенгламаси ёрдамида қуйидагича топилади:



2. 11-расм. Пьезометр.

$$p_A = p_a + \gamma(h + h_n), \qquad (2.23)$$

у ҳолда пьезометрдаги суюқлик эркин сатҳининг баландлиги босим орқали қуйидагича ифодаланади:

$$h + h_n = \frac{p_A - p_a}{\gamma}$$

ва идишдаги ортиқча босимга тўғри келадиган суюқлик устунининг баландлигини кўрсатади. Бундай асбоблар 0,5 ат дан юқори бўлмаган кичик ортиқча босимларни ўлчашда ишлатилади. Ҳақиқатан ҳам 1 ат га тенг бўлган босим 10 м сув устунининг баландлигига тенг. Бундан юқори босимларни ўлчашда жуда узун шиша найчалар ишлатиш зарурати келиб чиқади. Бу эса ноқулайлик туғдиради.

б) **Суюқлик манометрларида** босим симоб устуни ёрдамида ўлчанади (2. 12-расм). Бу ҳолда симоб солинган шишани идишга U-симон найча орқали уланади. Бунда босим ўлчанаётган идишга симобнинг оқиб ўтишига U - симон найчадаги қаршилик тўсқинлик қилади. У ҳолда A нуқтадаги босим идиш томондаги қийматлар орқали қуйидагича аниқланади:

$$p_A = p + \gamma \cdot h_1,$$

симобли найчадаги қийматлар орқали эса

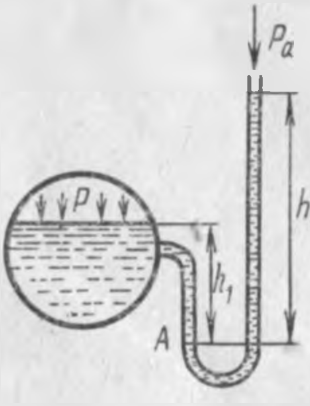
$$p_A = p_a + \gamma_{см} \cdot h_{см},$$

бу икки тенгликдан p ни топамиз:

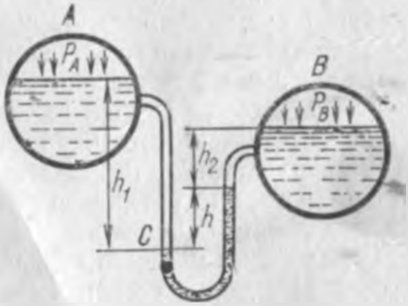
$$p = p_a + \gamma \cdot h_{см} - \gamma h_1.$$

Бундай манометрлар бир неча атмосферадан ортиқ босимни ўлчашга ярамайди.

в) **Дифференциал манометрлар** икки идишдаги босимлар фарқини ўлчаш учун ишлатилади (2.13-расм). Босимлари p_a ва $p_в$ га тенг бўлган икки идиш симобли U - симон найча орқали



2. 12-расм. Суюқлик манометри.



2. 13-расм. Дифференциал манометр.

туташтирилган. Бунда C нуқтадаги босим биринчи идишдаги қийматлар орқали қуйидагича ифодаланади:

$$p_c = p_A + \gamma \cdot h_1,$$

иккинчи идишдаги қийматлар орқали эса

$$p_c = p_B + \gamma \cdot h_2 + \gamma_{см} \cdot h.$$

У ҳолда идишлардаги босимлар фарқи қуйидагича булади:

$$p_A - p_B = \gamma(h_2 - h_1) + \gamma_{см} \cdot h. \qquad (2.24)$$

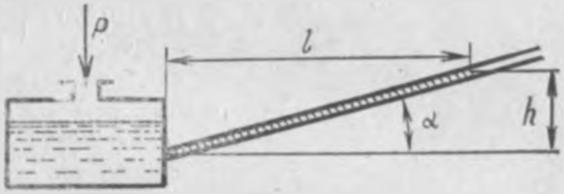
Икки идишдаги суюқликлар сатҳи тенг булганда эса

$$h_2 - h_1 = -h$$

ва

$$p_A - p_B = (\gamma_{сим} - \gamma) \cdot h. \qquad (2.25)$$

г) **Микроманометрлар** жуда кичик босимларни улчаш учун ишлатилади ва суюқлик сатҳининг ўзгариши сезиларли булиши



2. 14- расм. Микроманометр.

учун суюқлик тулдирилган идишга шиша найча қия бурчак остида уланади (2.14- расм). У ҳолда идишдаги ортиқча босим қуйидагича аниқланади:

$$p = \gamma \cdot h, \ h = l \sin \alpha \text{ булгани учун } p = \gamma \cdot l \cdot \sin\alpha. \qquad (2.26)$$

Шиша найчанинг қиялик бурчаги α қанча кичик булса, босим шунча аниқ улчанади. Куп ҳолларда манометр шиша найчасининг қиялик бурчаги узгарувчан қилиб ишлакади. Бу ҳолда микроманометрларнинг қулланиш чегараси кенгаяди.

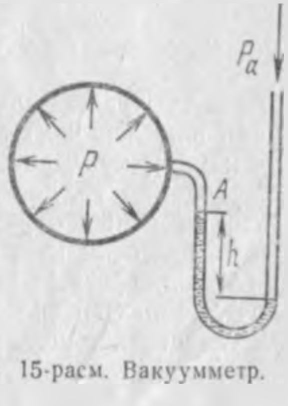
д) **Вакуумметрларнинг** тузилиши худди суюқлик манометрларига ухшаш булиб, улар идишдаги сийракланиш даражасини аниқлайди (2.15- расм).

Бу ҳолда гидростатик босим тенгламасига асосан:

$$p + \gamma_{сим} \cdot h = p_a \qquad (2.27)$$

булади, бундан

$$p = p_a - \gamma_{сим} \cdot h. \qquad (2.28)$$



2. 15-расм. Вакуумметр.

2 16-расм. Пружинали манометр:

1—пружинали юпқа найча, 2—занжир, 3—тишли узатма, 4—туташтирувчи буйин, 5—стрелка, 6—шкала.

Симоб устунининг пасайиши идишдаги босим ва p_a орқали қуйидагича аниқланади:

$$h = \frac{p_a - p}{\gamma_{сим}}. \qquad (2.29)$$

2. Механик асбоблар катта босимларни ўлчаш учун ишлатилади ва бунинг учун турли механик системалардан фойдаланилади.

а) **пружинали манометр** (2.16-расм) 1 ички буш юпқа эгик латунь найчадан иборат булиб, унинг бир учи кавшарланган ва шу учи занжир *2* орқали тишли узатма *3* га туташтирилган. Иккинчи учи эса босими улчаниши зарур булган идишга буйин *4* орқали туташтирилади. Эгилган латунь найча ҳаво босими таъсирида туғриланишга ҳаракат қилиб, тишли узатма ёрдамида стрелканинг бурилишига сабаб булади. Бундай манометрларда босимни курсатувчи шкала булади.

б) **Мембранали манометр** (2.17-расм) юпқа металл пластинкага ёки резина шимдирилган материалдан қилинган пластинкага эга булиб, уни мембрана дейилади. Суюқлик босими идиш билан туташтирувчи буйинча орқали утиб, мембранани эгади. Бу эгилиш натижасида ричаглар системаси орқали стрелка ҳаракатга келади ва шкала буйича сурилиб, босимни курсатади.

22 §. Суюқликнинг текис деворга босим кучи

Амалда жуда куп ҳолларда суюқликнинг текис деворга босим кучини аниқлаш керак булади. Хусусий ҳолда шчитларга таъсир қилувчи кучларни аниқлаш учун қуйидаги масалани курамиз. Суюқлик тулдирилган идишни олайлик (2.18-расм). Унинг горизонт билан α бурчак ҳосил қилган қия сиртида S юзага тушадиган босим кучини аниқлаймиз. Oy уқи қия сирт йуналиши буйича, Ox уқи эса унга тик йуналишда деб оламиз. Бу ҳолда S сиртдаги элементар dS сиртга тушадиган босим кучи dP қуйидагича аниқланади:

$$dP = dS(\gamma h + p_0), \qquad (2.30)$$

бу ерда $\gamma \cdot h$ — суюқлик устунининг босими: p_0 — эркин сиртдаги босим. У ҳолда S юзага таъсир этиб турган тўлиқ босим кучи қуйидаги формула билан аниқланади:

$$P = \int_s \gamma \cdot hdS +$$

$$+ \int_s p_0 dS = \gamma \int hds + p_0 \int_s ds;$$

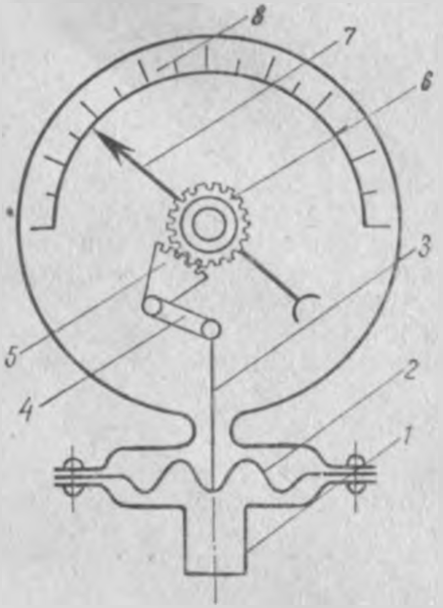
агар $h = y \sin\alpha$ эканлигини ҳисобга олсак:

$$P = \gamma \sin\alpha \int_s ydS + p_0 \int_s dS,$$

бу ерда $\int_s ydS - S$ — сиртнинг Ox ўқига нисбатан статик моментидир. Статик момент ҳақидаги тушунчага асосан:

$$\int Sy \cdot dS = S \cdot y_{ом},$$

бу ерда $y_{ом}$ — оғирлик марказининг координатаси. 2.18-расмдан кўриниб турибдики



2.17-расм. Мембранали манометр:

1 — туташтириш бўғини, 2 — мембрана 3 — тортқи, 4 — шарнирли ричаг, 5 — тишли рейка, 6 — тишли ғилдирак, 7 — стрелка, 8 — шкала.

$$y_{ом} \cdot \sin\alpha = h_{ом},$$

демак,

$$P = S(\gamma h_{ом} + p_0) \tag{2.31}$$

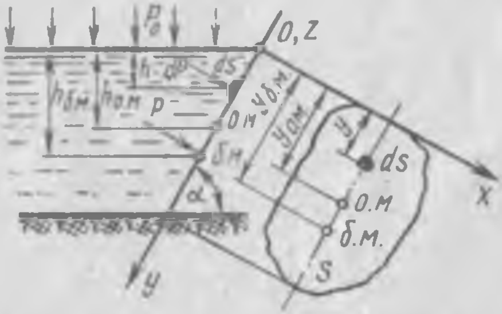
Агар тўлиқ босим кучини атмосфера босими ва ортиқча босимдан иборат десак:

$$P = P_{орт} + P_0. \tag{2.32}$$

Бу ерда ортиқча босим кучи қуйидагига тенг:

$$P_{орт} = \gamma h_{ом} \cdot S. \tag{2.33}$$

Демак, қия юзага тушадиган босим кучи шу юза сирти билан унинг оғирлик марказига таъсир қилувчи босимнинг кўпайтмасига тенг бўлиб, (2.31), гидростатик босим кучи $P_0 = p_0 \cdot S$ ва ортиқча бо-



2.18-расм. Суюқликнинг текис деворга босимини тушунтиришга оид чизма

сим кучи $P_{орт} = \gamma \cdot h_{ом} \cdot S$ йиғиндисига тенг булади. (2.34) Биринчи куч юзанинг оғирлик марказига қуйилган булиб, иккинчи куч ундан пастроққа қуйилган булади.

23-§. Ортиқча босим марказининг вазиятини топиш

Ортиқча босим тенг таъсир этувчисининг қуйилиш нуқтаси *босим маркази* деб аталади. Бу нуқтани топиш шчитларнинг улчамларини ва мустаҳкамлигини ҳисоблаш учун керак булади. Шунинг учун босим маркази координатасини топиш шчитларни ҳисоблашда жуда зарур.

2.18-расмда босим маркази $y_{бм}$ га тенг деб олиб, сирт S га таъсир қилаётган моментни аниқлаймиз:

$$Py_{бм} = \int_s dp \cdot y = \int_s hds \cdot y. \tag{2.35}$$

Расмда куриниб турибдики, $h_{ом} = Y_{ом} \sin\alpha$; $h = y \sin\alpha$.
Бу ҳолда (2.35) дан қуйидаги келиб чиқади:

$$Sy_{ом} \cdot y_{бм} = \int_s y^2 dS = I_x, \tag{2.36}$$

бу ерда $I_x = \int_s y^2 ds$—қурилаётган сиртнинг Ox уққа нисбатан инерция моментидир. У ҳолда (2.36) дан босим марказини топамиз:

$$y_{бм} = \frac{I_x}{Sy_{ом}} \tag{2.37}$$

Инерция моментини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$I_x = I_{ом} + S \cdot y^2_{ом}. \tag{2.38}$$

Бу ерда $I_{ом}$ — қурилаётган юзанинг унинг оғирлик марказидан утувчи уққа нисбатан инерция моменти.

У ҳолда (2.38) ни (2.36) га қуйиб босим марказини қуйидагича топамиз:

$$y_{бм} = y_{ом} + \frac{I_{ом}}{S \cdot y_{ом}} . \tag{2.39}$$

Бу тенгламадан куринадики, босим маркази қурилаётган қия сирт оғирлик марказидан $\frac{I_{ом}}{Sy_{ом}}$ масофада пастга жойлашган булиб, сирт горизонтал булган хусусий ҳолдагина бу фарқ нолга тенг булади (яъни оғирлик маркази билан босим маркази устма-уст тушади).

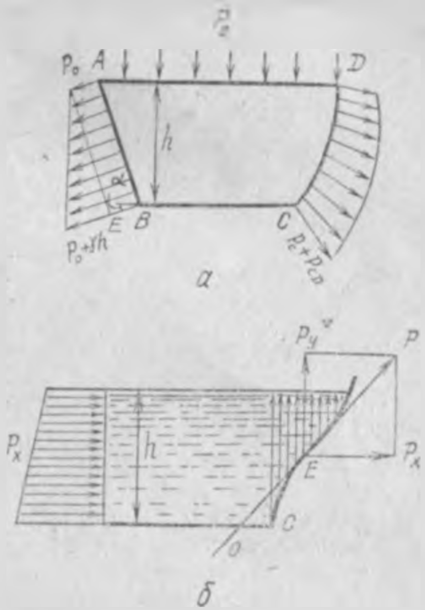
24-§. Босим эпюраси

Бирор сирт ёки контур буйича босимнинг тақсимланишини ифодаловчи график *босим эпюраси* деб аталади.

а) **Текис сирт.** Текис сиртнинг эркин сирт билан туташган еридаги босим эркин сиртдаги босимга тенг (2.19-расм, *а*), унинг қолган нуқталарида эса эркин сиртдаги босимга ортиқча босим қушилади. Гидростатиканинг асосий тенгламасига асосан

$$p = p_0 + \gamma \cdot h, \quad (2.40)$$

яъни сиртнинг энг пастки нуқтасида босим энг катта миқдорга эга булади. AB сиртга тушадиган босим эпюрасини олиш учун A ва B нуқталарда босимнинг миқдори ва йуналишини қуйиб, учларини туташтирамиз. Ҳосил булган фигура босим эпюрасини ифодалайди.



2. 19-расм. Босим эпюраси.

Босим векторлари учини туташтирувчи чизиқнинг босим вектори билан ташкил қилган бурчаги қуйидагича топилади:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{\gamma h} = \frac{1}{\gamma}.$$

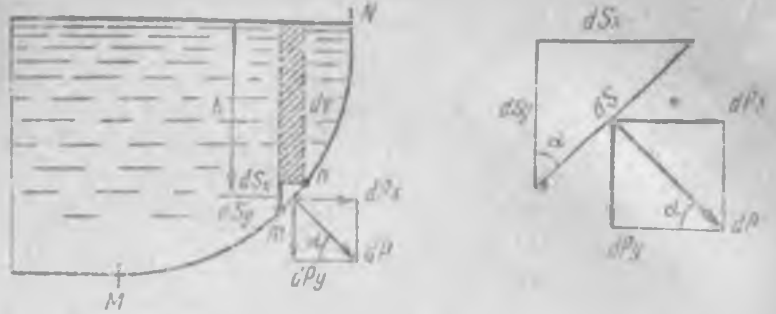
Босим эпюраси эса трапеция куринишида булиб, тугри туртбурчак куринишидаги ташқи босим ва учбурчак куринишидаги ортиқча босим эпюраларининг йигиндисидан иборат.

б) **Эгри сирт.** Босим кучи икки ташкил этувчисига эга булиб (2. 19-расм, *б*), P_x ташкил этувчиси текис сиртдаги каби эпюрага эга булади. P_y нинг эпюраси эса эгри сирт билан эркин сирт орасидаги соҳа шаклига эга булади. Тенг таъсир этувчи куч ёки тулиқ босимнинг қуйилиш нуқтаси ва катталигини график усулда топиш мумкин. Бунинг учун P_x ташкил этувчининг йуналишини P_y нинг йуналиши билан кесишгунча давом эттирамиз. Кесишган нуқтага эса P_x ва P_y ни келтириб қуямиз ва параллелограмм ҳосил қиламиз. Унинг диоганали йуналишини эгри сирт билан кесишгунча давом эттириб, кесишиш нуқтаси E га суюқлик томондан ҳосил булган P кучни келтириб қуямиз. E нуқта босим маркази ёки тенг таъсир этувчи кучнинг қуйилиш нуқтаси булади.

Техникада учрайдиган эгри сиртлар цилиндр, сфера ва унинг қисмлари булиши мумкин.

25-§. Цилиндрик сиртга таъсир қилувчи босим кучи

Техникада бир қанча ҳолларда эгри сиртга тушадиган босимни ҳисоблаш талаб этилади. Буни топиш учун 2.20-расмдан фойдаланамиз.



2. 20-расм Цилиндрик сиртга босимни тушунтиришга оид чизма.

Эгри сиртдаги босим ортиқча ва гидростатик босимлар йиғиндисига тенг:

$$p = p_{орт} + p_0. \tag{2.41}$$

Уни ҳисоблаш учун эгри сиртда элементар dS юза ажратамиз. Координата ўқларини расмда кўрсатилгандек йўналтирамиз. У ҳолда элементар юзага тушадиган босим dP, dP_x, dP_y проекцияларга эга бўлади. dS юзанинг xOz ва yOz текисликларидаги проекциялари эса dS_x ва dS_y га тенг. Элементар юзага тушадиган ортиқча босим юқорида кўрганимиздек қуйидагича ифодаланади:

$$dP = \gamma \cdot hdS;$$

унинг горизонтал ташкил этувчиси эса қуйидагига тенг:

$$dP_x = dP_{орт} \cdot \cos\alpha = \gamma hdS \cdot \cos\alpha.$$

Иккинчи томондан, $dS\cos\alpha = dS_y$ бўлгани учун

$$dP_x = \gamma \cdot hdS_y.$$

Эгри сиртга таъсир этаётган тўлиқ босимнинг проекциясини топиш учун S_y юза бўйича интеграл оламиз:

$$P_x = \int\limits_{Sy} \gamma h dS_y = \gamma \int\limits_{Sy} hdS_y, \tag{2.42}$$

лекин, $\int\limits_{Sy} hdS_y$ — S_y юзанинг Oz ўқига нисбатан статик моментидир. Шунинг учун $\int\limits_{Sy} hdS = S_y \cdot h_0$.

Бу ерда S_y - эгри сиртнинг yOz ўқидаги проекцияси, h_0—S_y—юза оғирлик марказининг чуқурлиги ва $h_0 = \frac{h}{2}$.

Шундай қилиб, эгри сиртга тушадиган ортиқча босимнинг горизонтал ташкил этувчиси қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$P_x = \gamma \cdot S_y \cdot h_0. \tag{2.43}$$

Бу формула текис сиртларга тушадиган босимни ҳисоблаш формуласига ухшайди ва ундан фақат S_y юза сиртнинг yOz текислигидаги проекцияси эканлиги билан фарқ қилади. h_0 эса шу проекция оғирлик марказигача булган вертикал масофага тенг булади.

Энди эгри сиртга тушадиган ортиқча босимнинг вертикал ташкил этувчисини топамиз. 2.20-расмдан:

$$dP_y = dP \cdot \sin\alpha = \gamma \cdot hdS \sin\alpha;$$

аммо $dS \sin\alpha = dS_x$ булгани учун

$$dP_y = \gamma hdS_x;$$

интеграллаш йули билан P_y ни топамиз

$$P_y = \int_{S_x} \gamma \cdot hdS_x = \gamma \int_{S_x} hdS_x = \gamma \cdot W.$$

Бу ерда $W = \int_{S_x} hdS_x$ — эгри сирт, унинг чегарасидаги вертикал сирт ва эркин сирт орасидаги ҳажмдан иборат булиб, босувчи жисм деб аталади.

Шундай қилиб, эгри сиртга тушадиган босимнинг вертикал ташкил этувчиси босувчи жисм ҳажми билан суюқлик солиштирма оғирлигининг купайтмасига тенг, яъни:

$$P_y = W \cdot \gamma. \tag{2.44}$$

√26-§. Тулиқ босим кучини ва унинг йуналишини аниқлаш

Тулиқ босим кучи вектор катталик булиб, у горизонтал P_x ва вертикал P_y ташкил этувчиларнинг вектор йиғиндисидан иборат:

$$\vec{P}_{орт} = \vec{P}_x + \vec{P}_y.$$

Юқорида келтирилган формулалар буйича горизонтал ташкил этувчининг катталиги

$$P_x = \gamma \cdot S_y \cdot h_0;$$

вертикал ташкил этувчининг катталиги

$$P_y = \gamma \cdot W$$

формулалар ёрдамида ҳисобланади. Тулиқ босим кучи эса унинг катталиги ва йуналиши билан ифодаланади. Цилиндрик сиртга тушадиган босим кучининг катталиги векторларни қушиш қоидасига асосан горизонтал ва вертикал ташкил этувчилар орқали қуйидагича топилади:

$$P_{орт} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}. \tag{2.45}$$

Демак, цилиндрик сиртга тушадиган босим унинг ташкил этувчилари P_x ва P_y квадратларининг йиғиндисидан олинган ил-

дизга тенг. Цилиндрик сиртга тушадиган босимнинг йуналиши қуйидаги формулалар билан аниқланади:

$$\cos\alpha = \frac{P_x}{P_{орт}} \text{ ёки } \sin\alpha = \frac{P_y}{P_{орт}}. \quad (2.46)$$

Кучнинг қуйилиш нуқтаси график усулда топилади ва куч йуналиши билан эгри сирт кесишган нуқтада булади. Бунда α — куч йуналиши билан горизонтал орасидаги бурчакдир.

3- б о б. Техник гидродинамика асослари

Гидравликанинг суюқликлар ҳаракати қонунлари ва уларнинг ҳаракатланаётган ёки ҳаракатсиз қаттиқ жисмлар билан узаро таъсирини урганувчи булимига гидродинамика дейилади.

Ҳаракатланаётган суюқлик вақт ва координата буйича узгарувчи турли параметрларга эга булган ҳаракатдаги моддий нуқталар тупламидан иборат. Одатда, суюқликни узи эгаллаб турган фазони бутунлай тулдирувчи туташ жисм деб қаралади. Бу деган суз текширилаётган фазонинг исталган нуқтасини олсак, шу ерда суюқлик заррачаси мавжуд демакдир. Гидростатикада асосий параметр босим булса, гидродинамикада эса босим ва тезликдир.

27- §. Гидродинамиканинг асосий масаласи ва услуби

Суюқлик ҳаракат қилаётган фазонинг ҳар бир нуқтасида шу нуқтага тегишли тезлик ва босим мавжуд булиб, улар уз қийматига эга булади, яъни тезлик ва босим координаталар x, y, z га боғлиқ. Табиатдаги кузатишлар шуни курсатадики, нуқтадаги суюқ заррачага таъсир қилаётган босим ва тезлик вақт утиши билан узгаради. Суюқлик ҳаракат қилаётган фазонинг ҳар бир нуқтасида хаёлан тезлик ва босим векторларини куриб чиқсак, курилаётган ҳаракатга мос келувчи тезлик ва босим тупламларини куз олдимизга келтирамиз. Ана шу усул билан тузилган тезлик туплами *тезлик майдони* дейилади. Худди шунингдек, босим векторларидан иборат туплам *босим майдони* деб аталади. Тезлик ва босим майдонлари вақт утиши билан узгариб боради. Гидростатикадаги каби гидродинамикада ҳам гидродинамик босимни p билан белгилаймиз ва уни содда қилиб босим деб атаймиз. Тезликни эса u билан белгилаймиз. У ҳолда тезликнинг координата уқларидаги проекциялари u_x, u_y, u_z булади.

Юқорида айтилганга асосан суюқлик параметрлари функция куринишида ёзилади:

$$p = f_1(x,y,z,t);$$
$$u = f_2(x,y,z,t).$$

Тезлик проекциялари ҳам функциялардир.

$$u_x = f_3(x,y,z,t);$$
$$u_y = f_4(x,y,z,t);$$
$$u_z = f_5(x,y,z,t).$$

Бу келтирилган функцияларни аниқлаш ва улар уртасидаги узаро боғланишини топиш гидродинамиканинг асосий масаласи ҳисобланади. Гидродинамика масалаларини ҳал қилиш назарий текширишлар ва тажрибалар утказиш, сунгра олинган натижаларни узаро таққослаш усули билан олиб борилади.

Назарий текширишлар ҳаракатини ифодаловчи дефференциал тенгламалар тузиш ва уларни ечиш ёки ухшашлик назарияси асосида асосий параметрлар орасидаги муносабатларни топишга олиб келади. Тажрибалар эса турли улчов асбоблари ёрдамида ҳаракат параметрларини топишга ёрдам беради.

28-§. Суюқликнинг барқарор ва беқарор ҳаракатлари

Ҳаракат вақтида суюқлик оқаётган фазонинг ҳар бир нуқтасида тезлик ва босим вақт утиши билан узгариб турса, бундай ҳаракатга беқарор ҳаракат дейилади. Табиатда дарё ва каналлардаги, техникада трубалардаги суюқликнинг ҳаракати асосан бошланганда ва куп ҳолларда бутун ҳаракат давомида беқарор булади.

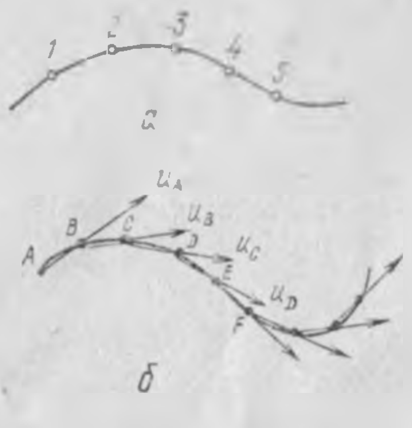
Агар суюқлик оқаётган фазонинг ҳар бир нуқтасида тезлик ва босим вақт буйича узгармаса ва фақат координаталарига боғлиқ булса,

$$p = f(x, y, z);$$
$$u = f(x, y, z),$$

бундай ҳаракатга барқарор ҳаракат дейилади. Бу ҳол труба ва каналларда суюқлик маълум вақт оқиб турганда юзага келиши мумкин.

29-§. Оқимчали ҳаракат ҳақида асосий тушунчалар. Оқим чизиғи, оқим трубкаси ва оқимча

Одатда бирор воқеа ёки ҳодисани текширишда уни бутунлигича текшириб булмагани учун бирор соддалаштирилган схема қабул қилинади ва шу схема асосида текширилади. Гидравликада суюқлик ҳаракати қонуниятларининг табиатини энг яхши ифодалаб берувчи схема суюқлик оқимини элементар оқимчалардан иборат деб қарозчи схема ҳисобланади. Буни гидравликада „суюқлик ҳаракатининг оқимчали модели“ деб аталади. Бу модел асосида оқим чизиғи, оқим трубкаси ва оқимча тушунчалари ётади.



3. 1-расм. Оқим чизиғининг тушунтиришга оид чизма. *а* — траектория, *б*—оқим чизиғи

а) **Оқим чизиғи** — суюқлик ҳаракат қилаётган фазода суюқликнинг бирор заррачасининг ҳарака-

тини кузатсак, унинг вақт утиши билан олдинма-кетин олган вазиятларини *1, 2, 3...* нуқталар билан ифодалаш мумкин (3.1-расм) ва бу нуқталарда ҳаракатдаги заррача ҳар хил тезлик ва босимга эга булади. Шу нуқталарни чизиқ билан туташтирсак, суюқлик заррачасининг траекторияси ҳосил булади.

Энди, суюқлик заррачасининг тезлигини кузатамиз. Заррачанинг курилаётган вақтда A нуқтадаги тезлик вектори $\bar{u}_A$ ни қурамиз. Шу вектор давомида A дан dl_1 масофада турган B нуқтада ҳаракатдаги суюқлик заррачасининг B нуқтага тегишли тезлик вектори $\bar{u}_B$ ни қурамиз. Ҳосил булган янги векторнинг давомида B дан dl_2 масофадаги C нуқтада шу нуқтага тегишли заррача тезлигининг вектори $\bar{u}_C$ ни қурамиз.

$\bar{u}_C$ векторнинг давомида dl_3 масофадаги D нуқтада шу нуқтага тегишли заррача тезлигининг $\bar{u}_D$ векторини қурамиз ва ҳ.к. Натижада $ABCDE$ синиқ чизиқни ҳосил қиламиз (3.1-расм). Агар dl_1, dl_2, dl_3 ларни чексиз кичрайтира бориб, нолга интилтирсак, $ABCDE$ урнида бирор эгри чизиқни ҳосил қиламиз. Бу эгри чизиқ *оқим чизиги* деб аталади.

Юқорида айтилгандан куриниб турибдики, оқим чизиги деб суюқлик ҳаракатланаётган фазода олинган ва берилган вақтда ҳар бир нуқтасида унга утказилган уринма шу нуқтага тегишли тезлик вектори йуналишига мос келувчи эгри чизиққа айтилади. Беқарор ҳаракат вақтида тезлик ва унинг йуналиши вақт давомида узгариб тургани учун траектория билан оқим чизиги бир хил булмайди. Барқарор ҳаракат вақтида эса, тезлик вектори нуқталарининг вазияти вақт утиши билан узгармагани учун, траектория билан оқим чизиги устма-уст тушади.

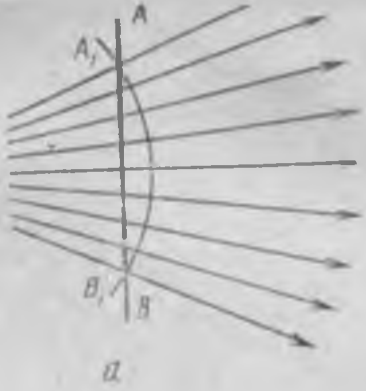
Оқим трубкаси. Энди, суюқлик ҳаракатланаётган соҳада бирор A нуқта олиб, шу нуқта атрофида чексиз кичик dl контур ажратамиз ва шу контурнинг ҳар бир нуқтасидан оқим чизиғи утказамиз. У ҳолда оқим чизиқлари *оқим трубкаси* деб аталувчи трубка ҳосил қилади (3.2-расм). Оқим трубкасида ҳаракатланаётган суюқлик *элементар оқимча* деб аталади.

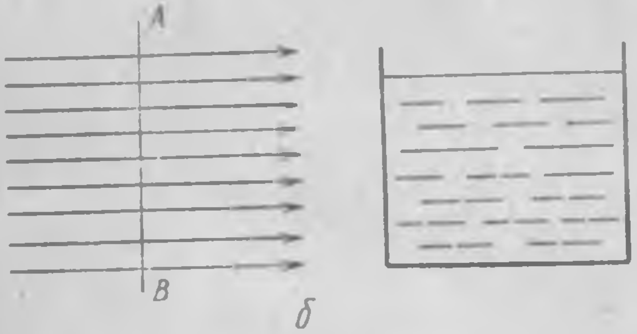
30-§. Ҳаракат кесими ва элементар оқимча учун суюқлик сарфи

Суюқлик ҳаракатини текширишда муҳим аҳамиятга эга булган миқдорлардан бири ҳаракат кесимидир.

Ҳаракат кесими деб шундай сиртга айтиладики, унинг ҳар бир нуқтасида оқим чизиги нормал буйича йуналган булади. Умумий ҳолда ҳаракат кесими эгри сирт булиб (3.3-расм), параллел оқимчали ҳаракатлар учун текисликнинг булагидан иборат (яъни текис сирт)дир (3.3-расм, *а, в*). Масалан, радиал тарқалаётган суюқлик оқими учун ҳаракат кесими сферик сирт булса, узанда ва трубада

3. 2-расм. Оқим трубкаси.





3. 3-расм. Ҳаракат кесими.

ҳаракат қилаётган оқимнинг ҳаракат кесими текис сиртдир (3.3-расм).

Элементар оқимчалар барқарор ҳаракат вақтида қуйидаги хусусиятларга эга булади:

1. Оқим чизиқлари вақт утиши билан узгармагани учун улардан ташкил топган оқим трубкаси уз шаклини узгартирмайди.

2. Бир оқимчада оқаётган суюқлик заррачаси бошқа ёнма-ён оқимчаларга ута олмайди. Шунинг учун элементар оқимчаларнинг ён сирти оқимча ичидаги заррачалар учун ҳам, ташқаридаги заррачалар учун ҳам утказмас сирт булади.

3. Элементар оқимча кундаланг кесими чексиз кичик булгани учун бу кесимдаги барча нуқталарда суюқлик заррачаларининг тезлиги узгармасдир.

Элементар оқимчанинг ҳаракат кесимидан вақт бирлигида утаётган суюқлик миқдорига унинг *сарфи* дейилади. Элементар оқимчанинг сарфини ҳисоблаш учун тезлик u ни ҳаракат тезлиги юзаси ds га купайтирамиз:

$$dq = udS.$$

Бу миқдорни соддалаштириб, *элементар сарф* деб ҳам аташ мумкин.

31-§. Суюқлик оқими, унинг ҳаракат кесимидаги сарфи ва ўртача тезлиги

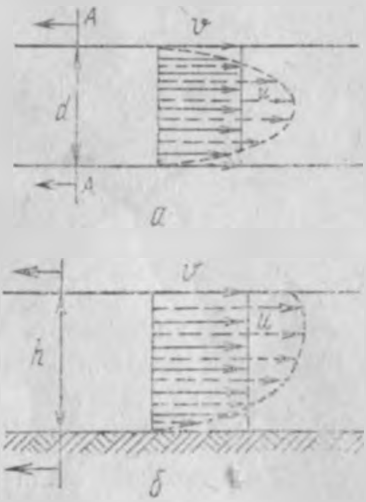
Суюқлик оқаётган соҳанинг кесим юзаси S ни ds элементар юзаларга ажратиш мумкин (3.5- расм). S юзадан оқиб ўтаётган суюқликни оқим деб атасак, у чексиз кўп элементар оқимчалардан ташкил топган бўлади ва ҳар бир элементар оқимчада суюқлик тезлиги бошқа элементар оқимчалардагидан фарқ қилади. Элементар оқимчалардаги каби, оқимнинг барча оқим чизиқларига тик бўлган юза оқимнинг *ҳаракат кесими* дейилади.

Суюқлик сарфи деб, вақт бирлигида оқимнинг берилган ҳаракат кесими орқали оқиб ўтаётган суюқлик миқдорига айтилади. Сарф Q ҳарфи билан белгиланади ва л/с, м^3/с, м^3/соат ларда ўлчанади. Элементар юза бўйича сарф dq билан, бирлик юза бўйича сарф q билан белгиланади. 3.4- расмда трубадаги (a) ва каналдаги ($б$) оқимлар учун тезлик эпюралари келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики, тезлик суюқлик оқаётган идиш деворларида нолга тенг бўлиб девордан узоқлашган сари орта боради.

Трубада тезликнинг энг катта қиймати унинг ўртасида, каналда эркин сиртга яқин ерда бўлади. Ихтиёрий элементар оқимчалардан ташкил топгани учун элементар сарфлар йиғиндиси — бутун оқимнинг сарфи интеграл кўринишда ифодаланади:

$$Q = \int u d\omega, \tag{3.1}$$

Бу ерда ω — ҳаракат кесими; $d\omega$ — ҳаракат кесимининг элементар оқимчага тегишли қисми.



3. 4-расм. Тезлик эпюраси (пунктир чизиқ) ва ўртача тезлик (туташ чизиқ);

а—трубаларда, *б*—каналларда.

Ўртача тезлик деб, шундай тезликка айтиладики, суюқлик заррачаларининг ҳаммаси шу тезлик билан ҳаракатланганда буладиган сарф ҳақиқий ҳаракат вақтидаги сарфга тенг бўлади, 3.4- расмларда (a, $б$) ҳақиқий тезлик эпюраси пунктир чизиқ билан белгиланган бўлиб, пунктирли стрелкаларнинг учини бирлаштиради. Ўртача тезлик эпюраси туташ чизиқлар билан белгиланган бўлиб, туташ стрелкалар учини бирлаштиради. Ўртача тезлик v ҳарфи билан белгиланади ва сарфни ҳаракат кесимига бўлиш йўли билан топилади:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{\int_\omega v\, d\omega}{\omega}. \tag{3.2}$$

Бу ҳолда суюқлик сарфи ўртача тезлик орқали қуйидагича ифодаланади:

$$Q = v \cdot \omega. \tag{3.3}$$

Ҳаракат кесими ва суюқлик ҳаракат қилаётган соҳа учун умумий булган чизиқ *ҳулланган периметр* дейилади ва χ ҳарфи билан ифодаланади.

Ҳаракат кесимининг ҳулланган периметрга нисбати гидравлик радиус деб аталади:

$$R = \frac{\omega}{\chi}.$$

Цилиндрик трубалар учун $\omega = \pi d^2$, $\chi = \pi d$ булгани сабабли гидравлик радиус диаметрининг туртдан бирига тенг:

$$R = \frac{d}{4}.$$

Ноцилиндрик трубалар учун гидравлик радиус тушунчасидан фойдаланиб, эквивалент диаметр $d_э$ киритилади. Эквивалент диаметр гидравлик радиуснинг туртга купайтирилганига тенг:

$$d_э = 4R.$$

32- §. Узлуксизлик тенгламаси

Юқорида айтиб утилганидек, гидравликада суюқликлар туташ муҳитлар деб аталади (яъни ҳаракат фазосининг исталган нуқтасида суюқлик заррачасини топиш мумкин). Элементар оқимча ва оқим учун узлуксизлик тенгламаси суюқлик туташ оқимининг математик ифодаси булиб хизмат қилади. Суюқликнинг барқарор ҳаракатини куриб чиқамиз.

Элементар оқимча учун узлуксизлик тенгламасини чиқарамиз. Оқимда ҳаракат уқи $l - l$ булган элементар оқимчани олиб, унинг $1 - 1$ ва $2 - 2$ кесимлар орасидаги булагини текширамиз (3.5- расм). $1 - 1$ кесимнинг юзаси dS_1 нинг тезлиги u_1, $2 - 2$ кесимнинг юзаси dS_2 нинг тезлиги u_2 булсин ва бу кесимларда тегишли элементар сарфлар $q_1 = u_2 dS_1$ ва $q_2 = u_1 dS_2$ га тенг булсин.

3. 5-расм. Узилмаслик тенгламасига доир чизма

Бу ҳолда $1-1$ ва $2-2$ кесимлар орқали ўтувчи бу элементар сарфлар

$$q_1 = q_2 \qquad (3.4)$$

бўлади. Буни исботлаш учун қуйидаги икки ҳолни кўрамиз:

1) $q_1 > q_2$ бўлсин. Бу ҳолда $1-1$ ва $2-2$ кесимлар ўртасида суюқлик тўпланиши ёки элементар оқимча деворлари орқали ташқарига чиқиши мумкин деган хулоса чиқади. Юқорида айтилганидек, элементар оқимча деворидан суюқлик ўтмайди ва элементар оқимчанинг кўндаланг кесимлари ўзгармасдир.

Демак, бу тахмин нотўғри эканлиги кўриниб турибди.

2) $q_1 < q_2$ бўлсин. Бу ҳолда $1-1$ ва $2-2$ кесимлар орасига қаердандир суюқлик қўшилиб туриши ёки элементар оқимча девори орқали ичкарига ўтиб туриши керак. Юқоридагига асосан бундай тахмин ҳам нотўғри эканлиги кўринади. Шундай қилиб (3.4) тенглик тўғри эканлиги исботланди.

Элементар сарфлар тенглигидан

$$u_1 ds_1 = u_2 ds_2 \qquad (3.5)$$

эканлиги келиб чиқади.

$1-1$ ва $2-2$ кесимлар ихтиёрий танлаб олинганлиги учун элементар оқимчанинг хоҳлаган кесими учун элементар сарф тенг бўлади, яъни $u_1 dS_1 = u_2 dS_2 = u_3 dS_3 = \ldots u_n\, dS_n = \text{const}$.

(3.5) тенглама элементар оқимча учун узлуксизлик тенгламаси деб аталади. Бу тенгламадан кўриниб турибдики, элементар оқимчанинг барча кесимларида элементар сарф бир хилдир. (3.5) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{dS_2}{dS_1}.$$

Бундан элементар оқимчанинг ихтиёрий иккита кесимидаги тезликлар бу кесимлар юзасига тескари пропорционал эканлиги келиб чиқади.

Оқим учун узлуксизлик тенгламасини чиқарамиз. Бу мақсадда элементар оқимча учун олинган узлуксизлик тенгламасидан фойдаланамиз. Оқим сарфи чексиз кўп элементар оқимчалар сарфлари йиғиндисидан иборат эканлигини назарга олиб, (3.5) тенгламанинг чап ва ўнг қисмини s_1 ва s_2 юзалар (3.5- расм) бўйича олинган интеграллар билан алмаштирамиз:

$$\int\limits_{S_1} u_1 dS_1 = \int\limits_{S_2} u_2 dS_2.$$

(3.1) тенгламага асосан

$$\int\limits_{S_1} u_1 dS_1 = v_1 S_1; \qquad \int\limits_{S_2} u_2 dS_2 = v_2 S_2$$

бўлади. Шунинг учун

$$v_1 S_1 = v_2 S_2. \qquad (3.6)$$

Танлаб олинган $1-1$ ва $2-2$ кесмалар ихтиерий булгани учун

$$v_1 \cdot s_1 = v_2 \cdot s_2 = v_3 \cdot s_3 = \ldots = v_n \cdot s_n = \text{const}.$$

Бу оқим учун узлуксизлик тенгламасидир. Бу тенгламадан куринадики, оқимнинг йуналиши буйича кундаланг кесимлар юзаси ва тезлиги узгариб боради. Лекин сарф узгармайди. (3.6) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

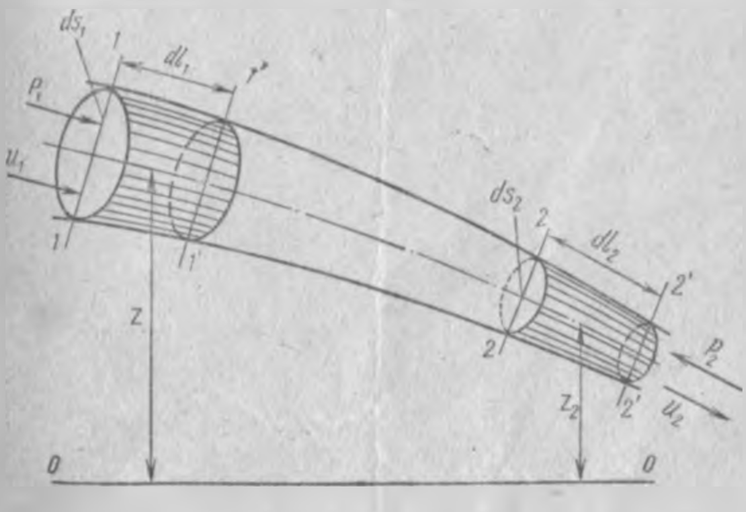
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{s_2}{s_1},$$

яъни оқимнинг кундаланг кесимидаги уртача тезлик тегишли кесимлар юзига тескари пропорционалдир.

33- §. Идеал суюқлик оқимчаси учун Бернулли тенгламаси

Бернулли тенгламасини чиқариш учун кинетик энергиянинг узгариши қонунидан фойдаланамиз. Ҳаракат уқи $l-l$ булган бирор элементар оқимча ажратиб, унинг $1-1$ ва $2-2$ кесимлар билан ажратилган булагини оламиз. У ҳолда бу булак dt вақтда ҳаракат қилиб, $1'-1'$ ва $2'-2'$ кесимлар орасидаги вазиятга келади (3.6- расм).

$1-1$ кесимнинг юзаси ds_1, бу юзага таъсир қилувчи куч p_1 ва тезлик u_1 булсин, $2-2$ кесимнинг юзаси эса ds_2 унга таъсир қилувчи куч p_2, тезлик эса u_2 булсин, кинетик энергиянинг узгариш қонунини элементар оқимчанинг ана шу ҳаракатдаги булагига татбиқ қиламиз. Бу қонунга асосан бирор жисм ҳаракати вақтида унинг кинетик энергиясининг узгариши, шу жисмга таъсир қилаётган кучлар бажарган ишларнинг йиғиндисига тенгдир. Бунинг математик ифодаси қуйидагича булади:



3. 6-расм. Идеал суюқлик учун Бернулли тенгламасига доир чизма

$$d\left(\frac{mu^2}{2}\right)=\Sigma Pi, \qquad (3.7)$$

бу ерда $d\left(\frac{mu^2}{2}\right)$ — кинетик энергиянинг dt вақтда узгариши, $\sum Pi$ — барча кучлар бажарган ишларнинг йиғиндиси.

Энди, элементар оқимча булагининг 1—1 ва 2—2 кесимлар орасидаги вазиятдан dt вақт ичида 1′—1′ ва 2′—2′ кесимлар орасидаги вазиятга келганда унинг кинетик энергиясининг узгаришини курамиз. Ҳаракат барқарор булгани учун бу узгариш 1—1 ва 1′—1′ кесимлар орасидаги булак билан 2—2 ва 2′—2′ кесимлар орасидаги булак кинетик энергияларнинг айирмасига тенг.

1—1 ва 1′—1′ кесимлар орасидаги булакнинг кинетик энергияси, унинг массаси m_1 булса, $\frac{m_1u_1^2}{2}$ га тенг булади. 2—2 ва 2′—2′ кесимлар орасидаги булакнинг кинетик энергияси эса $\frac{m_2u_2^2}{2}$ га тенг. Демак, курилаётган 1—1 ва 2—2 кесимлар орасидаги булакнинг кинетик энергияси dt вақтда қуйидаги микдорга узгаради:

$$\frac{m_2u_2^2}{2}-\frac{m_1u_1^2}{2}. \qquad (3.8)$$

Иккинчи томондан, 1—1 ва 1′—1′ кесимлар орасидаги булак массаси унинг ҳажми $ds_1 \cdot dl_1$ билан зичлигининг купайтмасига тенг, яъни

$$m_1=\rho\, ds_1 dl_1.$$

Шунингдек 2—2 ва 2′—2′ кесимлар орасидаги булакнинг массаси $m_2=\rho ds_2 dl_2$. dl_1 ва dl_2 лар dt вақт ичида 1—1 ва 2—2 кесимларнинг юрган йулини курсатади, шунинг учун

$$\left.\begin{aligned} dl_1 &= u_1 dt,\\ dl_2 &= u_2 dt.\end{aligned}\right\} \qquad (3.9)$$

у ҳолда m_1 ва m_2 учун қуйидаги муносабатни оламиз:

$$m_1=\rho ds_1 u_1 dt,$$

$$m_2=\rho ds_2 u_2 dt.$$

Бу муносабатни (3.7) га қуйсак ва узлуксизлик тенгламасидан $q=u_1ds_1=u_2ds_2$ эканлигини назарга олсак, кинетик энергиянинг узгариши қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{m_2u_2^2}{2}-\frac{m_1u_1^2}{2}=\frac{\rho q dt u_2^2}{2}-\frac{\rho q dt u_1^2}{2}=\rho q dt\left(\frac{u_2^2}{2}-\frac{u_1^2}{2}\right). \qquad (3.10)$$

Энди, бажарилган ишларни текширамиз. Бу ишлар 1—1 ва 2—2 кесимларга таъсир қилувчи гидродинамик кучларнинг ва оғирлик кучининг бажарган ишларидир. Элементар оқимчанинг ён сиртларига таъсир қилувчи босим кучининг бажарган иши нолга тенг эканлиги ҳаракатнинг барқарорлигидан куринади.

$1-1$ кесимга таъсир этувчи p_1 босимнинг бажарган иши A_1, $2-2$ кесимга таъсир этувчи p_2 босимнинг бажарган иши A_2 билан белгиланади.

3. 6-расмдан кўриниб турибдики,

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= p_1 ds_1 dl_1, \\ A_2 &= p_2 ds_2 dl_2. \end{aligned}\right\}$$

(3.9) ни назарга олсак ва узлуксизлик тенгламасидан фойдалансак, қуйидаги муносабат келиб чиқади:

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= p_1 q dt, \\ A_2 &= p_2 q dt. \end{aligned}\right\} \tag{3.11}$$

Оғирлик кучи бажарган ишни A_3 деб белгилаймиз. Бу иш $1'-1'$ ва $2-2$ кесимлар орасидаги бўлак ўз вазиятини саклагани учун $1-1$ ва $1'-1'$ кесимлар орасидаги бўлак билан $2-2$ ва $2'-2'$ кесимлар орасидаги бўлаклар марказларининг вертикал ўқ бўйича вазиятлари z_1 ва z_2 фарқига кўпайтирилганига тенг:

$$A_3 = G(z_1 - z_2),$$

лекин,

$$G = \gamma ds_1 \cdot dl_1 = \gamma ds_1 \cdot u_1 \cdot dt = \gamma q dt;$$
$$G = \gamma ds_2 \cdot dl_2 = \gamma ds_2 u_2 \cdot dt = \gamma q dt,$$

бўлгани учун

$$A_3 = \gamma q dt\,(z_1 - z_2). \tag{3.12}$$

Энди, (3.10), (3.11) ва (3.12) ларни (3.7) га келтириб қўйсак, элементар оқимча учун кинетик энергиянинг ўзгариш қонунини ҳосил қиламиз:

$$\rho \cdot q dt \cdot \left(\frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2}\right) = p_1 q dt - p_2 q dt + \gamma q dt\,(z_1 - z_2),$$

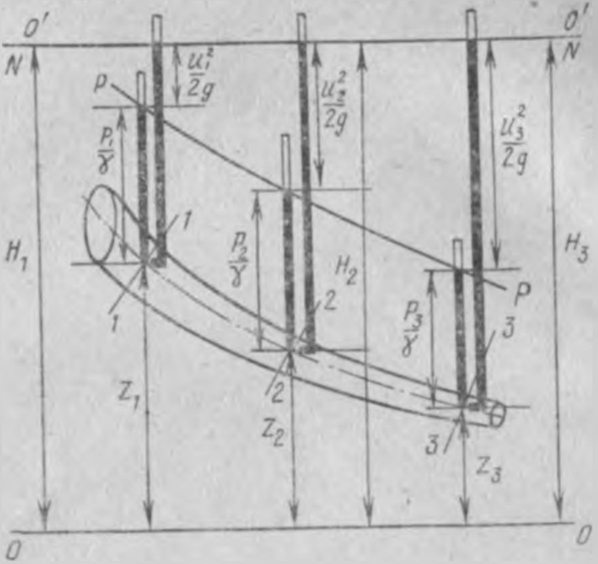
бу ерда p_2 куч суюқлик ҳаракатига тескари йўналган бўлгани учун тенгламанинг ўнг томонидаги иккинчи ҳад A_2 манфий ишора билан олинди. Охирги тенгламанинг икки томонини $\gamma q dt$ га бўлсак, у ҳолда

$$\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + z_1 - z_2.$$

Бир хил индексли ҳадларни группалаб жойлаштирсак, Бернулли тенгламаси ҳосил бўлади:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2. \tag{3.13}$$

Шундай қилиб, оқимча учун Бернулли тенгламаси кинетик энергиянинг ўзгариш қонунини ифодалар экан.



3. 7-расм. Идеал суюқлик учун Бернулли тенгламасининг геометрик маъносини тушунтиришга доир схема.

31-§. Бернулли тенгламасининг геометрик, энергетик ва физик хоссалари. Пьезометрик чизиқ

Бернулли тенгламасининг ҳар бир ҳади геометрик ва энергетик мазмунларга эга. Буни аниқлаш учун бирор элементар оқимча олиб, унинг 1 — 1, 2 — 2 ва 3 — 3 кесимларини курамиз (3.7- расм). Бу кесимларнинг оғирлик маркази бирор 0 — 0 текислигидан z_1, z_2 ва z_3 масофаларда булсин. Булар қиёсий текислик 0 — 0 дан элементар оқимчанинг геометрик баландликларини курсатади. Энди, қабул қилинган 1 — 1, 2 — 2 ва 3 — 3 кесимлар текисликлари марказида пьезометр ва учи эгилган шиша трубкачалар урнатамиз. Бу ҳолда пьезометрларда суюқлик кесимлар оғирлик марказига нисбатан маълум баландликка кутарилади. Бу кутарилиш гидростатика қисмида курганимиздек кесимларда қуйидагига тенг булади:

$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma}, \quad h_2 = \frac{p_2}{\gamma}, \quad h_3 = \frac{p_3}{\gamma}.$$

h_1, h_2, h_3 лар пьезометрик баландликлар деб аталади. Одатда пьезометрлар ёрдамида труба ва бошқа идишларда, ҳаракат қилаётган суюқликнинг гидростатик босими улчанади.

Учи эгилган найчаларда суюқлик пьезометрдагига қараганда баландроққа кутарилади. Бунинг сабаби шундаки, шиша найларнинг эгилган учи суюқлик ҳаракати йуналишида булиб, гидростатик босимга қушимча равишда суюқлик тезлигига боғлиқ булган босим пайдо булади. Бунда суюқлик заррачаларининг

инерция кучи қўшимча босим вужудга келишига сабаб бўлади. Учи эгилган шиша найчалардаги баландлик қуйидаги миқдорларга эга бўлади:

$$h_1' = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}, \qquad h_2' = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}, \qquad h_3' = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{u_3^2}{2g}.$$

Пьезометрдаги суюқлик баландлиги билан учи эгилган шишалардаги баландлик фарқи

$$h_1' - h_1 = \frac{u_1^2}{2g},$$

$$h_2' - h_2 = \frac{u_2^2}{2g},$$

$$h_3' - h_3 = \frac{u_3^2}{2g}$$

ларга тенг бўлади ва *тезлик баландлиги* дейилади. Шундай қилиб, геометрик нуқтаи назардан Бернулли тенгламасининг ҳадлари қуйидагича аталади:

$\frac{u_1^2}{2g}, \frac{u_2^2}{2g}, \frac{u_3^2}{2g}$ — суюқликнинг тегишли кесимларидаги тезлик босими (баландлиги);

$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}, \frac{p_3}{\gamma}$ — пьезометрик баландликлар;

z_1, z_2, z_3 — геометрик баландликлар (тегишли кесимларнинг оғирлик маркази *0 — 0* текислигидан қанча баландликда турганини кўрсатади).

$\frac{u^2}{2g}, \frac{p}{\gamma}, z$ лар узунлик бирликларида ўлчанади. Пьезометрлаги суюқлик баландликларини бирлаштирсак, ҳосил бўлган чизиқ *пьезометрик чизиқ (P — P)* дейилади. Бернулли тенгламасида тезлик баландлиги, пьезометрик ва геометрик баландликларнинг умумий йиғиндиси ўзгармас миқдор бўлиб, у 3.7- расмда *N — N* чизиқ билан белгиланади ва суюқликнинг босим (дам) чизиғи деб аталади.

Гидродинамикала бу учта баландлик $\frac{u^2}{2g}, \frac{p}{\gamma}, z$ нинг йиғиндиси суюқликнинг тўлиқ босими (дами) деб аталади ва H билан белгиланади:

$$H = \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{const}. \tag{3.14}$$

Бу айтилганлар идеал элементар оқимча учун Бернулли тенгламасининг геометрик маъносини билдиради. Унинг энергетик маъноси кинетик энергиянинг ўзгариш қонунига асосланган. Бошқача айтганда, Бернулли тенгламаси суюқликлар учун энергиянинг сақланиш қонунидир. Бернулли тенгламаси (3.13) нинг чап томони элементар оқимчанинг *1 — 1* кесимидаги тўлиқ солиштирма энергияси бўлиб, у *2 — 2* кесимдаги тўлиқ солиштирма энергияга тенг ёки умуман ўзгармас миқдордир.

Бу ерда солиштирма энергия деб оғирлик бирлигига тўғри келган энергия миқдорига айтилади. Бу айтилганларга асосан Бернулли тенгламаси ҳадларининг энергетик маъноси қуйидагича бўлади:

$\frac{u_1^2}{2g}, \frac{u_2^2}{2g}, \frac{u_3^2}{2g}$ — элементар оқимчанинг $1-1$, $2-2$, $3-3$ кесимларига тегишли солиштирма кинетик энергияси;

$\frac{p_1}{\gamma}+z_1; \frac{p_2}{\gamma}+z_2; \frac{p_3}{\gamma}+z_3$ — элементар оқимча кесимлари учун солиштирма потенциал энергия;

$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}, \frac{p_3}{\gamma}$ — кесимларга тегишли босим билан ифодаланувчи солиштирма энергия;

z_1, z_2, z_3 — $1-1$, $2-2$, $3-3$ кесимларга тегишли оғирлик билан ифодаланувчи солиштирма ҳолат энергияси.

Суюқлик ҳаракати вақтида механиканинг қонунларига асосан иш бажарилади. Шу бажарилган ишлар бўйича Бернулли тенгламасини қуйидагича ифодалаш мумкин: иккита кесим учун ёзилган Бернулли тенгламаси (3.13) шу икки кесимда тегишли ҳадларининг айирмаларидан ташкил топади:

$\frac{u_r^2-u_2^2}{2g}$ — кинетик энергиянинг бирлик оғирлик учун ўзгариши;

$\frac{p_1-p_2}{\gamma}$ — босим кучи бажарган ишнинг бирлик оғирликка тегишли қисми;

z_1-z_2 — оғирлик бажарган ишнинг бирлик оғирликка тегишли қисми.

Бу айтилганлардан хулоса қилиб айтиш мумкинки, суюқлик ҳаракат қилаётганда солиштирма кинетик ва солиштирма потенциал энергиялар ҳаракат давомида ўзгариб боради, лекин тўлиқ солиштирма энергия ўзгармайди.

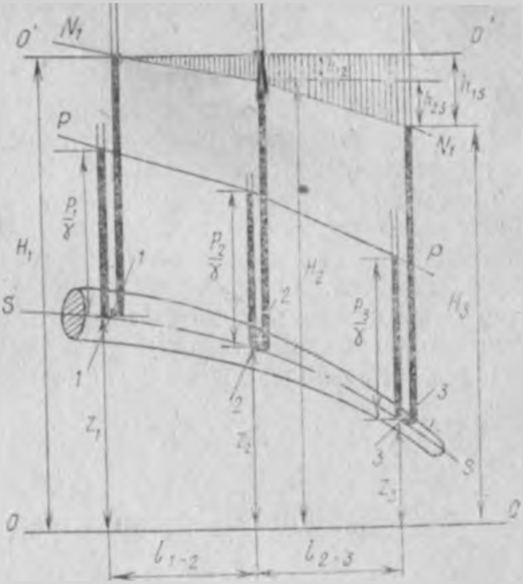
35- §. Реал суюқликлар элементар оқимчаси учун Бернулли тенгламаси

Энди реал суюқликнинг элементар оқимчаси учун Бернулли тенгламасининг графигини чизамиз (3.8- расм). Бунинг учун ҳаракат уқи $S-S$, $1-1$, $2-2$ ва $3-3$ кесимлардаги тезликлар u_1, u_2, u_3, босимлари p_1, p_2, p_3 бўлган элементар оқимча оламиз. Ҳосил бўлган оқимча учун кесимларда пьезометр ва учи эгилган иша найча оламиз. Пьезометрлардаги суюқлик баландликлари туташтириб, пьезометрик чизиқ ҳосил қиламиз. Учи эгик найчаларда суюқлик баландликларини туташтириб, суюқлик босими чизиғини оламиз. Бу олинган графикни идеал суюқликнинг элементар оқимчаси учун олинган график (3.7- расм) билан солиштирамиз. Натижада идеал суюқликлар учун суюқликнинг биринчи кесимидаги гидродинамик босими H_1 нинг иккинчи ва учинчи кесимлардаги гидродинамик босимларга тенглигини, яъни

$H_1 = H_2 = H_3 =$ const эканлигини, реал суюқликлар учун эса биринчи кесимдаги гидродинамик босим H_1 нинг иккинчи ва учинчи кесимлардаги босимларга тенг эмаслигини, яъни $H_1 \neq H_2 \neq H_3$ эканлигини кўрамиз. 3.8-расмдан кўриниб турибдики бу тенгсизлик қуйидагича ифодаланади:

$$H_1 > H_2 > H_3.$$

Демак, реал суюқликнинг элементар оқимчаси ҳаракат қилганда солиштирма энергиянинг маълум бир қисми йўқотилар экан. Биринчи ва иккинчи кесимлар орасидаги бу йўқотишни h_{1-2} билан белгилаймиз. Бунда индекс орасида йўқотиш булаётган кесимлар номерини курсатади. Масалан, иккинчи ва учинчи кесим орасида йўқотиш h_{2-3}, биринчи ва учинчи кесим орасидаги йўқотиш h_{1-3} ва ҳ.к. Айтилган йўқотишнинг моҳиятини қуйидагича изоҳлаш мумкин. Реал суюқликнинг элементар оқимчаси ҳаракат қилаётганда ички ишқаланиш кучи натижасида гидравлик қаршилик мавжуд булади ва уни енгиш учун албатта маълум бир миқдорда энергия сарфлаш керак булади. Бу сарфланган энергия курилаётган ҳаракат учун тикланмайди. Юқорида келтирилган тенгсизлик ана шу йўқотилган энергия ҳисобига ҳосил булади. Биринчи ва иккинчи кесимлар орасидаги йўқотилган солиштирма энергия гидравлик босимлар айирмасига тенг:



3. 8-расм Реал суюқлик учун Бернулли тенгламасининг геометрик маъносини тушунтиришга доир схема.

$$h_{1-2} = H_1 - H_2.$$

Юқорида кўрилганга асосан:

$$H_1 = \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1$$

$$H_2 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2,$$

бунда

$$h_{1-2} = \left(\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z\right) - \left(\frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2\right),$$

натижада қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\frac{u_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}+z_1=\frac{u_2^2}{2g}+\frac{p_2}{\gamma}+z_2+h_{1-2}. \qquad (3.15)$$

Олинган тенглама реал суюқликнинг элементар оқимчаси учун Бернулли тенгламасидир. Бу тенглама идеал суюқлик элементар оқимчасининг тенгламасидан ўнг томондаги тўртинчи ҳади h_{1-2} билан фарқ қилади. Бу ҳал $1-1$ ва $2-2$ кесимлар орасида босимнинг камайишини кўрсатади. Идеал суюқликларда ички ишқаланиш кучи ҳисобга олинмагани учун юқорида айтилган ҳад бўлмайди. Юқорида айтилганидек, оқим чексиз кўп элементар оқимчалардан ташкил топган. Демак, оқим учун Бернулли тенгламасини элементар оқимчалар энергияларини ҳаракат кесими бўйича интеграллаш йўли билан чиқариш мумкин:

$$\int_{\omega_1}\frac{u_1^2}{2g}d\omega+\int_{\omega_1}\frac{p_1}{\gamma}d\omega+\int_{\omega_1}z_1d\omega=\int_{\omega_2}\frac{u_2^2}{2g}d\omega+\int_{\omega_2}\frac{p_2}{\gamma}d\omega+$$

$$+\int_{\omega_2}z_2d\omega+\int_{\omega_2}h_{1-2}d\omega. \qquad (3.16)$$

Оқимнинг ҳар бир элементар оқимчаси учун тезликни ҳисоблаш қийин бўлгани учун (3.16) тенгламадаги интегралларни ҳисоблаш жуда мураккаб. Шуни назарга олиб, оқим учун Бернулли тенгламасидаги тезликлар ўртача тезлик v билан алмаштирилади. Бу Бернулли тенгламасидан фойдаланиладиган ҳисоблаш ишларида катта қулайлик туғдиради. Бу ҳолда элементар оқимчанинг геометрик баландлиги бўйича интеграл оқим ҳаракат кесими оғирлик марказининг геометрик баландлигига, босим бўйича интеграл эса ана шу геометрик баландликдаги нуқтага қўйилган босимга айланади. Элементар оқимчанинг $1-1$ ва $2-2$ кесимлари бўйича, босимнинг камайиши бўйича интеграл оқим учун босимнинг ўртача камайишига айланади. Солиштирма кинетик энергия интегралини тезликнинг ўртача қиймати бўйича кинетик энергия билан алмаштирсак, унинг миқдори камайиб қолади. Интеграл чексиз кўп миқдорларнинг йиғиндиси бўлгани учун буни квадратлар йиғиндиси мисолида кўрамиз. Масалан,

$u_1=10$ м/с, $u_2=11$ м/с, $u_3=9$ м/с.
$u_4=12$ м/с, $u_5=8$ м/с бўлсин. У ҳолда ўртача тезлик

$$u=\frac{u_1+u_2+u_3+u_4+u_5}{5}=10 \text{ м/с};$$

тезликлар квадратларининг ўртача қиймати

$$\frac{u_1^2+u_2^2+u_3^2+u_4^2+u_5^2}{5}=\frac{510}{5}=103 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Ўртача тезликнинг квадрати эса $v^2=100$ м^2/с. Бундан кўриниб турибдики, тезлик квадратларининг ўртача қиймати ўртача тез-

лик квадратидан катта экан. Шундай қилиб, қуйидаги тенгсизлик тўғри эканлигини кўриш мумкин:

$$\int_{\omega} \frac{u^2}{2g}\, d\omega > \frac{v^2}{2g}\, \omega.$$

Бу тенгсизликни интеграллаш йўли билан ҳам ҳисоблаш мумкин. Бу хатони тузатиш учун Бернулли тенгламасининг биринчи ҳадига α коэффициентини киритамиз. Бу коэффициент тезликнинг бир текис миқдорда бўлмаслигини ифодалайди ва Кориолис коэффициенти деб аталади. У ҳолда

$$\alpha = \frac{\int_{\omega} \frac{u^2}{2g}\, d\omega}{\frac{v^2}{2g}\, \omega}. \tag{3.17}$$

Шундай қилиб, юқорида айтилганларга асосан (3.16) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + H_{1-2}, \tag{3.18}$$

Бу ерда α_1, α_2 — биринчи ва иккинчи кесимларда тезликнинг нотекис тарқалганини ҳисобга олувчи коэффициент; H_{1-2} — биринчи ва иккинчи кесимлар учун босимнинг камайиши (йўқотиш).

Оқим учун ҳосил қилинган Бернулли тенгламасида қолган бошқа ҳадлар элементар оқимча учун бу ерда ҳам Бернулли тенгламасидаги каби аталади. Олинган Бернулли тенгламаси гидродинамика масалаларини ҳал қилишда энг муҳим тенглама бўлиб, у барқарор ҳаракатлар учун татбиқ қилинади ва тезлик ҳаракат кесими бўйича қанча кам ўзгарса, шунча кам хатолик беради.

36- §. Секин ўзгарувчан ҳаракат Йўқотишни ҳисобга олган ҳолда пьезометрик чизиқни қуриш

Секин ўзгарувчан ҳаракат деб тўғри чизиқли ва параллел оқимча ҳаракатига яқин бўлган ҳаракатга айтилади. Бундай ҳаракатда иккита оқим чизиқларининг эгриликлари кичик бўлади ва ҳар қандай иккита ёнма-ён l_1 ва l_2 оқим чизиқларининг ёйилиш бурчаклари 2α жуда кичик бўлиб, нолга интилади (3.9- расм). Бундай ҳаракатга кесими секин-аста ўзгариб борувчи трубалар ва ўзанлардаги ҳаракатлар мисол бўлади.

35- § да айтилганидек, реал суюқликларда энергиянинг бир қисмининг ички қаршиликларни енгишга сарф бўлиши натижасида элементар оқимчаларнинг *1 — 1*, *2 — 2*, *3 — 3* кесимларидаги

3. 9-расм. Секин ўзгарувчан ҳаракат учун оқим чизиқлари.

тўлиқ босимлар тенг бўлмайди, балки улар бир кесимдан иккинчи кесимга томон камайиб боради (3. 8- расм):

$$h_{1-2} = H_1 - H_2,$$
$$h_{2-3} = H_2 - H_3,$$
$$h_{1-3} = H_1 - H_3.$$

Босимнинг бундай камайиши натижасида босим чизиги пасайиб борувчи синиқ чизиққа айланади. Умумий ҳолда босим чизиги пасайиб борувчи эгри чизиқдан иборат бўлади. Шунинг учун пьезометрик чизиқни қуришда $1-1$, $2-2$ ва $3-3$ кесимлар учун пьезометрик босимлар қуйидагича ҳисобланади:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma}; \quad z_2 + \frac{p_2}{\gamma}; \quad z_3 + \frac{p_3}{\gamma}$$

ва ҳисоблаш текислигидан бошлаб, бу миқдорларни тегишли кесимларда қўшиб, уларнинг учлари туташтирилади. Ҳосил бўлган чизиқ 3.8- расмда $P-P$ чизигидир.

Босим чизигини қуриш учун эса тегишли кесимлардаги тўлиқ босимларни ҳисоблаб,

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g},$$

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g},$$

$$H_3 = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{g},$$

$1-1$, $2-2$ ва $3-3$ кесимларига қўямиз ва учларини туташтириб, $N_1 - N_1$ чизигини ҳосил қиламиз. (3.18) назарда тутсак, $N_2 - N_2$ чизиги босимнинг камайишини ҳисобга олган ҳол учун босим чизиги бўлади.

37-§. Гидравлик йўқотиш ҳақида тушунча. Гидравлик йўқотишнинг икки тури.

Реал суюқликларда икки кесим орасида энергиянинг йўқотилишини H_{1-2} билан белгилаймиз. Бу йўқотиш суюқликлардаги қовушоқлик кучи ҳисобига пайдо бўлади, яъни у қовушоқлик кучини енгишга сарф бўлади.

Трубопроводлардаги ҳаракатни текширганимизда масала асосан ишқаланиш кучини енгиш учун сарф бўлган йўқотишни ҳисоблашга келади. Бунда трубанинг $1-1$ ва $2-2$ кесимларининг сирти тенг бўлгани учун тезликлари ҳам тенг бўлади (3.10-расм), яъни ҳаракат текис бўлади. $1-1$ ва $2-2$ кесимлар орасидаги суюқлик устунига таъсир қилувчи кучлар — $P_1 = p_1 S$; $P_2 = p_2 S$ — босим кучлари, $G = \gamma S l$ — оғирлик кучи ва $T_{иш} = \tau \times l$ ишқаланиш кучидир.

$1-1$ ва $2-2$ кесимлар орасидаги суюқликнинг мувозанат ҳолати унга таъсир қилаётган кучлар орқали қуйидагича ёзилади:

$$P_1 - P_2 + G\sin\alpha - T = 0.$$

$\sin\alpha = \frac{z_1 - z_2}{l}$ эканлигини ҳисобга олсак, юқоридаги тенглама қуйидаги кўринишга келади

$$P_1 S - P_2 S + \gamma S l \frac{z_1 - z_2}{l} - \tau D l = 0.$$

Бундан текис ҳаракат учун Бернулли тенгламаси келиб чиқади:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{\tau}{\gamma}\frac{\pi D l}{S}.$$

3. 10 расм. Гидравлик йўқотиш тушунчасига доир.

Бу тенгламани (3.17) тенглама билан солиштирсак ва уни текис ҳаракат ($v_1 = v_2$) учун қулласак, гидравлик йуқотиш учун қуйидаги муносабатни оламиз:

$$H_{1-2} = \frac{\tau}{\gamma} \frac{\pi Dl}{S}, \qquad (3.19)$$

бу ерда τ — уринма зурикиш ёки солиштирма ишқаланиш кучи, яъни бирлик юзага туғри келган ишқаланиш кучи; l — оқим узунлиги; D — труба диаметри; $\chi = \pi D$ — ҳулланган периметр.

Гидравлик йуқотиш одатда икки турга ажратилади:

Узунлик буйича (ишқаланиш кучига сарф булган) йуқотиш оқим узунлиги буйича харакат ҳисобига вужудга келади ва унинг узунлигига боғлиқ булади. Бу йуқотиш (3.19) формула куринишида ифодаланади;

маҳаллий қаршилик оқимнинг айрим қисмларида нотекис ҳаракат ҳисобига вужудга келади. Нотекис ҳаракатни вужудга келтирувчи кисмлар труба ёки узаннинг кесим шакллари узгарган жойлари (тирсаклар, тусиқлар, кескин кенгайишлар, кескин торайишлар, кранлар ва ҳ. к.) булиб, бу ердаги гидравлик йуқотиш узунликка боғлиқ эмас.

Умумий гидравлик йўқотиш бу икки йуқотишнинг йиғиндисига тенг:

$$H_у = H_е + H_м \qquad (3.20)$$

бу ерда $H_е$ — узунлик буйича йуқотиш; $H_м$ — маҳаллий қаршилик.

Гидравлик йуқотиш суюқликнинг кинетик энергиясига боғлиқ булиб, энергиянинг ортиши билан ортади, камайиши билан эса камаяди. Шунинг учун гидравлик йуқотишни суюқликнинг кинетик энергиясига пропорционал қилиб олинади.

38-§. Тезлик ва сарфни улчаш усуллари ҳамда асбоблари

Суюқлик сарфини ва тезлигини улчашнинг энг осон усули ҳажмий ва оғирлик усулларидир.

1. Хажмий усулда суюқлик текширилаётган оқимдан махсус даражаланган идиш (мензурка)га тушади. Идишнинг тулиш вақти секундомер ёрдамида улчанади. Агар идишнинг ҳажми V, улчанган вақт T булса, ҳажмий сарф қуйидагига тенг булади:

$$Q = \frac{V}{T}; \qquad \left[\frac{м^3}{с}\right]. \qquad (3.21)$$

Оқимнинг ҳаракат кесими маълум булса, унинг тезлиги (3.2) формула билан аниқланади.

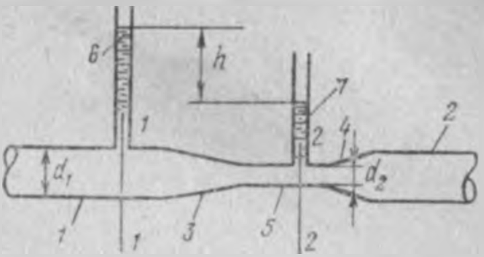
2. Оғирлик усулида бирор идишга оқимдан суюқлик туширилади. Уни тарозида тортиб, идишдаги суюқликнинг оғирлиги G топилади. Идишнинг тулиш вақти T булса, оғирлик сарфи қуйидагига тенг:

$$Q_G = \frac{G}{T}. \qquad (3.22)$$

Суюқликнинг ҳажмий сарфи оғирлик сарфини солиштирма оғирлигига бўлиш йўли билан аниқланади:

$$Q = \frac{Q_0}{\gamma}.$$

Бу усуллар, албатта, кичик миқдордаги сарфларни ўлчаш учун қўлланилади. Катта сарфларни ўлчаш учун эса катта ўлчов идишлари керак бўлади. Иккинчидан, трубопровод ва каналларда сарфни юқоридаги усул билан ўлчашда оқимнинг тузилиши ўзгаради ва натижа катта хатолар билан чиқади. Шунинг учун, кўпинча, труба ва каналлардаги сарф бошқа усуллар билан ўлчанади.



3. 11-расм. Вентури сув ўлчагичи:

1, 2—катта диаметрли трубалар, *3*—торайювчи труба (конфузор), *4*—кенгаювчи труба (диффузор), *5*—кичик диаметрли патрубок, *6, 7*,—пьезометрлар.

3. **Вентури сув ўлчагичи** махсус трубадан сув ўтишига асосланган бўлиб, тузилиши содда ва ҳаракатланувчи қисмлари йўқ (3.11-расм). Вентури сув ўлчагичи талабга қараб вертикал ёки горизонтал жойлаштирилади. Унинг горизонтал ҳолдагисини кўрамиз.

Вентури сув ўлчагичи иккита бир хил d_1 диаметрли *1* ва *2* труба бўлакларидан ташкил топган бўлиб, улар диффузор *3* ва *4* ҳамда кичик d_2 диаметрли патрубок орқали туташтирилган. Конуссимон торайиб борувчи труба *3* нинг кичик d_2 диаметрли труба билан туташган жойида қаршиликни камайтириш учун силлиқ туташтирилади. Бундай туташтирилган трубалар сопло деб аталади. Унинг *1—1* ва *2—2* кесимларига пьезометрик найчалар ўрнатилган бўлиб, улар шу кесимлардаги босимлар фарқи h ни кўрсатади. Труба горизонтал бўлгани учун $z_1 = z_2$ демак, *1—1* ва *2—2* кесимлари учун Бернулли тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma}.$$

бундан

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g},$$

лекин

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h \text{ бўлгани учун}$$

$$h = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}.$$

Узлуксизлик тенгламаси (3. 6) га асосан

$$v_1 = v_2 \frac{S_2}{S_1},$$

У ҳолда

$$h = \frac{v_2^2}{2g}\left[1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2\right],$$

бундан 2—2 кесимдаги тезликни топамиз:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}. \tag{3.23}$$

У ҳолда суюқлик сарфи қуйидагича аниқланади:

$$Q = v_2 S_2 = S_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}. \tag{3.24}$$

Бу формула идеал суюқлик учун чиқарилган. Ҳақиқатда суюқликнинг икки кесими ўртасида босимнинг пасайиши ва тезликларнинг кесим бўйича бир текис тарқалмаганлиги туфайли юқоридаги формула бўйича ҳисоблаш натижаси ҳақиқий сарфдан фарқ қилади. Шунинг учун сарф формуласига тузатувчи коэффициент m ни киритамиз:

$$Q = mS_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}.$$

m коэффициенти турли сув ўлчагичлар учун турлича бўлиб, улар тегишли сув ўлчагич учун тажрибада аниқланади. Ҳисоблаш ишларида сарф одатда қуйидаги соддалаштирилган формула билан топилади:

$$Q = c\sqrt{h}, \tag{3.25}$$

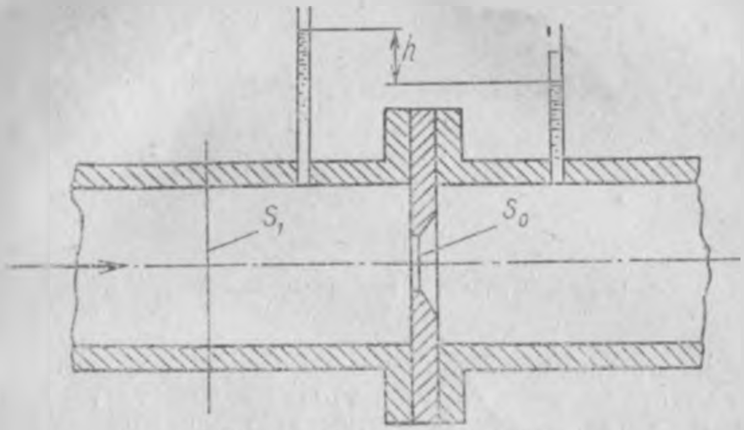
бу ерда

$$c = mS_2 \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}.$$

c коэффициенти сув ўлчагич доимийси деб аталади ва ҳар бир берилган сув ўлчагич учун ҳисоблаб қўйилади.

Баъзан суюқлик ҳажмини ўлчашда юқорида айтилган соплодан ҳам фойдаланиш мумкин. Бунинг учун унинг торайган қисмининг кичик диаметрли трубага ўтган жойида пьезометр ўрнатилади.

4. **Сув ўлчагич шайба (диафрагма)** икки труба бўлаги ўртасига ўрнатилган ҳалқадан иборат бўлиб, унинг ички айланма тешигининг чеккалари 45° бурчак остида қияланган ёки оқиб ўтувчи оқимча шаклида силлиқланган (сопло) кўринишида бўлади. Ҳалқанинг икки томонига икки пьезометр ёки дифференциал манометр ўрнатилган бўлиб, улар диафрагманинг икки томонидаги босимлар фарқини аниқлашга ёрдам беради (3. 12-расм).



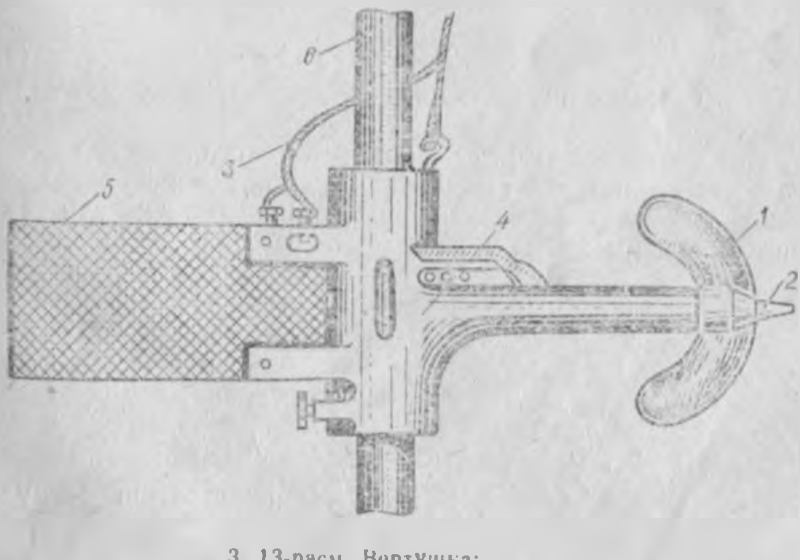
3.12-расм. Сув ўлчагич шайба.

Сарфни пьезометрлардаги суюқлик сатҳларининг фарқи орқали қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$Q = c_1 \sqrt{h}. \qquad (3.26)$$

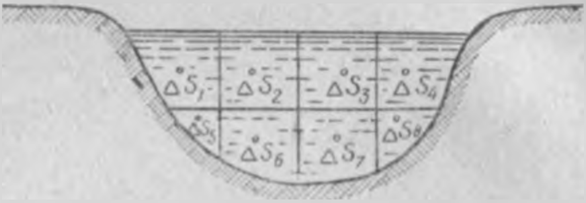
c_1 коэффициент ҳар бир диафрагма учун алоҳида тажриба ўтказиб аниқланади.

5. **Вертушка** (3.13-расм) вал *2* га ўрнатилган, айланма куракчалар *1* га эга булган ғилдирак булиб, асосий корпусга маҳкамланган булади. Вертушкани сув оқимига туғри йуналтириш учун корпус *4* га қанотча ўрнатилган. Вертушкадан электр қунғироққа ўтказгичлар *3* тортилган булиб, куракчалар айлан-



3.13-расм. Вертушка:

1—куракчалар, *2*—вал, *4*—корпус, *5*—қанотча, *6*—вертушканинг дастаги.



3. 14-расм. Каналда вертушка ёрдамида тезликни ўлчашга доир схема.

ганида электр занжири туташиши туфайли қўнғироқ жиринглайди ёки махсус счётчик айланиш сонини автоматик равишда ҳисоблайди. Сувга туширилган вертушкаларнинг куракчалари сувнинг тезлигига қараб секинроқ ёки тезроқ айланади. Шунинг учун суюқликнинг тезлиги счётчикнинг кўрсатиши ёки вақт бирлигида қўнғироқнинг жиринглаш сонига қараб аниқланади. Каналларда суюқлик сарфини топиш учун уларнинг кўндаланг кесимини ΔS_1, ΔS_2, . . . элементар юзачаларга бўлиб чиқамиз (3.14-расм). Бу юзачаларнинг геометрик марказлардаги тезликларини вертушка ёрдамида ўлчаб, уларни юзачаларга кўпайтирсак, ҳар бир кесим бўйича сарф келиб чиқади:

$$q_1 = v_1 \Delta S_1,$$

$$q_2 = v_2 \Delta S_2,$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

Каналда оқаётган суюқлик сарфи бу сарфларнинг йиғиндисига тенг:

$$Q = \Sigma q = v_1 \Delta S_1 + v_2 \Delta S_2 \ldots \qquad (3.27)$$

Бу усул гидрометрик ўлчашларда энг кўп қўлланиладиган усулдир.

6. **Пито найчаси** учи тўғри бурчак ҳосил қилиб эгилган найча бўлиб, унинг эгилган учи суюқлик оқими йўналишига қарама-қарши қилиб қўйилади, найчанинг иккинчи учи суюқликдан ташқарига чиқиб туради (3.15- расм). Бу ҳолда эркин сиртда ва найчадаги суюқлик сатҳида босим атмосфера босимига тенг. Шу сабабли найчадаги суюқликнинг баландлиги оқимнинг тезлик босимидан иборат бўлади, яъни

3. 15-расм. Пито найчаси.

$$h = \frac{v^2}{2g}.$$

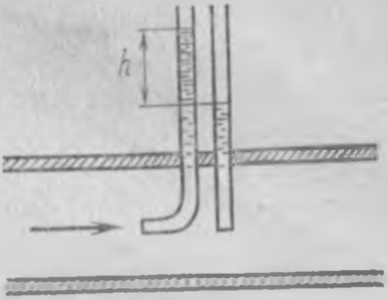
Бундан тезликни топиш формуласи келиб чиқади:

$$v = \sqrt{2gh}. \qquad (3.28)$$

Тезликнинг ҳақиқий миқдори, суюқликка туширилган найча ҳаракат тартибини бузганлиги учун, охирги формула билан ҳисобланган миқдорга тўғри келмайди. Шунинг учун бу формулага тузатиш коэффициенти a киритилади:

$$v = a\sqrt{2gh}, \qquad (3.29)$$

бу ерда a коэффициент ҳар бир найча учун алоҳида тажрибада аниқланади.

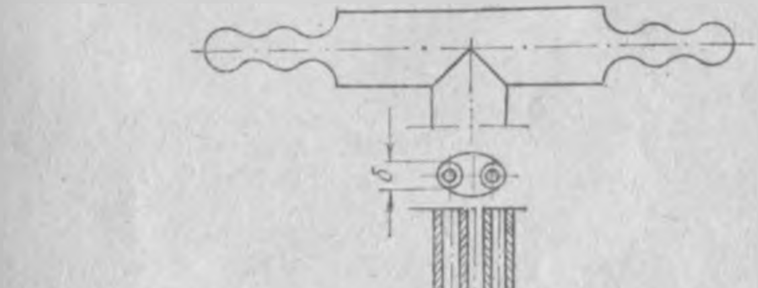


3. 16-расм. Прандтль найчаси

Пито найчаси очиқ сиртли оқимларда тезликни ўлчаш учун қўлланилади.

7. **Прандтль найчаси** Пито найчасининг қулайлаштирилгани бўлиб, у трубалардаги тезликларни ўлчаш учун қўлланилади (3.16-расм) ва иккита найчадан иборат бўлади. Улардан бири Пито найчаси, иккинчиси пьезометрдир. Пьезометрдаги суюқлик баландлиги пьезометрик босим $\frac{p}{\gamma}$ дан иборат бўлса, Пито найчасидаги суюқлик баландлиги тўлиқ босим $\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$ дан иборат бўлади. Шунинг учун бу икки найчадаги баландликлар фарқи тезлик босимидан иборат бўлади ва тезликни топишга ёрдам беради:

$$v = a_1\sqrt{2gh}. \qquad (3.30)$$



3. 17-расм. Амалдаги Прандтль найчаси.

Ҳозирги мавжуд асбобларда бу иккита найча битта катта найча ичига жойлаштирилган (3.17-расм) булиб, уларнинг учлари микроманометр ёки дифференциал манометрларга туташтирилган. Агар манометрлардаги суюқлик оқаётган суюқликдан фарқ қилса, Прандтль найчасининг учи туширилган нуқтадаги тезлик қуйидаги формула билан топилади:

$$v = a_1 \sqrt{2gh\left(\frac{\gamma_1}{\gamma} - 1\right)}; \qquad (3.31)$$

бу ерда: h — дифманометр найчаларидаги сатҳлар фарқи ва γ_1, γ — дифманометрдаги ва текширилаётган суюқликларнинг солиштирма оғирликлари; a_1 — экспериментдан топиладиган, қиймати 1 дан 1,04 гача узгарувчи коэффициент.

Прандтль найчаси ёрдамида суюқлик оқими кесимининг ҳар хил нуқталаридаги тезликни улчаб, бу кесим буйича тезликнинг узгаришини ва сарфини топиш мумкин.

39-§. Кавитация ҳодисаси

Табиатда ва гидромашиналарда суюқликда оз миқдорда эриган ҳолда ҳаво таркибидаги газлар учрайди. Босим ортиши ёки температуранинг камайиши билан эриган газ миқдори ортади ва аксинча, босим камайганда ёки температура ортганда унинг миқдори камаяди. Шунинг учун босим камайиши ёки температура ортиши билан суюқликдаги эриган газларнинг бир қисми ажралиб чиқиб пуфакчалар ҳосил қилади. Босим камайганда сув ҳам бугланади, лекин енгил компонент сифатида эриган газлар тезроқ ажралиб чиқиб пуфакчалар ҳосил қилади. Газ пуфакчаларининг пайдо булиши билан суюқликнинг туташлиги бузилади, туташ муҳитларга тааллуқли қонунлар уз кучини йуқотади. Бу ҳодисага кавитация дейилади. Пуфакчалар суюқлик ичида юқори температурали ёки паст босимли соҳалар томонга ҳаракат қилади. Агар у етарли даражадаги босимга эга булган соҳага келиб қолса, газ яна эриб кетади (яъни буг конденсацияланади).

Эриган газ урнида пайдо булган бушлиққа суюқлик заррачалари интилади ва бушлиқ бирданига кескин ёпилади. Бу эса ҳозиргина бушлиқ булган ерда гидравлик зарбни вужудга келтиради ва натижада бу ерда босим кескин ортиб, температура кескин камаяди.

Бундай гидравлик зарб ва уни вужудга келтирган кавитация ҳодисаси труба деворлари ва гидромашиналарнинг суюқлик ҳаракат қилувчи қисмларининг бузилишига олиб келади. Кавитацияга қарши кураш усуллари тугрисида кейинчалик тухталамиз.

40-§. Суюқликнинг ламинар ва турбулент ҳаракати. Рейнольдс сони ва унинг критик қиймати

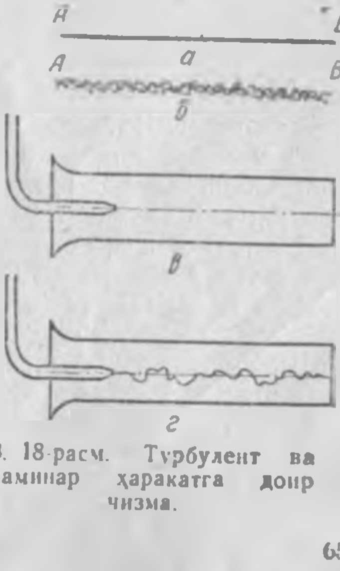
Куп ҳолларда трубопроводлардаги ҳаракатлар текис ҳаракат булади, яъни тезлик оқим йуналиши буйича узгармайди. Бу

ҳолда ҳаракатининг қандай булишига, асосан, ички ишқаланиш кучи таъсир қилади. Бунда унинг икки кесимидаги босимлар фарқи ишқаланиш кучининг ва геометрик баландликлар фарқининг катта ёки кичиклигига боглиқ булади. Бу кучлар таъсирида трубопроводлардаги ҳаракат тезлиги ҳар хил булиши мумкин. Тезликнинг катта-кичиклигига қараб суюқлик заррачалари тартибли ёки тартибсиз ҳаракат қилади. Бу ҳаракатлар асосан икки хил бўлади: *ламинар* ҳаракат ва *турбулент* ҳаракат.

Ламинар ҳаракат вақтида суюқлик заррачалари қават-қават бўлиб жойлашади ва улар бир қаватдан иккинчи қаватга утмайди. Бошқача айтганда, суюқлик заррачалари оқимлар ҳаракатига кундаланг йўналишда ҳаракатланмайди ва уни қуйидагича таърифлаш мумкин.

Агар ҳаракат фазосида бирор A нуқта танлаб олсак, шу нуқтада албатта суюқликнинг бирор заррачаси булади. Ҳаракат натижасида шу заррача A нуқтадан силжиб, унинг урнини бошқа заррача эгаллайди. Иккинчи заррача ҳам A нуқтада тўхтаб турмайди ва унинг урнини учинчи заррача эгаллайди ва ҳ. к. Энди, A нуқтага биринчи келган заррача ҳаракатланиб, бирор B нуқтага AB чизиги буйича келса (3.18-расм, *а*), унинг кетидан келган иккинчи заррача ҳам A нуқтадан B нуқтага AB чизиги бўйича келса, учинчи заррача ҳам аниқ AB чизиғи бўйича ҳаракатланса ва A нуқтага келган бошқа заррачалар ҳам AB чизиги орқали (3.18-расм, *а*) B нуқтага келса, бундай ҳаракатга *ламинар ҳаракат* дейилади. Баъзан ламинар ҳаракатнинг бундай тартиби параллел *оқимчали ёки тинч ҳаракат* деб ҳам аталади.

Ламинар ҳаракатни тажрибада кузатиш учун суюқлик оқаётган шиша трубанинг бошлангич кесимига шиша найча орқали рангли суюқлик қуйиб юборилади, бунда рангли суюқлик аралашмасдан тўгри чизиқ буйича оқимча куринишида кетади (3.18-расм, *в*). Агар суюқликнинг тезлигини ошира борсак, ҳаракат тартиби узгариб боради. Тезлик маълум бир чегарадан утгандан кейин заррачаларнинг кинетик энергияси кўпайиб кетиши натижасида улар кўндаланг йўналишда ҳаракат қила бошлайди. Натижада заррачалар узи ҳаракат қилаётган қаватдан қушни қаватга ўтиб, энергиясининг бир қисмини йўқотади ва яна уз қаватига қайтиб келади. Оқимнинг тезлиги жуда ошиб кетса, заррачалар бир қаватдан иккинчи қаватга тез ута бошлайди. Натижада суюқлик ҳаракатининг тартиби бузилади. Бундай ҳаракатга *турбулент ҳаракат* дейилади ва уни қуйидагича таърифлаш мумкин.



3. 18-расм. Турбулент ва ламинар ҳаракатга доир чизма.

Юқорида айтганимиздек A нуқтадан утаётган заррачаларни курсак, биринчи заррача B нуқтага текис чизиқ билан эмас, қандайдир эгри чизиқ буйича келади. Ҳатто у B нуқтага аниқ келмаслиги мумкин. Биринчисининг кетидан келаётган иккинчи заррача ҳам A дан B га эгри-бугри чизиқ билан келади. Лекин бу чизиқ биринчи заррача юрган чизиқдан фарқ қилади. Учинчи заррача эса A дан B га учинчи эгри-бугри чизиқ билан келади. Шундай қилиб, турбулент ҳаракатда ихтиёрий A нуқтадан утувчи ҳар бир суюқлик заррачаси B нуқтага узига хос эгри чизиқ билан келада (3. 18- расм, *б*), баъзи заррачалар B нуқтага келмаслиги ҳам мумкин. Юқорида айтилган усул билан трубада оқаётган суюқлик оқимининг бошланғич кесимида ранг қушиб юборсак , у тезликнинг маълум бир миқдоридан бошлаб эгри чизиқ буйича кетади (3.18 - расм, *г*). Тезликни оширишни давом эттирсак, ранг суюқликка бутунлай аралашиб кетади. Бундан куринадики, суюқликнинг параллел оқимчали тартиби бузилади. Суюқлик ҳаракатининг бу икки тартибини инглиз олими О. Рейнольдс тажрибада ҳар томонлама текширган ва натижаларини 1883 йилда эълон қилган. Рейнольдс суюқликлар ҳаракатининг муҳим қонуниятини кашф қилди. Суюқликнинг ҳаракатини оқим тезлиги билан улчами купайтмасининг қовушоқлик кинематик коэффициентига нисбатидан иборат улчовсиз миқдор характерлар экан. Бу миқдор олимнинг шарафига Рейнольдс сони деб аталади ва R_e билан белгиланади. Цилиндрик трубалардаги оқим учун Рейнольдс сони қуйидагича ҳисобланади:

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu}. \tag{3.32}$$

Турли шаклдаги ноцилиндрик трубалар ва узанлардаги оқимлар учун Рейнольдс сони қуйидагича улчанади:

$$R_e = \frac{v \cdot d_{экв}}{\nu} = \frac{v \cdot 4R}{\nu}; \tag{3.33}$$

бу ерда d — трубанинг ички диаметри; $d_{экв}$—узан ёки ноцилиндрик трубанинг эквивалент диаметри (31 - § га қаранг);
R— гидравлик радиус.

Рейнольдс аниқлашича, юқорида айтилган улчовсиз миқдорнинг кичик қийматларида ҳаракат ламинар булиб, унинг ортиб бориши натижасида турбулент ҳаракатга айланади. (3.32) дан куриниб турибдики, Рейнольдс сони R_e ортиши учун ёки тезлик, ёки труба диаметри ортиши ёки булмаса, қовушоқлик кинематик коэффициенти камайиши керак.

Суюқликнинг ламинар ҳаракатдан турбулент ҳаракатга утиши Рейнольдс сони R_e нинг маълум критик миқдори билан аниқланади ва у Рейнольдс критик сони деб аталади ва $R_{e.кр}$ билан белгиланади. Бу сон цилиндрик трубалар учун $R_{e.кр} = 2320$ га тенг. Агар оқимни жуда силлиқ трубада ҳар қандай туртки ва тебранишлардан холи булган шароитда текширсак, Рейнольдс критик сони 2320 дан ва ҳатто ундан бир неча маротаба ортиқ

бўлиши мумкин. Лекин Рейнольдс сони маълум бир қийматдан ўтганидан кейин ҳаракат (ҳар қандай эҳтиёт чоралари кўрилмасин) албатта турбулент бўлади. Бу сон Рейнольдс юқори критик сони деб аталади ва $R_{e, кр, юк} = 10000$ га тенг бўлади. Бу сонга қиёс қилиб, юқорида келтирилган критик $R_{e, кр} = 2320$ сони Рейнольдс қуйи критик сони деб аталади. R_e Рейнольдс сони $R_{e, кр, к}$ дан кичик бўлганда барқарор ламинар ҳаракат бўлади, у $R_{e, кр, юк}$ дан катта бўлганда эса турбулент ҳаракат барқарорлашган бўлади. Агар Рейнольдс сони бу икки миқдор ўртасида, яъни $R_{e, кр, к} < R_e < R_{e, кр, юк}$ бўлса, турбулент ҳаракат беқарор бўлиб бу ҳолатни ўткинчи тартиб дейилади. Шундай қилиб, суюқлик ҳаракатида асосан икки тартиб: ламинар ва турбулент тартиб мавжуд. Бу тушунчани аниқроқ ифодаласак, у ҳолда уч хил тартиб мавжуд бўлиб, улар Рейнольдс сонига боғлиқ:

1) ламинар тартиб — $R_e < 2320$ да,
2) ўткинчи тартиб — $2320 < R_e < 10000$ да,
3) барқарорлашган турбулент тартиб — $R_e > 10000$ да.

Суюқлик ҳаракатини текширишда ва турли гидросистемаларни ҳисоблашда ҳаракат тартибининг қандай бўлишига қараб, фойдаланиладиган формулалар ва миқдорлар турлича бўлади. Шунинг учун турли ҳисоблаш ишларини бажаришдан олдин ҳаракат тартиби ламинар ёки турбулент эканлигини (3.32) формула орқали аниқлаб олиш зарур.

Суюқликларда ички қаршиликлар ҳам ҳаракат тартибига қараб ҳар хил ҳисобланади. Тажрибаларнинг кўрсатишича, ламинар ҳаракатда босимнинг пасайиши ўртача тезликнинг биринчи даражасига

$$H_{1-2} = K_л \cdot v,$$

турбулент ҳаракатда эса унинг n даражасига пропорционал бўлади:

$$H_{1-2} = K_т v^n$$

бу ерда $K_л$, $K_т$ — ламинар ва турбулент ҳаракат учун пропорционаллик коэффициентлари; n — даража кўрсаткичи, у 1,75 ва 2 орасида ўзгаради. Рейнольдс сони ортиши билан даража кўрсаткичи n ортади. Барқарор турбулент ҳаракат бўлганда $n = 2$ бўлади.

41-§. Гидродинамик ўхшашлик ҳақида тушунча. Гидродинамик ҳодисаларни моделлаш

Техникада гидравлик қурилмаларни яратишда ёки табиатдаги бирор ҳодисани текшириш учун лаборатория шароитида унинг кичрайтирилган моделлари ёрдамида тажрибалар ўтказилади ва бу тажрибалар натижасига қараб асосий қурилма ёки ҳодиса ҳақида хулоса чиқарилади. Моделларни ясаш ва улардан олинган натижаларни натурага ўтказиш учун модель билан натурал ҳодисани ўзаро боғловчи қонуниятларни билиш зарур бўлади. На

тура билан модель ўртасидаги бу қонуниятлар *ухшашлик қонуниятлари* деб аталади ва уларни ухшашлик ҳамда моделлаш назарияси текширади.

Икки физик процесснинг ўхшаш булиши учун унинг барча параметрлари маълум бир муносабатда булиши керак ва бу муносабатлар турли параметрлар учун турлича булади.

Икки хил ҳодиса бир-бирига ухшаш булиши учун, биринчидан, уларнинг геометрик параметрлари, иккинчидан кинематик ва динамик параметрлари ухшаш булиши керак.

Мисол учун сувнинг табиатда ёки техникада кузатилаётган ҳаракатида кавитация ҳодисаси мавжуд булса, унинг моделида геометрик ва кинематик ўхшашлик бўлишидан ташқари, худди шундай кавитация ҳодисаси мавжуд бўлиши керак. Ҳодисаларнинг ухшашлиги физик ўхшашлик, вақт ўхшашлиги, чегаравий шартларнинг ўхшашлигини ҳам уз ичига олиши керак. Булар икки ухшаш ҳодисалар учун бир исмли миқдорларнинг нисбатлари бир хил қийматга эга бўлишини тақозо қилади. Масалан, бир ҳодиса учун узунлик ўлчамлари l_1, l_2, l_3, ... l_n, биринчисига ухшаш, иккинчи ҳодисанинг узунлик ўлчамлари эса l_1^1, l_2^1, l_3^1 . . . . l^1_n булсин. У ҳолда, агар

$$\frac{l_1}{l_1^1} = \frac{l_2}{l_2^1} = \frac{l_3}{l^1_3} = \ldots . = \frac{l_n}{l^1_n} = \text{const} \qquad (3.34)$$

бўлса, бу ҳодисалар геометрик ўхшаш булади. Хусусан l_1, l_2, l_3, ...l_n трубанинг узунлиги, диаметри, тезлик ёки бошқа параметри ўлчанаётган нуқтанинг координаталари ва ҳ. к бўлиши мумкин. Юқорида айтилган ҳодисалар учун тезлик ўлчамлари v_1, v_2, v_2 . . . . . v_n ва v_1^1, v_2^1, v_3^1 . . . v^1_n булсин.
Агар

$$\frac{v_1}{v_1^1} = \frac{v_2}{v_2^1} = \frac{v_3}{v_3^1} = \ldots . = \frac{v_n}{v_n^1} = \text{const} \qquad (3.35)$$

бўлса, бу ҳодисалар кинематик ўхшаш булади. Хусусан v_1, v_2 v_3, ... v_n ўлчаш олиб борилаётган нуқталардаги тезликлардир.

Шу икки ҳодиса учун:

$$\frac{t_1}{t_1^1} = \frac{t_2}{t_2^1} = \frac{t_3}{t_3^1} = \ldots = \frac{t_n}{t^1_n} \qquad (3.36)$$

бўлса, уларда вақт ўхшашлиги мавжуд.

Юқорида келтирилган (3.34), (3.35), (3.36) нисбатларнинг тенглигини ифодаловчи ўзгармас миқдорлар *ўхшашлик доимийси* деб аталади ва узунлик a_l, тезлик a_v, вақт a_t билан белгиланади. Шунингдек, тезланиш учун a_a, зичлик учун a_ρ, ёпишқоқлик учун a_μ ва ҳоказо ўхшашлик доимийларини киритиш мумкин. Ўхшашлик назариясида юқорида келтирилган ухшашлик доимийлари икки ухшаш ҳодиса учунгина тааллуқли бўлмай, бир қанча ўхшаш ҳодисалар учун ҳам тааллуқли бўлса, у ҳолда улар *ўхшашлик аниқловчиси* деб аталади. Ўхшашлик аниқловчиларининг ухшашлик доимийсидан яна бир фарқи шундаки, улар бир қанча турли ўлчамлар комбинациясининг нисбати сифатида кўрилиши мумкин.

Масалан,

$$\frac{v_1 \cdot l_1 \nu_1}{\nu_1 v^1{}_1 l_1{}^1} = \frac{v l_2 \nu_2{}^1}{\nu_2 v^1{}_2 l^1{}_2} = \ldots = \frac{v_n l_n \nu^1{}_n}{\nu_n v^1{}_n l^1{}_n}$$

Агар ўхшашлик аниқловчиси оддий ўлчамлар нисбати билан ифодаланса уларга *симплекслар* дейилади. Агар ўхшашлик аниқловчиси ўлчамларнинг мураккаб комбинациясн нисбати сифатида ифодаланса, у ҳолда уларга *ўхшашлик критерийлари* дейилади. Мисол сифатида Ньютоннинг иккинчи қонунини кўрамиз. Биринчи ҳодиса учун

$$F_1 = m_1 \frac{dv_1}{dt} \tag{3.37}$$

иккинчи ҳодиса учун

$$F_2 = m_2 \frac{dv_2}{dt}\,. \tag{3.38}$$

Иккинчи ҳодиса учун ўхшашлик доимийлари a_f, a_m, a_v, a_t ларни киритсак (3.38) биринчи ҳодиса параметрлари орқали қуйидагича ифодаланади;

$$a_f F = a_m \frac{a_v}{a_t} m_1 \frac{dv_1}{dt}$$

ёки

$$\frac{a_f a_t}{a_m a_v} F_1 = m_1 \frac{dv_1}{dt}\,. \tag{3.39}$$

(3.38) билан (3.39) лар икки ўхшаш ҳодисалар учун ёзилганлиги сабабли улар бир хил бўлиши керак. Бунинг учун ўхшашлик доимийларидан ташкил топган қуйидаги ўзгармас миқдор бирга тенг бўлиши керак:

$$c = \frac{a_f a_t}{a_m a_v} = 1;$$

бундан

$$\frac{\frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{t_1}{t_2}}{\frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{v_1}{v_2}} = 1, \text{ ёки } \frac{F_1 t_1}{m_1 v_1} = \frac{F_2 t_2}{m_2 v_2}\,.$$

Бу муносабатни бир неча ўхшаш ҳодисалар учун умумлаштирсак, қуйидаги ўхшашлик аниқловчисини ҳосил қиламиз:

$$Ne = \frac{Ft}{m \cdot v} = \text{const};$$

бунга *Ньютон критерийси* дейилади.

Гидродинамик ўхшашликни қуйидаги критериал миқдорлар аниқлайди: *струхал критерийси* ёки *гомохронлик критерийси*:

$$\text{Sh} = \frac{il}{vt}\,; \tag{3.40}$$

Рейнольдс критерийси:

$$R_e = \frac{v \cdot l}{\nu}\,; \tag{3.41}$$

Эйлер критерийси:

$$E_u = \frac{p}{\rho v^2};\qquad(3.42)$$

Фруд критерийси:

$$F_r = \frac{v^2}{gl}.\qquad(3.43)$$

Юқорида куриб ўтилганлардан гидродинамика ухшашлик тўртта тенгликнинг бажарилиши билан таъминланади. Бундан келиб чиқадики, бу критериал миқдорлар уртасида қандайдир муносабат мавжуд бўлиб, улар қуйидаги куринишда ифодаланади:

$$\varphi(Sh,\ R_e,\ E_u,\ F_r) = 0.\qquad(3.44)$$

Агар ҳаракат барқарор бўлса, у ҳолда (3.44) нинг ўрнига

$$\varphi_2(R_e,\ E_u,\ F_r) = 0;\qquad(3.45)$$

муносабатдан фойдаланамиз.

(3.44) ва (3.45) муносабатлар критериал тенгламалар деб аталади. Критериал тенгламалардан фойдаланиш учун текширилаётган ҳодисанинг моделини лаборатория шароитида яратиб, унда экспериментлар утказамиз. Экспериментдан олинган натижалардан эса (3.44) ёки (3.45) тенгламани аниқланган куринишга келтириш учун фойдаланамиз. Куп ҳолларда (3.45) тенгламани ҳам соддалаштириб, оғирлик кучи ҳаракатга кам таъсир этадиган ҳолларда

$$\varphi_3(R_e,\ E_u) = 0\qquad(3.46)$$

куринишда қуллаймиз. Охирги тенглама юқори босим остида буладиган ҳодисалар учун яқин келади.

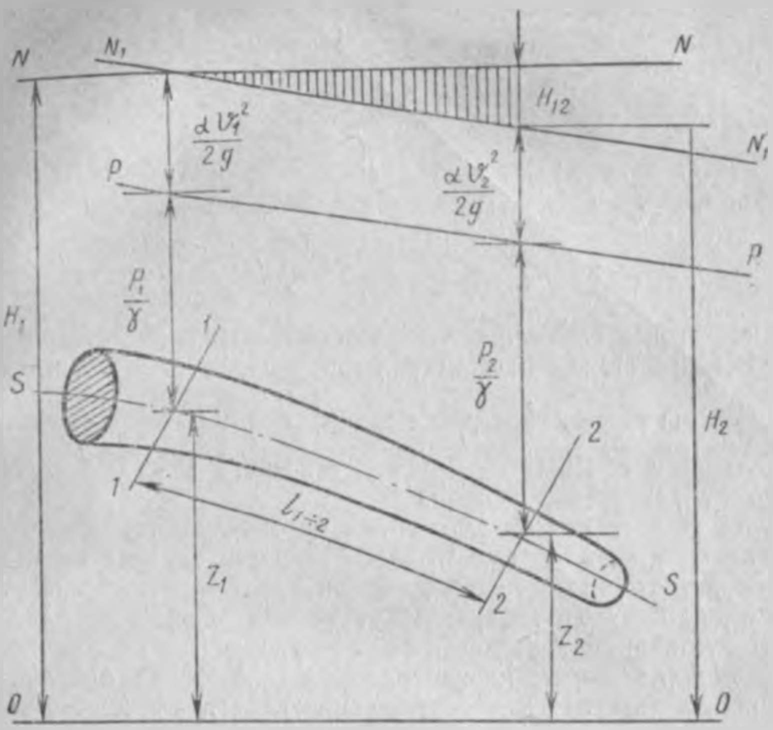
42- §. Текис ва нотекис ҳаракат ҳақида тушунча

Барқарор ҳаракатнинг икки тури бўлиши мумкин: текис ва нотекис ҳаракат. Суюқлик заррачаси вақт ўтиши билан ҳаракат йуналиши бўйича ҳаракат фазосининг бир нуқтасидан иккинчи нуқтасига утганда тезлиги узгариб борса, бундай ҳаракат *нотекис ҳаракат* булади. Нотекис ҳаракатда суюқлик ичида босим ва бошқа гидравлик параметрлар узгариб боради. Нотекис ҳаракатни кесими ўзгарувчан шиша трубада кузатиш қулайдир.

Агар суюқлик заррачаси вақт утиши билан ҳаракат йуналиши буйича ҳаракат фазосининг бир нуқтасидан иккинчи нуқтасига утганда тезлигини узгартирмаса, бундай ҳаракат *текис ҳаракат* булади. Текис ҳаракатда суюқликнинг гидравлик параметрлари ўзгармайди. Текис ҳаракатга кесими ўзгармайдиган трубаларда ва қиялиги бир хил каналлардаги суюқлик оқимининг ҳаракати мисол була олади.

43- §. Гидравлик қияликлар

Гидравликада ҳисоблашларни бажаришда ва суюқликдаги кучларни ҳисоблашда гидравлик ҳамда пьезометрик қияликлардан



3. 19-расм. Гидравлик қияликларга доир схема.

фойдаланилади. *Гидравлик қиялик* деб босим чизиғининг узунлик бирлигига туғри келган пасайишига айтилади.

3.19-расмда оқим учун босим чизиқлари ва пьезометрик чизиқлар келтирилган. Бу чизиқлар аслида эгри чизиқ бўлиб, расмда тўғри чизиқ кўринишида тасвирланган. Гидравлик қияликнинг таърифидан кўриниб турибдики, унинг ўртача қиймати *1 — 1* ва *2 — 2* кесимлар орасидаги қиялик орқали қуйидагича аниқланади:

$$I = \frac{\left(\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_1\right)}{l_{1-2}} = \frac{H_{1-2}}{l_{1-2}}, \quad (3.47)$$

бу ерда l_{1-2} — биринчи ва иккинчи кесим орасидаги масофа;

H_{1-2} — шу масофа орасида босимнинг пасайиши.

Агар босим чизиғи эгри чизиқ бўлса, у ҳолда гидравлик қиялик дифференциал кўринишда ёзилади:

$$I = \frac{dH}{dl} = -\frac{d\left(\frac{\alpha v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z\right)}{dl}.$$

Пьезометрик қиялик деб пьезометрик чизиқнинг узунлик бирлигига туғри келган пасайишига айтилади. Биринчи ва иккин-

чи кесим орасидаги (3.19- расм) уртача пьезометрик қиялик қуйидагича аниқланади.

$$I_{p1-2} = \frac{\left(\frac{p_2}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{l_{1-2}}. \qquad (3.48)$$

Пьезометрик чизиқ эгри чизиқдан иборат булганда пьезометрик киялик дифференциал куринишда аниқланади:

$$I_p = -\frac{d\left(\frac{p}{\gamma} + z\right)}{dl}.$$

Текис ҳаракат вақтида тезлик узгармаганлиги ($v_1 = v_2$ булгани) учун гидравлик ва пьезометрик қияликлар тенг булади.

44- §. Босимли ва босимсиз ҳаракат

Суюқлик оқимида босимнинг таъсирига қараб босимли ва босимсиз ҳаракатлар булади.

Босимли ҳаракат деб босим ва оғирлик таъсирида содир буладиган ҳаракатларга айтилади. Босимли ҳаракат вақтида суюқлик ҳар томондан деворлар билан уралган булиб, эркин сирт булмайди. Босимли ҳаракатга қувурларда босим таъсирида оқаётган суюқликнинг ҳаракати мисол булади.

Босимсиз ҳаракат вақтида суюқлик фақат оғирлик кучи таъсирида ҳаракат қилиб, эркин сиртга эга булади. Босимсиз ҳаракатга дарёлардаги, каналлардаги ва тулмасдан оқаётган трубалардаги сувнинг ҳаракатлари мисол булади. Булардан ташқари, суюқликларнинг секин узгарувчан ҳаракати ҳақида гапириш мумкин булиб, улар ҳақида 32- § да тухтаб утилди.

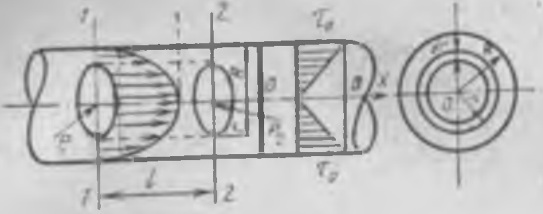
45- §. Цилиндрик трубада ламинар ҳаракат

Қовушоқ суюқликлар трубада ламинар ҳаракат қилганда унинг оқимчалари бир-бирига параллел ҳаракат қилади. Труба деворлари эса унга ёпишиб қолган суюқлик заррачалари билан қопланади.

Труба деворига ёпишиб қолган суюқлик заррачаларининг тезлиги нолга тенг булади. Суюқликнинг деворга ёпишган қаватидан кейинги қавати эса суюқлик заррачалари билан қопланган труба девори устида сирпаниб боради. Агар труба ичидаги суюқликни хаёлан чексиз куп юпка қаватларга ажратсак, у ҳолда ҳар бир қават узидан олдинги қават сиртида силжиб боради.

Юқорида айтилганларга кура труба девори сиртидаги қаватнинг тезлиги нолга тенг булиб, труба уқига яқинлашган сари тезлик ошиб боради. Уқда эса тезлик максимал қийматга эга булади. Шунинг учун труба ичидаги ишқаланиш кучи Ньютон қонуни билан ифодаланади:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr}.$$



3.20-расм. Цилиндрик трубада Ламинар ҳаракатга доир чизма.

Труба ичида узунлиги l ва радиуси r бўлган элементар найча ажратиб оламиз (3.20-расм). Бу найчанинг юзаси ds бўлган $1-1$ кесими бўйича p_1 босим, $2-2$ кесими бўйича эса p_2 босим таъсир қилсин. Радиуси R бўлган текширилаётган трубадаги ҳаракат горизонтал ва текис бўлсин. У ҳолда элементар найчага таъсир қилаётган кучлар қуйидагилардан иборат булади:

$1-1$ кесимдаги босим кучи

$$P_1 = p_1 ds;$$

$2-2$ кесимдаги босим кучи

$$P_2 = p_2 ds;$$

ишқаланиш кучи

$$T = \tau 2\pi \cdot r \cdot l = -\mu 2\pi r \cdot l \cdot \frac{du}{dr}.$$

Элементар найчанинг мувозанат шартидан

$$P_1 - P_2 + T = 0. \tag{3.49}$$

Элементар найча кесими $ds = \pi r^2$ эканлигини назарда тутиб, (3.49) дан қуйидаги тенгламани келтириб чиқарамиз:

$$\pi r^2 \cdot p_1 - \pi r^2 p_2 + \mu 2\pi r l \cdot \frac{du}{dr} = 0.$$

Бу тенгламадан қуйидаги дифференциал тенгламани келтириб чиқарамиз:

$$\frac{du}{dr} = -\frac{r}{2\mu} \frac{p_1 - p_2}{l}. \tag{3.50}$$

Охирги тенгламанинг ўзгарувчиларини ажратамиз

$$du = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu \cdot l} r \cdot dr$$

ва чап томонини u дан 0 гача, ўнг томонини эса r дан R гача интеграллаб, тезлик учун қуйидаги муносабатни келтириб чиқарамиз:

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu \cdot l} (r^2 - R^2) \tag{3.51}$$

Ҳосил қилинган тенглама парабола тенгламаси бўлиб, у тезликнинг цилиндрик труба кесими бўйича тақсимланишини кўрсатади. (3.51) дан кўриниб турибдики, трубадаги ҳаракат тезлиги $r=0$ да максимумга эришади:

$$u_{max} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \cdot R^2. \qquad (3.52)$$

Демак, цилиндрик трубада ламинар ҳаракат тезлиги кўндаланг кесим бўйича парабола қонуни бўйича тақсимланган бўлади. Тезликнинг максимал қиймати эса трубанинг ўқи бўйича йўналган бўлади. Энди трубада оқаётган суюқликнинг сарфини топамиз. Эни dr га тенг бўлган ҳалқа бўйича оқаётган (3.20- расм) элементар сарф қуйидагига тенг бўлади:

$$dQ = 2\pi r \cdot dr \cdot u.$$

Бу тенгликка (3.51) дан тезлик формуласини қўйсак қуйидагини оламиз:

$$dQ = -2\pi r \cdot \frac{p_1 - p_2}{4\mu \cdot l}(r^2 - R^2)\,dr.$$

Бу тенгламанинг чап томонини 0 дан Q гача, ўнг томонини эса 0 дан R гача интеграллаб қуйидаги формулани оламиз:

$$Q = \int_0^R 2\pi r \frac{p_1 - p_2}{4\mu l}(r^2 - R^2)dr = -\pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l}\int_0^R (r^2 - R^2) r \cdot dr =$$

$$= \pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l}\left(\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4}\right) = \frac{\pi R^4}{8\mu} \cdot \frac{p_1 - p_2}{l} \qquad (3.53)$$

ва ўртача тезликни топамиз:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\mu l \pi R^2} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} R^2. \qquad (3.54)$$

(3.52) ва (3.54) формулаларни солиштириб, трубада ламинар ҳаракат вақтида ўртача тезлик билан максимал тезлик орасидаги муносабатни топамиз:

$$v = \frac{u_{max}}{2}. \qquad (3.55)$$

Демак, цилиндрик трубада ламинар ҳаракат вақтида ўртача тезлик максимал тезликдан икки марта кичик экан.

46- §. Босимнинг камайишига ишқаланишнинг таъсири. Пуазейл формуласи

Энди трубада оқаётган суюқлик энергиясининг ишқаланишни енгишга сарф бўлишини текширамиз. Аввал труба кесими бўйича ишқаланиш кучининг тақсимланишини кўриб чиқамиз. Бунинг учун Ньютон қонуни формуласига тезлик формуласи (3.51) ни қўямиз. У ҳолда

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} = \frac{p_1 - p_2}{2l} \cdot r. \qquad (3.56)$$

Бу формуладан кўриниб турибдики, ишқаланиш кучи трубанинг ўқида нолга тенг бўлиб, унинг ўқидан деворларига қараб чизиқли қонун бўйича ортиб боради ва девор сиртида энг катта қийматга эришади (3.20- расм). (3.19) тенгламада цилиндрик трубадаги узунлик бўйича гидравлик йўқотиш ишқаланиш кучи орқали берилган эди. Энди бу формулага (3.56) ни қўямиз:

$$H_e = \frac{p_1 - p_2}{2\gamma l} R \frac{\pi D l}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}.$$

Кесимлардаги босим фарқи $p_1 - p_2$ ни (3.54) формуладан ўртача тезлик орқали ифодаласак:

$$p_1 - p_2 = \frac{8\mu l}{R^2} \cdot v = \frac{32\mu \cdot l}{D^2} \cdot v$$

ва гидравлик йўқотиш формуласига қўйсак, қуйидаги муносабатни оламиз:

$$H_e = \frac{32\mu \cdot l}{\gamma D^2} v. \tag{3.57}$$

У ҳолда гидравлик қиялик учун формула чиқариш қийин эмас. Бунинг учун (3.57) нинг икки томонини l га бўламиз:

$$I = \frac{H_e}{l} = \frac{32\nu}{gD^2} \cdot v \tag{3.58}$$

ва охирги тенгликни қуйидагича ёзамиз:

$$I = \frac{2 \cdot 32\nu}{g \cdot D \cdot 2D \cdot v} \cdot v^2 = \frac{64\nu}{vD2gD} \cdot v^2.$$

Цилиндрик трубалар учун Рейнольдс сони

$$R_e = \frac{v \cdot D}{\nu};$$

кўринишда ёзилгани учун

$$I = \frac{64}{R_e 2gD} v^2.$$

Демак, ламинар ҳаракат вақтида гидравлик қиялик ва босимнинг пасайиши Рейнольдс сонига боғлиқ экан. $\frac{64}{R_e}$ кўринишдаги миқдори гидравликада λ билан белгиланади:

$$\lambda = \frac{64}{R_e}$$

ва ишқаланиш қаршилиги коэффициенти ёки Пуазейл формуласи деб аталади. У ҳолда энергиянинг йўқолиши ва гидравлик қиялик учун Дарси Вейсбах формуласи деб аталувчи қуйидаги муносабатни оламиз:

$$H_e = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g};$$

$$I = \lambda \frac{1}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}. \tag{3.59}$$

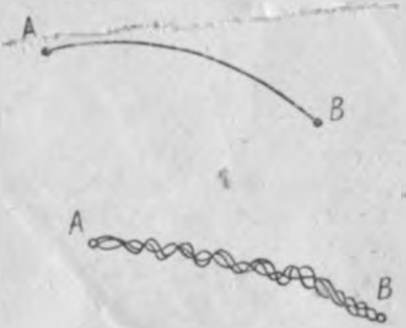
Шундай қилиб, ламинар ҳаракат вақтида труба узунлиги бўйича босимнинг пасайиши ва гидравлик қиялик солиштирма кинетик энергияга чизиқли боғлиқ экан.

47- §. Турбулент оқимнинг таркиби

Суюқликларнинг турбулент ҳаракати табиатда ва техникада энг кўп тарқалган бўлиб, гидравлик ҳодисалар ичида энг мураккаблари қаторига киради. Бу ҳаракат жуда кўп текширилган бўлишига қарамай ҳозиргача ҳаракатнинг турбулент тури учун умумлашган назария яратилган эмас. Шунинг учун ҳам турбулент оқимларни ҳисоблашда ярим эмпирик назариялардан фойдаланиш билан бир қаторда, кўп ҳолларда тажриба натижалари ва эмпирик формулалардан фойдаланишга тўғри келади.

Турбулент ҳаракатда суюқликнинг ҳар бир заррачаси жуда кўп мураккаб эгри чизиқли траектория бўйича ҳаракат қилади ва ҳар қандай икки заррачанинг траекториялари бир-бирига ўхшамайди. Буни кўз олдимизга келтириш учун бирор *A* нуқтадан кетма-кет ўтаётган заррачаларнинг *B* нуқтага қандай траектория бўйича етиб келишини кўриб чиқайлик (3.21-расм). Ламинар ҳаракат вақтида *A* нуқтадан чиққан *I* заррача бирор силлиқ эгри чизиқ бўйича *B* нуқтага келса, *II* заррача ҳам, *III* заррача ҳам ва улардан кейин келадиган заррачалар ҳам шу эгри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилади.

Турбулент ҳаракатда эса *A* нуқтадан чиққан биринчи заррача мураккаб эгри-бугри чизиқ бўйича *B* нуқтага келади. Иккинчи заррача эса биринчи заррачанинг траекториясидан тамомила бошқача бўлган иккинчи эгри-бугри чизиқ бўйича келади. Шунда ҳам у биринчи заррача келган *B* нуқтанинг аниқ ўзига келмай, унинг атрофидаги бирор бошқа нуқтага келиши мумкин. Учинчи заррача эса биринчи заррачанинг ҳам иккинчи заррачанинг ҳам траекториясига ўхшамаган учинчи эгри-бугри чизиқ бўйича келади, бироқ аввалги заррачалар келган нуқтанинг биронтасига ҳам келмай, *B* нуқта атрофидаги бошқа бир нуқтага келади.



3. 21-расм. Турбулент оқим таркибига доир.

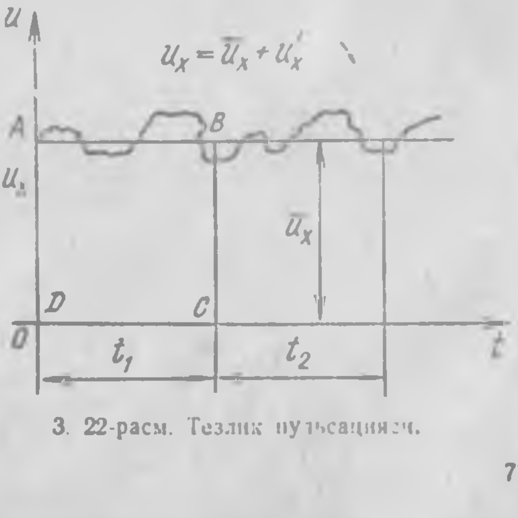
Бу ҳодиса *A* нуқтадан ўтаётган барча заррачаларга тегишлидир. Шундай қилиб, турбулент ҳаракат қилаётган суюқлик заррачаларининг ҳаракатини бирор формула билан ифодалаш ғоятда мураккабдир. Лекин ҳамма заррачалар бир томонга, *A* нуқтадан *B* нуқта томонга ҳаракат қилади. Шунга асосан бир қарашда тартибсиз ҳаракат қилаётгандек кўринган заррачалар ҳаракатида қандайдир умумийликни кўриш мумкин. Ҳатто бу

умумийликни фақатгина сифат ўхшашлиги кўринишида эмас, балки миқдор ўхшашлиги кўринишида ҳам ифодалаш мумкин. Ана шу ўхшашлик асосида турбулент ҳаракатнинг қонуниятлари келтириб чиқарилади.

48-§. Тезлик пульсациялари. Маҳаллий тенглаштирилган тезлик

Турбулент ҳаракат қилаётган суюқликнинг бирор нуқтадаги тезлигининг координата ўқларидаги проекцияларини текширамиз. Мисол учун тезликнинг оқим йўналишидаги проекцияси u_x бўлсин. У ҳолда u_x нинг миқдори вақт давомида ортиб ва камайиб боради. Бу ўзгаришни график кўринишда ифодаласак, у 3.22-расмда тасвирланган графикка ўхшайди ва тезлик проекциясининг пульсацияси деб аталади. Тезликнинг бошқа ўқларга проекциялари (u_y, u_z) учун ҳам худди шундай пульсация графиклари ясаш мумкин. Шундай қилиб, тезлик пульсацияси унинг бирор йўналишдаги проекциясининг вақт давомида ортиб ва камайиб боришидан иборат. Пульсация ҳодисасини тажрибада тезликни ўлчовчи асбоблар ёрдамида (масалан, Пито трубкасидаги суюқлик сатҳининг тебранишини) кузатиш мумкин. Оқаётган сувда сув ўтлари новдаларининг тўхтовсиз тебранма ҳаракат қилиши ҳам бизга пульсация ҳодисасини кўрсатади. Тезликнинг оний миқдори доимо ўзгариб тургани учун гидродинамикада *тенглаштирилган тезлик* тушунчаси киритилади ва у анча узоқ вақт давомида тезлик қабул қилган қийматларнинг ўртачаси бўлади.

Тенглаштирилган тезлик тушунчасини кўз олдимизга келтириш учун 3.22-расмдан фойдаланамиз. Графикда тезликнинг тебранишини тўлиқ характерлаш учун етарли бўлган t_1 вақт интервалини оламиз ва графикда вақт ўқига параллел қилиб шундай AB чизиқ ўтказамизки, ҳосил бўлган $АВСД$ тўртбурчакнинг S юзи $АВСД$ га, пульсация графигининг t_1 оралиқдаги бўлаги билан $ДС$ чизиғи орасидаги S^1 юз $A'B'СД$ а тенг бўлсин. У ҳолда $АВСД$ тўртбурчакнинг баландлиги тенглаштирилган тезликка тенг бўлади ва $\bar{u}_x$ билан белгиланади.



3. 22-расм. Тезлик пульсацияси.

Булар турбулент ҳаракатнинг беқарор ҳаракат эканлигини кўрсатади. Агар биз пульсация графигида t_1 интервал давомида етарли даражада узун t_2 интервал олсак ва бу интервал бўйича тенглаштирилган тезликни топсак, t_2 давомида аввалгидек учинчи

интервал олиб, яна тенглаштирилган тезликни топсак ва бу ишни давом эттирсак, барча интерваллар учун олинган тенглаштирилган тезликлар тенг бўлса, бундай ҳаракат турбулент ҳаракат учун барқарор бўлади.

Оқаётган суюқликда бирор элементар dS юза олиб, шу юзадан вақт ичида оқиб ўтган суюқликнинг ҳажми dV ни аниқласак, барқарор ҳаракат вақтидаги тенглаштирилган тезлик қуйидагича аниқланади:

$$\bar{u} = \frac{dV}{\Delta t\, dS}. \qquad (3.61)$$

3.22-расмдан кўриниб турибдики, тенглаштирилган ўртача тезлик оний тезликдан фарқ қилиб, бу фарқни ҳисоблаганда қуйидагича ифодаланади:

$$u_x = \bar{u}_x + u'_x. \qquad (3.62)$$

Оний ва тенглаштирилган тезликлар орасидаги фарқлар *тезлик пульсацияси* деб аталади, улар манфий ёки мусбат бўлиши мумкин. Кўриниб турибдики, тезликлар пулсацияларининг етарли катта t_1 интервалдаги йиғиндиси ёки интеграли нолга тенг:

$$\Sigma u'_x \Delta t = 0 \text{ ёки } \int_0^{t_1} u'_x dt = 0.$$

Энди, суюқликнинг оқимга кўндаланг йўналишдаги тезликларини текширсак, бу тезликлар билан оқимнинг бир томонида қанча суюқлик ҳаракат қилса, иккинчи томонидан ҳам шунча суюқлик ҳаракат қилади. Демак, суюқлик тенглаштирилган тезлигининг йўналиши доимо оқим йўналишига мос келар экан. Шунинг учун турбулент ҳаракат учун Бернулли тенгламасини ёзар эканмиз, бу тенгламадаги ўртача тезлик тенглаштирилган тезликнинг ўртача қийматини билдиради. Тезлик миқдори доимо ўзгариб тургани сабабли босим ҳам ўзгариб туради ёки бошқача айтганда босим ҳам пульсацияли бўлади. Шунинг учун тенглаштирилган босим $\bar{p}$ тушунчаси киритилади ва у оний босим p билан қуйидаги муносабат орқали боғланади:

$$p = \bar{p} + p',$$

бу ерда p' — босим пульсацияси.

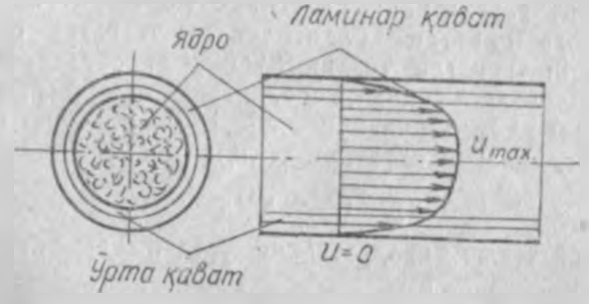
49-§. Тенглаштирилган тезликларнинг кесим бўйича тақсимланиши. Чегаравий ламинар қават

О. Рейнольдс (1895 й.) ва Ж. Буссенеск (1897 й) турбулент оқимни заррачаларининг тезликлари тенглаштирилган тезликлар билан ва босимлари тенглаштирилган босимлар билан алмаштирилган қандайдир шартли оқимга алмаштиришни таклиф қиладилар. Бундай шартли оқимга тенглаштирилган оқим ёки турбулент оқимнинг Рейнольдс модели дейилади. Табиийки, бундай оқимни текширишда тезлик пульсацияларини ҳисобга олмаймиз.

Беқарор ҳаракат вақтида Рейнольдс модели бўйича $\bar{u}$ лар вақт бўйича ўзгариб боради, барқарор ҳаракат вақтида эса улар вақтга боғлиқ эмас. Шундай қилиб, текширилаётган турбулент оқим учун Рейнольдс модели бўйича ҳисоблаш ишларида $\bar{u}$ ва $\bar{p}$ лардан фойдаланамиз. Турбулент оқимга Бернулли тенгламасини қўллашда тезлик ва босим деганда тенглаштирилган тезлик ва босимни тушунамиз, ёзувда эса соддалаштириш учун чизиқчаларини тушириб қолдирамиз. Л. Прандтлнинг ва бошқа олимларнинг текширишлари шуни кўрсатадики, турбулент ҳаракатда оқимнинг асосий қисми унинг ядросини, яъни марказий қисмини ташкил қилади. Ядрода суюқлик турбулент ҳаракат қилиб, унинг тезликлари ядро кесими бўйича деярли бир хил бўлади ва марказдан труба деворига яқинлашган сари бир оз камайиб боради. Девор ёнидаги суюқлик заррачалари эса, девор оқимнинг кўндаланг ҳаракат қилишига йўл қўймагани учун, девор бўйича ҳаракат қилиб, унинг траекторияси сезиларсиз тебранишга эга бўлади.

Шунинг учун девор ёнидаги заррачалар ламинар ҳаракат қилади. Ана шу ламинар ҳаракат қилаётган заррачалар юпқа қават ичида бўлиб, улар *ламинар қават* деб аталади. Ламинар қават билан ядро ўртасида яна бир юпқа қават бўлиб уни ўрта қават деб аталади. Бу қаватда суюқлик турбулент ҳаракат қилади. Жуда катта аниқлик ва эътибор билан ўтказилган тажрибалар ламинар қаватнинг қалинлигини аниқлашга ёрдам беради. Бу қаватнинг қалинлиги миллиметрнинг улушларига тенг бўлиб, Рейнольдс сони ортиши билан ламинар қаватнинг қалинлиги камаяди. Шундай қилиб, турбулент ҳаракатдаги тенглаштирилган тезликнинг тақсимланиши (3. 23) ламинар ҳаракатдаги тезликнинг тақсимланишидан тамомила фарқ қилади ва у ядрода деярли ўзгармаган ҳолда труба девори яқинида жуда тез камаяди, девор устида эса нолга тенг бўлиб қолади, яъни тенглаштирилган тезлик асосан ламинар ва ўрта қаватларда ўзгаради. Ҳозирги замон гидравликасида тезликнинг кесим бўйича тақсимланиш қонуни назария ва тажрибалар натижасида қуйидагича ифодаланади:

$$u = u_{max} - \frac{u^*}{\varkappa} \ln \frac{R}{R-r}; \qquad (3.63)$$



3. 23-расм. Турбулент ҳаракат учун тезлик эпюраси.

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}};$$

бу ерда τ_0 — труба деворидаги уринма зўриқиш; $\varkappa$ — тажрибада аниқланган коэффициент бўлиб, у 0,4 га тенг; R — трубанинг радиуси; r — трубанинг ўқидан бошлаб ҳисобланган масофа.

(3.63) тенгламадаги u_* нинг ўлчов бирлиги тезликнинг ўлчов бирлиги билан бир хил бўлиб, у одатда динамик тезлик деб аталади. Силлиқ трубалар учун тезлик формуласи ушбу кўринишда ёзилади:

$$u = u_*(5{,}15\ln\frac{ru_*}{\nu} + 5{,}5)$$

Ғадир-будур трубалар учун эса

$$u = u_*(5{,}75\lg\frac{r}{\Delta} + 8{,}5),$$

бу формула Δ — труба деворининг ғадир-будурлигини характерловчи миқдор бўлиб, у абсолют ғадир-будурлик деб аталади.

Амалда тезликнинг тақсимланишини даражали қонунлар билан ифодаловчи формулалар қулай келади. Карман назарий текширишлар натижасида силлиқ трубалар учун бу қонунни қуйидагича таклиф қилган:

$$u = u_{max}\left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{m}}, \qquad (3.64)$$

бу ерда m — тажрибада аниқланадиган коэффициент бўлиб, у R_e сонига боғлиқдир.

Турбулент оқимда ўртача тезликнинг максимал тезликка нисбати 0, 75 га тенг.

$$\frac{v}{u_{max}} = 0{,}75$$

Ламинар оқимда эса бу нисбат 0,5 га тенг эди. Рейнольдс сони ортиб борган сари турбулент қоришув тезлашиб боради ва ўртача тезлик билан максимал тезликнинг нисбати бирга интилади.

50- §. Турбулент ҳаракатда гидравлик йўқотишнинг табиати

Турбулент ҳаракатнинг Рейнольдс моделида биз пульсацияларни ҳисобга олмаган ҳолда, тенглаштирилган оқим оламиз. Лекин тенглаштирилган тезлик бўйича ҳисобланган оқим энергияси оний тезлик бўйича ҳисобланган оқим энергиясидан кам бўлади. Буни қуйидагича кўрсатиш мумкин. Оний ва тенглаштирилган тезликлар квадратини текширамиз:

$$u_x^2 = (u_x + u_x^1)^2;$$

у ҳолда оний тезлик квадратининг ўртача қиймати қуйидагича ҳисобланади:

$$\overline{u_x^2} = \overline{u}_x^2 + \overline{2u_x u_x^1} + \overline{u_x^1}.$$

Тезлик пульсациясининг ўртача қиймати нолга тенглигидан ўнг томондаги иккинчи ҳад ҳам нолга тенг. Тезлик пульсацияси вақт ўқи бўйича мусбат ва манфий қийматлар қабул қилгани билан унинг квадрати доимо мусбат. Буларга асосан:

$$\overline{u_x^2} = \overline{u}_x^2 + \overline{u'^2_x}$$

Бу тенгликдан кўринадики, келтирилган кинетик энергия учун қуйидаги тенгсизлик мавжуд:

$$\frac{\overline{u_x^2}}{2g} > \frac{\overline{u}_x^2}{2g}.$$

Бу қўшимча энергия турбулент ҳаракат қилаётган суюқлик зарраларининг суюқликнинг бир қаватидан иккинчи қаватига тартибсиз ўтиб туриши учун сарфланади. Шундай қилиб, қатламлар орасида энергия алмашинуви натижасида тезлик пульсациялари маълум миқдорда иш бажаради. Бу бажарилган иш суюқлик қаватлари орасида қўшимча уринма зўриқиш сифатида намоён бўлади. Ҳосил бўлган қўшимча уринма зўриқиш турбулент уринма зўриқиш деб аталади. Турбулент уринма зўриқиш $\tau_т$ Буссенеск формуласида Ньютон қонунига ўхшаш қабул қилинган бўлиб, ушбу кўринишда ифодаланади:

$$\tau = \mu_т \frac{du}{dn},$$

бу ерда $\mu_т$ — турбулент динамик ёпишқоқлик коэффициенти ёки турбулент алмашув коэффициенти деб аталади. Л. Прандтль $\mu_т$ коэффициентни тезлик градиентига пропорционал деб қабул қилган, у шундай ифодаланади:

$$\mu_т = \rho\, l_т^2 \frac{du}{dn},$$

бу ерда $l_т$ ни қоришув йўл узунлиги деб аталади. Турли авторлар бу қийматнинг физик мазмунини турлича изоҳлайдилар. Одатда у шундай аниқланади:

$$l_т = \varkappa y,$$

бу ерда y — ҳаракатланаётган зарраchанинг идиш деворидан бошлаб ҳисобланган координатаси; $\varkappa$—Прандтль универсал доимийси.

Никурадзе тажрибаларида аниқланишича, цилиндрик труба учун $\varkappa = 0{,}4$. (3,64) дан кўриниб турибдики, динамик қовушоқлик турбулент коэффициенти $\mu_т$ тезлик градиентига пропорционал бўлиб, молекуляр қовушоқлик коэффициенти μ дан ҳаракатнинг хусусиятига боғлиқлиги билан фарқ қилади. Бу коэффициентдан (1.13) ни назарда тутиб, турбулент кинематик қовушоқлик коэффициентини ёзамиз:

$$\nu_т = \frac{\mu_т}{\rho} = l^2 \frac{du}{dn}. \qquad (3.65)$$

51-§. Трубалардаги ҳаракат учун босимнинг пасайишига умумий формула

Реал суюқликлар учун Бернулли тенгламасида келтирилган босимнинг пасайиши H_{1-2} ни ҳисоблаш трубалар ва трубалар системасини ҳисоблашда асосий масала ҳисобланади.

Босимнинг пасайишини ҳисоблашнинг муҳимлиги шундаки, бу иш суюқлик трубаларда ҳаракатланганида трубадаги қаршиликларни енгиш учун сарф буладиган энергияни ҳисоблашга ва шу ҳисобга асосан лойиҳаланаётган труба (ёки трубалар системаси) да суюқлик оқизиш учун қанча энергия керак эканлигини аниқлашга имкон беради. Трубаларда босимнинг камайиши ишқаланиш қаршилиги ва маҳаллий қаршиликка боғлиқдир.

Ишқаланиш қаршилиги реал суюқликлар ички қаршилигига боглиқ булиб, трубаларнинг бутун узунлиги буйича таъсир қилади. Унинг миқдори суюқлик оқимининг тартиби (ламинарлик, турбулентлик даражаси) га боғлиқдир. Юқорида айтилганидек, турбулент тартиб вақтида, одатдаги қовушоқликка қушимча равишда турбулент қовушоқликка боғлиқ булган ва суюқлик ҳаракати учун қушимча энергия талаб қиладиган куч пайдо булади.

Маҳаллий қаршилик суюқлик ҳаракат қилаётган труба шаклининг узгаришига боғлиқ булган тезликнинг ҳар қандай узгариши вақтида пайдо булади. Буларга бир трубадан (ёки идишдан) иккинчи трубага утиш жойи, трубаларнинг кенгайиши ёки бирдан кенгайиб, бирдан торайиши, тирсаклар, оқим йуналишини узгартирувчи қурилмалар (кран, вентиль ва ҳ.к.) лар киради. Шундай қилиб, йуқотилган босим (3.20) формула буйича икки йиғиндидан ташкил топган булади:

$$H = H_l + H_м ,$$

бу ерда H_l — ишқаланиш қаршилиги ёки узунлик буйича босим йуқотилиши; $H_м$ — маҳаллий қаршилик.

Ламинар тартиб вақтида ишқаланиш қаршилиги юқорида келтирилган (3.57) ва (3.60) формулалардаги каби назарий усул билан аниқланади:

$$H_l = \frac{32\mu l}{D^2\gamma} v = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} .$$

Бу ифодадаги $\lambda = \frac{64}{Re}$ ни ишқаланиш қаршилиги коэффициенти деб атаган эдик. Купинча, уни соддароқ қилиб ишқаланиш коэффициенти дейилади. Цилиндрик трубаларда бу формула Рейнольдс сони 2320 дан кичик булган ламинар ҳаракатлар учун тажрибада олинган натижаларга жуда яқин келади. Турбулент ҳаракат учун ишқаланиш қаршилиги тажриба йули билан аниқланади. Уни назарий аниқлаб булмайди.

Турбулент ҳаракат устида олиб борилган тажрибалар ишқаланиш қаршилигининг солиштирма энергияга пропорционал эканлигини курсатади, яъни

$$H_l = \frac{v^2}{2g} \qquad (3.66)$$

Бу формулидаги пропорционаллик коэффициенти бир қанча миқдорларга боғлиқ бўлиб, уни текшириш учун қуйидаги хулосадан фойдаланамиз.

Жуда кўп тажрибалар $\frac{\tau}{\rho}$ миқдорининг тезлик босими ёки солиштирма кинетик энергия орқали қуйидагича ифодаланишини кўрсатади:

$$\frac{\tau}{\rho} = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{v^2}{2g} .$$

Бу тенгликни (3.60) билан таққослаганда:

$$\frac{\tau}{\rho} = RI = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

эканлигига ишонч ҳосил қиламиз. Бу ерда $I = \frac{H_l}{l}$ эканлигини ҳисобга олиб, текис барқарор ҳаракат учун узунлик бўйича ишқаланиш туфайли босимнинг пасайиши топиладиган формулани оламиз:

$$H_l = \lambda \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (3.67)$$

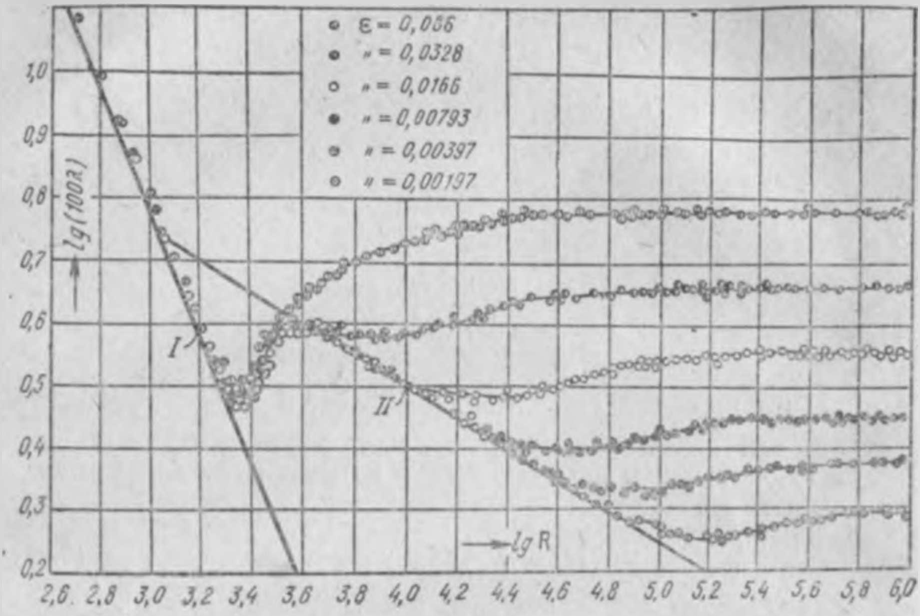
бу ерда l — трубанинг узунлиги; R — гидравлик радиус. Цилиндрик трубалар учун $D = 4R$ эканлигини ҳисобга олсак, охирги формула қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$H_e = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} . \quad (3.68)$$

(3.68) формула Дарси—Вейсбах ёки қисқача Дарси формуласи деб аталади. Бу формулага кирувчи коэффициент λ га гидравлик ишқаланиш коэффициенти ёки Дарси коэффициенти дейилади.

52- §. Ўткинчи зона

Ишқаланиш қаршилиги коэффициенти λ нинг Рейнольдс сонига боғлиқлигини жуда кўп олимлар (Блазиус, Прандтль, Карман, Конаков ва бошкалар) текшириб, эмпирик формулалар ҳосил қилдилар. Бу коэффициентнинг хусусиятлари ҳақида энг тўлиқ маълумот олишга ва унинг ғадир-будурликка боғлиқлигини аниқлашга И. Никурадзе тажрибаларининг натижалари имконият берди. У 1933 йилда труба деворига қум заррачаларини елимлаб ёпиштириб, сунъий ғадир-будурлик ҳосил қилди ва бу трубаларда тезликни ўзгартириш йўли билан Рейнольдс сонининг турли қийматларида гидравлик йўқотишни аниқлашга муваффақ бўлди. Сўнгра Дарси формуласидан фойдаланиб, ишқаланиш коэффициентини аниқлади. Никурадзе тажрибаларининг натижасини махсус график кўринишида ифодалади. Бу графикда координата ўқлари бўйича $lg 100\lambda$ ва $lg R_e$ миқдорларни қўйиб, турли нисбий ғадир-будурликлар учун тажриба натижаларидан 3.24-расмда келтирилган эгри чизиқларни олди. Бу графикдан кўриниб турибдики, λ ва R_e боғланиш соҳасида учта зона мавжуд. Бирин-



3. 24-расм. Никурадзе графиги.

чи зона ламинар тартиб зонаси булиб, тажриба нуқталари (3.59) формула асосида чизилган *I* туғри чизиқ устига тушади ва ғадир-будурликнинг турли қийматлари учун барча тажриба нуқталари шу туғри чизиқда ётади. Бу натижадан ламинар зонада ишқаланиш коэффициенти ғадир-будурликка боғлиқмаслиги куринади.

Бу зона учун қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин:

а) Рейнольдс сони R_e нисбатан кичик булиб, 1000 дан 2300 гача узгаради;

б) босимнинг пасайиши гадир-будурликка боғлиқ эмас;

в) λ тезликка туғри пропорционал булиб, Пуззейл формуласи (3.59) тажрибаларини яхши ифодалайди;

г) λ ни (3.59) формула билан ҳисоблаш мумкин.

Иккинчи зона турбулент тартибга туғри келади ва тажриба нуқталари Блазиус формуласи буйича чизилган *2* туғри чизиқ устига тушади ва гадир-будурликка боғлиқ эмас.

Бу зонада турбулент тартиб қатъий булмагани учун уни *ўткинчи зона* дейилади (яъни унинг ичида турбулент тартиб ламинар тартибга ва аксинча ламинар тартиб турбулентга утиш ҳодисаси юз беради).

Бу зонада:

а) Рейнольдс сони 2300 дан тахминан 10000 гача ўзгаради ва R_e га боғлиқ бўлади;

б) суюқликлар трубада ҳаракат қилганда айрим қисмларда турбулент тартиб пайдо бўлади ва ривожланиб бориб йўқ бўлади ва яна пайдо бўлади;

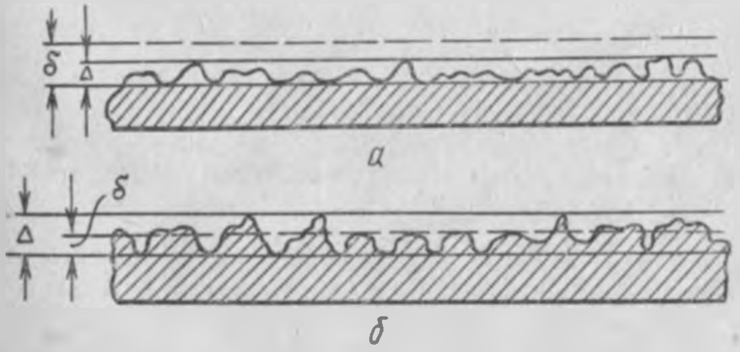
в) λ трубанинг ғадир-будурлигига боғлиқ эмас.

Учинчи зона турбулент тартибга тегишли бўлиб, барқарорлашган турбулентлик мавжуд бўлади. Бу зонада ишқаланиш коэффициенти Рейнольдс сони R_e га ҳам ғадир-будурлик ε га ҳам боғлиқдир.

53- §. Ғадир-будур трубалар. Ғадир-будурлик турлари, абсолют, нисбий ва эквивалент ғадир-будурлик ҳақида тушунча

Трубалар, каналлар ва новларнинг деворлари маълум даражада ғадир-будур бўлади. Ғадир-будурлик трубаларнинг қандай материалдан ясалгани ва силлиқланиш даражасига қараб уларнинг девор сиртидаги турлича катталикдаги пастлик ва дўнгликлар билан характерланади. Ғадир-будурликни характерлаш учун труба сиртидаги дўнгликларнинг ўртача баландлиги қабул қилиниб, у абсолют ғадир-будурлик деб аталади ва Δ билан белгиланади (3.25- расм). Агар абсолют ғадир-будурлик ламинар чегара қаватнинг қалинлигидан кичик бўлса, бу трубага *гидравлик силлиқ труба* дейилади (3.25- расм, *а*). Агар Δ ламинар қават қалинлиги δ дан катта бўлса, бу трубаларга ғадир-будур трубалар дейилади (3.25- расм, *б*)

Биринчи ҳолда ($\Delta < \delta$) труба сиртидаги дўнгликлар ламинар қават ичида қолади ва гидравлик қаршиликка сезиларли таъсир қилмайди. Иккинчи ҳолда $\Delta > \delta$ эса дўнгликлар ламинар қаватдан чиқиб қолади ва труба девори атрофидаги оқим хусусиятига таъсир қилиб, гидравлик қаршиликни оширади.



3. 25-расм. Гидравлик силлиқ ва ғадир-будур трубалар сиртининг схемаси.

3.1-жадвал. Трубалар учун абсолют ғадир-будурлик қийматлари

Трубалар	Δ, мм
Янги металл ва сопол трубалар текис жойлаштирилган ва туташтирилган ҳолда	0,01—0,15
Яхши ҳолатда ишлаб турган водопровод трубалари ва жуда яхши ҳолатдаги бетон трубалар	0,2—0,3
Озроқ ифлосланган водопровод трубалари, яхши ҳолатдаги бетон трубалар	0,3—0,5
Ифлосланган ва озроқ занглаган водопровод трубалари	0,5—2,0
Янги чўян трубалар	0,3—0,5
Кўп фойдаланилган эски чўян трубалар	1,0—3,0

Трубаларнинг ғадир-будурлигини аниқлаш анча мураккаб иш бўлиб, ҳисоблаш ишларини осонлаштириш мақсадида эквивалент ғадир-будурлик $\Delta_э$ деган тушунча киритилади. $\Delta_э$ трубаларни гидравлик синаш йўли билан аниқланади. Бунда гидравлик йўқотишни ҳисоблашда абсолют ғадир-будурлик учун шундай қиймат олинадики, у ҳақиқий ғадир-будурлик учун ҳисобланган гидравлик йўқотишга тенг бўлади.

Бизга маълумки, ламинар қатламнинг қалинлиги Рейнольдс сонига боғлиқ бўлиб, унинг ортиши билан камайиб боради. Шунинг учун Рейнольдс сонининг кичикроқ қийматларида гидравлик силлиқ бўлган трубаларни R_e нинг ортиши билан „ғадир-будур" труба сифатида кўрилади. Бундан кўринадики, абсолют ғадир-будурлик труба деворининг оқим ҳаракатига таъсирини тўлиқ ифодалай олмайди. Шунингдек, трубанинг ғадир-будурлиги унинг диаметрининг катта-кичиклигига қараб суюқлик оқимига турлича таъсир кўрсатиши мумкин.

Буларни ҳисобга олиш мақсадида ўхшашлик қонунларини қаноатлантирадиган ва оқим гидравликасига ғадир-будурликнинг таъсирини тўлароқ ифодалайдиган нисбий ғадир-будурлик тушунчаси киритилади ва у абсолют ғадир-будурликнинг труба диаметрига нисбатига тенг деб олинади:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{D}.$$

Нисбий ғадир-будурликдан фойдаланиш трубалардаги ишқаланиш қаршилигини ҳисоблашда анча қулайдир.

54-§. Гидравлик йўқотиш коэффициенти учун формулалар ва уларнинг қўлланилиш соҳалари

Дарси коэффициенти λ нинг Рейнольдс R_e сонининг ортишига қараб қандай ўзгариб боришини юқорида, Никурадзе графиги асосида кўриб чиқдик. Кўриб ўтилган соҳаларда λ нинг ўзгариш қонунини эмпирик формулалар билан ифодалашда жуда кўп авторларнинг ишлари бор. Масалан, силлиқ трубалар соҳасида

Блазиус, П. К. Конаков ва Л. Прандтль формулаларидан фойдаланилади. Блазиус формуласи:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt[4]{100R_e}} = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}}. \tag{3.69}$$

Бу формула Рейнольдс сони $R_e < 10^5$ бўлганда тажрибаларга яхши мос келади. Рейнольдс сонининг каттароқ диапазонлари (R_e нинг $3 \cdot 10^6$ гача миқдорлари) учун П. К. Конаков формуласидан фойдаланиш мумкин:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8\lg R_e - 1,5)^2} \tag{3.70}$$

1932 йили Л. Прандтль қуйидаги формулани келтириб чиқарди:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\lg(R_e\sqrt{\lambda} - 0,8). \tag{3.71}$$

Келтирилган формулалар силлиқ трубалар учун чиқарилган бўлиб, ғадир-будур трубалар учун улардан фойдаланиб бўлмайди. 1938 йил Кольбрук ўзининг ва бошқа авторларнинг тажрибалари асосида техник трубаларни ҳисоблаш учун турбулент тартибнинг барча зоналарига умумий бўлган формулани таклиф қилди:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left(\frac{2,5}{R_e}\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,7}\right). \tag{3.72}$$

Бу формулани ғадир-будур трубаларнинг квадратик қаршилик соҳаси ёки қатъий турбулентлик соҳаси учун соддалаштирсак, ғадир-будур трубалар учун Прандтль формуласи кўринишига келади:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\lg\frac{\varepsilon}{3,7}\right)^2}. \tag{3.73}$$

Квадрат қаршилик соҳаси учун энг кўп тарқалган формулалардан бири Никурадзе формуласи ҳисобланади:

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2\lg\frac{1}{\varepsilon}\right)^2}. \tag{3.74}$$

Турбулент тартибнинг барча соҳаларини ўз ичига олувчи ва ҳисоблаш ишларида (3.72) га кўра қулайроқ формулани А. Д. Альтшуль λ нинг кенг соҳаси учун тажрибаларга асосланиб таклиф қилди:

$$\lambda = 0,11\left(\varepsilon + \frac{68}{R_e}\right)^{0,25}. \tag{3.75}$$

Бу формула назарий асосга ҳам эга ва А. Д. Альтшуль тажрибаларига асосан хусусий ҳолларда содда кўринишларга келади:

1) $R_e < \frac{10}{\varepsilon}$ ҳолларда силлиқ труба бўлади ва (3.75) Блазиус формуласига айланади:

$$\lambda = 0,11\left(\frac{68}{R_e}\right)^{0,25} = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}}.$$

2) $\frac{10}{\varepsilon} < R_e < \frac{500}{\varepsilon}$ да λ га R_e ва ε таъсир кўрсатади ҳамда қатъий турбулентлик соҳасига тўғри келади, бу ҳолда (3.75) соддалашмайди.

3) $R_e > \frac{500}{\varepsilon}$ эса квадратик қаршилик соҳаси мавжуд бўлиб, (3.75) Шифрсон формуласига яқин қуйидаги формулага айланади:

$$\lambda = 0,11\varepsilon^{0,25}.$$

Бу формула бўйича ҳисобланган λ нинг қийматлари унинг Никурадзе формуласи бўйича ҳисобланган қийматларига яқин келади.

55- §. Шези формуласи

Юқорида босимнинг пасайишини қаршилик коэффициенти ёрдамида ҳисоблаш усули келтирилди. Агар биз босимнинг пасайишини уринма зуриқиш орқали ифодаласак, у қуйидагича бўлади:

$$H_{1-2} = \frac{\tau}{\rho} \cdot \frac{l}{R} \cdot \qquad (3.77)$$

Шези 1775 йилда қўллаган усулдан фойдалансак, $\frac{\tau}{\rho}$ миқдорни тезлик квадратига пропорционал деб ва пропорционаллик коэффициентини эса $\left(\frac{1}{C}\right)^2$ деб қабул қилиш зарур бўлади, яъни

$$\frac{\tau}{\rho} = \frac{1}{C^2} \cdot v^2 . \qquad (3.78)$$

У ҳолда формула (3.77) қуйидаги кўринишга келади:

$$H_{1-2} = \frac{v^2 l}{C^2 R} \cdot \qquad (3.79)$$

Гидравлик қиялик учун ёзилган ифода $I = \frac{H_{1-2}}{l}$ дан фойдаланилса ва (3.79) ни тезликка нисбатан ечилса, ушбу формула келиб чиқади:

$$v = C\sqrt{R \cdot I}. \qquad (3.80)$$

Бу ифода Шези формуласи деб аталади. Коэффициент C нинг миқдори тажрибада аниқланади ва бирлиги м/с дир, яъни C^2 тезланиш бирлигида ўлчанади. Шези коэффициентини гидравлик ишқаланиш коэффициенти λ билан боғлаш учун (3.79) нинг сурат ва махражини $8g$ га кўпайтириб қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$H_{1-2} = \frac{8g}{C^2} \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}. \qquad (3.81)$$

Бу формулани Дарси—Вейсбах формуласи учун (3.67) куриниши билан солиштириб, Шези коэффициенти учун ушбу муносабатни оламиз:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}. \tag{3.82}$$

Шези коэффициентини турли формулалар ёрдамида аниқлаш мумкин.

56- §. Н. Н. Павловский формуласи

Шези формуласи, одатда, босимсиз ҳаракатлар учун қулланилади. Н. Н. Павловский каналларда сувнинг ҳаракати бўйича жуда кўп тажрибалар ўтказди ва қаршиликни аниқлаш бўйича бир қанча ишлар қилди. У ўзи тўплаган кўплаб тажриба натижалари ва бошқа илмий адабиётлардаги маълумотларга асосланиб, 1925 йили Шези коэффициентини аниқлаш учун умумий формула таклиф қилди. Бу формула ҳозиргача Шези коэффициентини аниқлаш учун энг яхши формула ҳисобланади ва унинг номи билан Павловский формуласи деб аталади. Павловский формуласининг кўриниши қуйидагича:

$$C = \frac{R^y}{n};$$

бу ерда n — Маннинг томонидан келтирилган ғадир-будурлик коэффициенти: y — n ва R га боғлиқ ҳолда аниқланувчи даража курсаткичи.

Тахминан, $R < 1$ м, бўлганда $y \simeq 1,5\sqrt{n}$

$1 \text{ м} < R < 3$ м бўлганда $y \simeq 1,5\sqrt{n}$

деб қабул қилиш мумкин.

$R > 3$ м бўлганда Павловский формуласи қўлланилмайди, y нинг қийматини $^1/_6$ га тенг деб қабул қилсак, Павловский формуласи Маннинг формуласига айланади. Ғадир-будурлик коэффициенти n турли каналлар ва трубалар учун жадвал кўринишида гидравликага оид адабиётларда келтирилган.

57- §. Трубаларда турбулент ҳаракат ҳақидаги таълимотнинг тараққиёти бўйича совет ва чет эл олимларининг ишлари

Трубалардаги турбулент ҳаракат ҳақидаги таълимот назарияни ва тажриба усулларини қўллаш йўли билан ривожланиб, турбулент ҳаракат ҳақидаги ҳозирги замон фани вужудга келди. Турбулент ҳаракат назарияси ҳаракат ва энергия тенгламаларини тузиш ҳамда уни тараққий эттириш ва уларни техникада қўллашга бағишланган. Бу йўналишда совет олимлари А. А. Фридман, акад. А. Н. Колмогоров, М. Д. Миллионщиков ва бошқалар турбулент ҳаракат назариясига асос солувчи ишлар олиб бордилар.

Бу йўналишда ишлаган чет эл олимларидан Л. Прандтль, Дж. Тэйлор, Т. Карман (турбулент ҳаракат назариясининг асосчилари), Г. Батчелар ва бошқалар катта иш қилдилар. Шундай қилиб, турбулент ҳаракат назарияси яратилди ва тезлик пульсациясини улчашнинг радиотехник, оптик ва электр усуллари вужудга келди. Бу ишлар турбулент ҳаракатнинг ички тузилишини чуқуррок ўрганишга имкон берди.

Турбулент ҳаракатни текшириш давомида ярим эмпирик назариялар ҳам яратилди. 1925 йил Прандтль томонидан турбулент зўрикиш ишқаланиши назарияси яратилиб, у аралашув йўли l тушунчасини киритди. Кейинроқ Дж. Тейлор томонидан турбулент пульсациялар майдонининг ўхшашлиги асосида уюрмаликнинг сурилишига асосланган формула яратилиб, аралашув йўлининг миқдорини аниқлаш формуласи ҳосил қилинди. Бу ишлар гидравлик силлиқ ва ғадир-будур трубаларда тезлик ҳамда қаршиликнинг логорифмик формуласини вужудга келтирди. Бу эса чегара турбулент қават учун ҳам қўлланила бошлади. Чегара турбулент қаватни текшириш учун жуда кўп эмпирик ва ярим эмпирик усуллар мавжуд бўлишига қарамай, бу назария охирига етказилган эмас.

58- §. Турбулент ҳаракатда босимнинг маҳаллий йўқолиши

Суюқлик трубаларда ҳаракат қилганда турли тўсиқларни айланиб ўтиш учун энергия сарфлайди. Ана шу энергиянинг сарфланиши суюқлик босимининг пасайишига сабаб бўлади. Сарф этиладиган энергия трубадаги турли тўсиқларнинг сонига ва турларига боғлиқ.

Маҳаллий қаршиликнинг жуда кўп турлари мавжуд бўлиб, уларнинг ҳар бири учун босимнинг пасайиши турличадир. Амалий ҳисоблашда маҳаллий каршиликларда босимнинг пасайишини солиштирма кинетик энергияга пропорционал қилиб олинади:

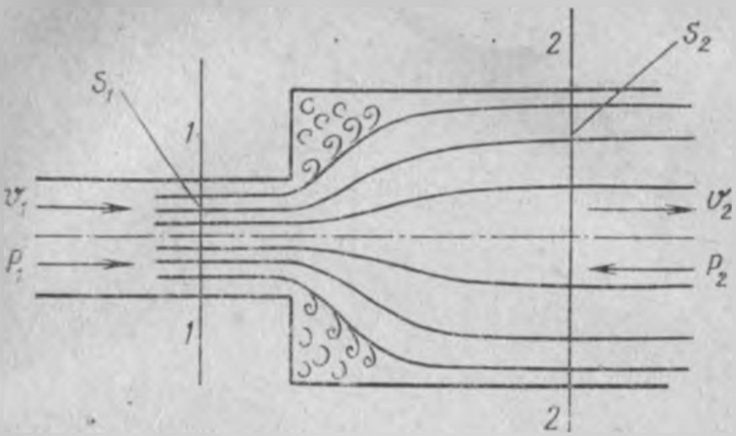
$$H_м = \xi \frac{v^2}{2g}. \qquad (3.84)$$

Пропорционаллик коэффициенти маҳаллий қаршилик коэффициенти деб аталади ва асосан тажриба йўли билан аниқланади. Маҳаллий қаршиликларнинг асосий турлари ҳақида тўхталиб ўтамиз.

1) **Кескин кенгайиш** (3.26- расм). Маҳаллий қаршиликнинг бу турида ξ коэффициент кесимларнинг ўзгаришига боғлиқ бўлиб, кесимлар нисбати $S_1\ S_2$ қанча кичик бўлса, у шунча катта бўлади. Бу ҳолда маҳаллий қаршилик коэффициентини назарий ҳисобласак ҳам бўлади (бу тўғрида кейинроқ тўхталамиз).

Кескин кенгайиш вақтида *2—2* кесимда *1—1* кесимга нисбатан босим ортиб ($p_2 > p_1$), тезлик камаяди ($v_1 > v_2$).

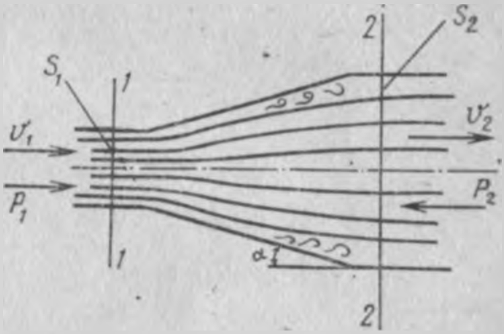
2) **Текис кенгайиш** (3.27- расм). Маҳаллий қаршилик коэффициенти кесимнинг ўзгаришига ва конуслик бурчаги α га боғлиқ бўлиб, кесимлар нисбати $S_1\ S_2$ нинг камайиши ва α нинг ортишига қараб ортади.



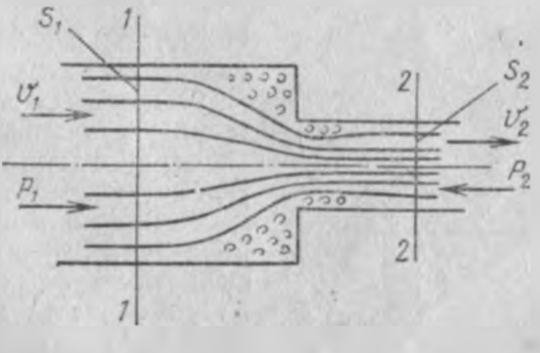
3. 26-расм. Кескин кенгайиш.

Аввал қурилгандаги каби 2—2 кесимда 1—1 кесимдагига нисбатан босим ортади ($p_2 > p_1$) ва тезлик камаяди ($v_2 < v_1$).

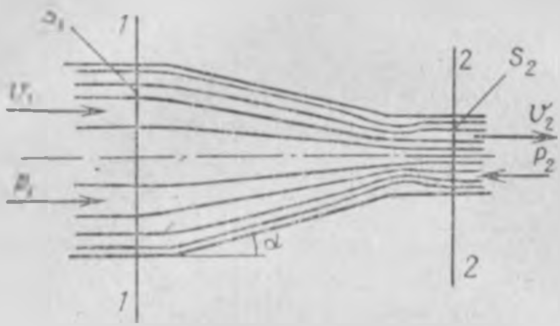
3) **Кескин торайиш** (3.28- расм). Маҳаллий қаршилик коэффициенти ξ кесимлар узгаришига боғлиқ булиб, уларнинг нисбати $\frac{S_1}{S_2}$ ортиши билан ортади. Бу ҳолда энергиянинг сарф булиши кескин кенгайишга нисбатан кам булади.



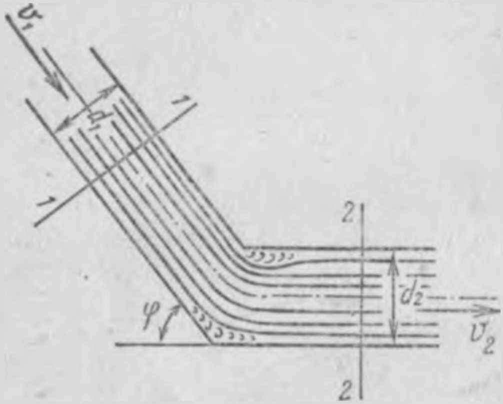
3. 27-расм. Текис кенгайиш.



3. 28-расм. Кескин торайиш.



3. 29-расм. Текис торайиш



3. 30-расм. Тирсак.

4. **Текис торайиш** (3.29- расм). Маҳаллий қаршилик коэффициенти кесимлар нисбати $\frac{S_1}{S_2}$ нинг ва конуслик бурчаги α нинг ортиши билан ортади.

Кескин торайиш вақтида ҳам, текис торайиш вақтида ҳам *2—2* кесимда *1—1* кесимга нисбатан босим камайиб ($p_2 < p_1$), тезлик ортади ($v_2 > v_1$).

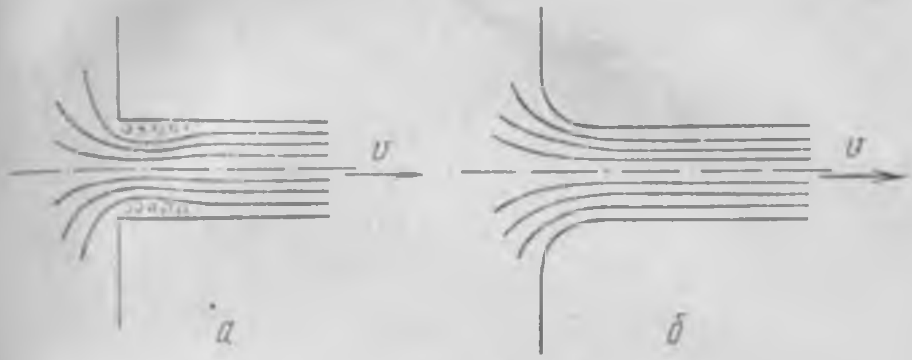
5. **Тирсак** (3.30- расм). Маҳаллий қаршилик коэффициенти икки трубанинг туташиш бурчагига боғлиқ бўлиб, бу бурчакнинг ортиши билан ортади.

ξ нинг φ га боғлиқлиги асосан тажрибада текширилган бўлиб, баъзи содда ҳолларда оқимчалар назариясида қурилган.

6. **Бурилиш** (3.31- расм). Маҳаллий қаршилик коэффициенти бурилиш бурчаги φ га ва труба диаметри *Д* нинг бурилиш радиуси $R_б$ га нисбатига боғлиқ бўлади. Бурилишда ξ труба диаметрининг бурилиш радиусига нисбати $\frac{Д}{R_б}$ ортиши билан ортиб боради.

3. 31-расм. Бурилиш.

7. **Трубага кириш** (3.32- расм). Труба бирор суюқлик билан тўла идишга туташтирилган ҳол. Бу ҳолда киришдаги ўткир бурчакларни (3.32- расм, *а*) айланиб ўтиш учун суюқлик энергияси сарф бўлади. Бунда маҳаллий қаршилик коэффициентининг қиймати $\xi = 0{,}5$ га тенг бўлади.



3. 32-расм. Трубага кириш.

Киришдаги ўткир бурчаклар силлиқланиб, трубага суюқлик киришига кам қаршилик кўрсатадиган шакл берилган бўлса, ξ нинг миқдори киришнинг силлиқлик даражасига қараб $\xi = 0{,}04 - 0{,}1$ атрофида бўлади (кўп ҳолларда $\xi = 0{,}08$ қабул қилинади).

8. Диафрагма деб трубопроводга ўрнатилган ва суюқлик сарфини ўлчаш учун ишлатиладиган ўртаси тешик дискка айтилади. (3.12- расм). Бу ҳолда маҳаллий қаршилик коэффициенти трубанинг кесими S_1 ва диафрагма тешиги кесими S_0 нисбатлари $\frac{S_0}{S_1}$ га боғлиқ бўлади ва бу нисбатнинг ортиши билан камайиб боради (3-1- жадвал).

3-1- жадвал. Диафрагма учун қаршилик коэффициентининг ўзгариши

$\frac{S_0}{S_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ξ	226	47,8	17,5	7,80	3,75	1,80	0,80	0,29	0,06	0,00

9. **Задвижка** (3.33- расм). Маҳаллий қаршилик коэффициенти задвижканинг очилиш даражаси $\frac{h}{Д}$ га боғлиқ бўлиб, унинг ортиши билан камайиб боради. Задвижканинг ўртача очилишига $\xi = 2{,}0$ тўғри келади.

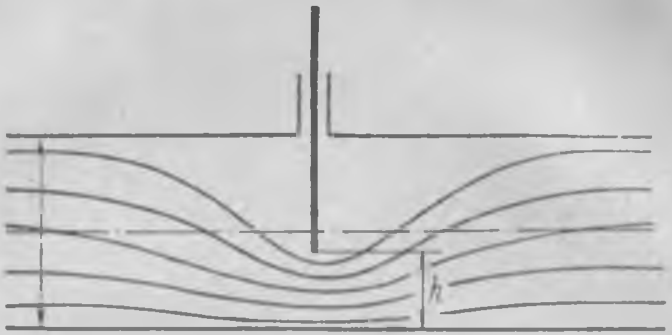
10. **Дроссель клапан** (3.34- расм) ва пробка кран (3.35- расм). Бу ҳолларда маҳаллий қаршилик коэффициенти дроссель клапаннинг ва пробка краннинг очилиш бурчаги α га боғлиқ бўлиб, α 20° дан 50° гача бўлганда ξ нинг қийматлари:

дроссель клапан учун $\xi = 2 \div 53$ га;

пробка кран учун $\xi = 2 \div 33$ га тенг.

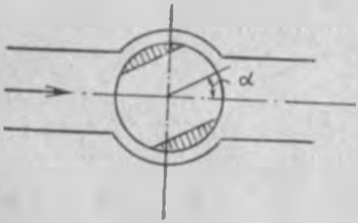
Булардан ташқари вентиллар, кранлар ва бошқаларда ҳам маҳаллий қаршиликнинг камайишини кузатиш мумкин.

Биз маҳаллий қаршиликларни вужудга келтирувчи тўсиқларнинг турлари тўғрисида тўхталиб ўтдик. Бу тўсиқларда оқим-

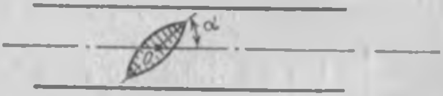


3. 33-расм. Задвижка.

нинг турбулент тартибига хос бўлган каршилик коэффициентининг ўзгаришини кўрган эдик. Турбулент харакат вақтида коэффициент ξ қаршилик кўрсатувчи тўсиқ шаклига, катталигига, тўсиқларнинг очилиш даражасига боғлиқ бўлишдан ташқари, суюқлик ҳаракатининг тартибига, яъни Рейнольдс сонига хам боғлиқ бўлади. Тажрибаларнинг кўрсатишича, Рейнольдс сонининг катта қийматларида ҳаракат тартиби турбулент бўлса, ма-



3. 34-расм. Дроссель-клапан.



3. 35-расм. Пробка-кран.

ҳаллий қаршилик коэффициенти ξ нинг R_e сонига боғлиқлиги жуда ҳам сезиларсиздир ва бу боғлиқликни тўсиқлар шакли, тури ва очилиш даражасининг таъсирига нисбатан ҳисобга олмаслик мумкин.

59- §. Оқимнинг кескин кенгайиши (Борд теоремаси)

Трубанинг кескин кенгайиши ва бу вақтда оқимнинг тахминий схемаси 3.26- расмда келтирилган. Кўриниб турибдики, оқим трубанинг тор кесимидан кенг кесимига ўтганда бурчакларда суюқлик труба сиртидан ажралади. Натижада оқимнинг кескин кенгайиши ва оқим сирти билан труба девори орасидаги ҳалқасимон оралиқда айланма (уюрмали) ҳаракат вужудга келади. Кузатишлар шуни кўрсатадики, асосий оқим билан айланаётган суюқлик ўртасида заррачалар у томондан бу томонга ўтиб туради. Трубанинг кескин кенгайишида маҳаллий қаршилик коэффициенти назарий усул билан ҳисобланиши мумкин. Бунинг учун

трубанинг тор қисмида $1-1$ кесим оламиз. Трубанинг кенгайган қисмида (кескин кенгайишдан сўнг оқим кенгайиб барқарорлашган қисмида) эса $2-2$ кесим оламиз. $1-1$ кесимда тезлик v_1, босим p_1, $2-2$ кесимда эса тезлик v_2 ва босим p_2 бўлсин. Бу кесимларга пьезометр ўрнатсак, $p_2>p_1$ бўлгани учун $1-1$ кесимда пьезометрдаги суюқлик сатҳи $2-2$ кесимдаги пьезометрдаги суюқлик сатҳидан h га паст бўлади. Агар кесимнинг кенгайиши ҳисобига гидравлик йўқотиш бўлмаганда бу фарқ Δh миқдорда кўпроқ бўлар эди. Ана шу иккинчи пьезометрдаги сув сатҳининг Δh га пасайиб қолиши маҳаллий гидравлик йўқотишдан иборат бўлади.

$1-1$ кесимнинг сирти S_1, $2-2$ кесимнинг сирти S_2 бўлсин. У ҳолда бу кесимлар юзаси бўйича тезлик бир хил (яъни $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx \alpha_3 = 1$) деб ҳисобласак, Бернулли тенгламаси шундай ёзилади:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\text{кенг}}. \quad (3.85)$$

Энди, $1-1$ ва $2-2$ кесимлар ўртасидаги суюқликнинг цилиндрик ҳажми учун ҳаракат миқдорининг ўзгариши теоремасини қўллаймиз. Бунинг учун ён сиртларда уринма зўриқишни тахминан нолга тенг деб ҳисоблаб, айтилган ҳажмга таъсир қилаётган ташқи кучлар импульсини ҳисоблаймиз. 1—1 кесимни труба кенгайиш кесимининг устида олинган деб қараш мумкин. У ҳолда цилиндр асосларининг юзалари тенглигидан уларга таъсир қилувчи импульс ўзгариши шундай ёзилади:

$$(p_1-p_2)\ S_2.$$

1—1 кесимдаги ҳаракат миқдори $\rho Q v_1$ ва $2-2$ кесимдаги ҳаракат миқдори $\rho Q v_2$ бўлгани учун улар орасидаги ҳаракат миқдорининг ўзгариши қуйидагига тенг бўлади:

$$\rho Q\ (v_2 - v_1).$$

Бу икки миқдорни тенглаштириб ушбу тенгламани оламиз:

$$(p_1 - p_2)\ S_2 = \rho Q\ (v_2 - v_1).$$

Тенгламанинг икки томонини $S_2\gamma$ га бўлсак, $Q_2 = v_2 S_2$ ни ҳисобга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\rho Q}{\gamma S_2}\ (v_2 - v_1) = \frac{v_2}{g}\ (v_2 - v_1). \quad (3.86)$$

Охирги тенгламанинг $v_2\ (v_2 - v_1)$ ҳади устида қуйидаги амалларни бажарамиз:

$$v_2\ (v_2 - v_1) = v_2^2 - v_2 v_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{v_2^2}{2} - \frac{2\ v_2 v_1}{2} + \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_1^2}{2};$$

У ҳолда (3.86) тенглама ушбу кўринишга келади:

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{2v_2 v_1}{2g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} + \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g},$$

Охирги тенглама ҳадларини бир хил индекслар бўйича группаласак:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}.$$

Бу тенгламани (3.85) билан солиштирсак:

$$H_м = h_{кенг.} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \tag{3.87}$$

эканлиги келиб чиқади.

(3.87) формулага Борд формуласи дейилади.

Энди, (3.87) формулага узлуксизлик тенгламаси

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \text{ ёки } v_2 = \frac{S_1}{S_2} v_1$$

ни қўлласак, у қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$H_м = \left(v_1 - \frac{S_1}{S_2} v_1 \right)^2 \frac{1}{2g} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right)^2 \frac{v_1^2}{2g}.$$

Бу муносабатни (3.84) га солиштириб, кескин кенгайиш учун маҳаллий қаршилик коэффициенти формуласини келтириб чиқарамиз:

$$\xi = \left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right)^2. \tag{3.88}$$

Бу олинган муносабат тажрибаларда тасдиқланишича, турбулент оқимлар учун олинган тажриба натижаларига жуда яқин келади. Шунинг учун ҳисоблаш ишлари учун (3.88) формула кенг қўлланилади. Трубанинг кенгайган кесими аввалги кесимдан жуда кенг бўлса ($S_2 >> S_1$), $\xi \approx 1$ бўлади ва $H_м = \frac{v_1^2}{2g}$. Бу хусусий ҳолда оқимнинг бутун кинетик энергияси маҳаллий қаршиликни енгиш учун сарф бўлади.

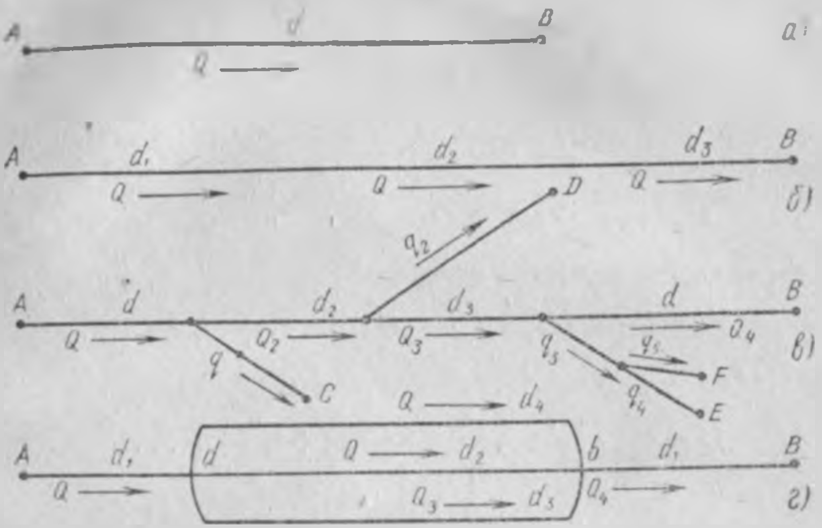
Шуни айтиш керакки, кўрилган ҳолдаги энергия сарфининг ҳаммаси трубанинг кескин кенгайган қисмида оқимнинг труба сиртидан ажралиши ҳисобига ҳосил бўлган уюрмали ҳаракатнинг вужудга келишига ва унинг янгиланиб туришига сарф бўлади.

60- §. Трубаларнинг турлари

Трубаларнинг геометрик ўлчамлари (диаметри, узунлиги) ни маълум сарфга мослаб ҳисоблаш, ёки берилган босимда ўлчамлари берилган трубаларнинг сарфларини ҳисоблашга трубаларни гидравлик ҳисоблаш дейилади.

Гидравлик ҳисоблашда трубаларнинг узунлиги ҳисоблашнинг гидравлик шартларига кўра икки турга бўлинади: узун ва қисқа трубалар.

Қисқа трубалар деб, унча узун бўлмаган ва маҳаллий қаршиликлари умумий қаршиликнинг камида 5—10% ини ташкил қиладиган трубаларга айтилади. Буларга мисол қилиб, насосларнинг су-



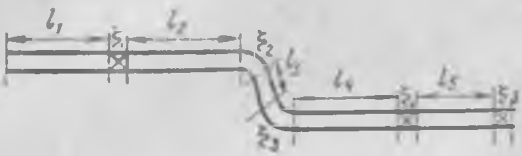
3. 36-расм. Трубаларнинг турлари.

рини трубасини, автотрактор ва бошқа қурилмалар двигателларининг бензин ва мой утказувчи трубаларини, гидроузатмалардаги туташтирувчи трубаларни ва ҳоказоларни келтириш мумкин.

Узун трубалар деб, анча узоқ масофага чўзилган вэ гидравлик қаршиликларининг асосий қисмини ишқаланиш қаршилиги ташкил қилган трубаларга айтилади. Бундай трубаларда маҳаллий қаршиликлар алоҳида ҳисобланмай, ишқаланиш қаршилигининг 5—10% ига тенг деб қабул қилинади. Буларга водопровод трубалари, нефть ва газ трубалари ва бошқалар мисол бўлади. Трубалар ишлаш схемасига қараб икки турга булинади; содда трубалар (3.36- расм, *а*, *б*); мураккаб трубалар (3.36- расм, *в* *г*); содда трубалар тармоқларга булинмаган трубалардир. Мураккаб трубалар эса бир неча тармоқларга бўлинган трубалардир. Бундан ташқари, трубалар тупик ва ёпиқ трубаларга ажралади. Ёпиқ трубалар ишончли бўлиб, унинг айрим қисмлари бузилганда уларни ремонт қилиш давомида сув таъминоти тухтамайди. Юқорида айтилганлардан ташқари, транзит сарф трубалари ҳам мавжуд бўлиб, уларда суюқлик йул буйича узгармай қолиши ёки текис тақсимланиб бориши мумкин.

61- §. Узун содда трубаларни ҳисоблаш

Трубаларни ҳисоблашда биз юқорида келтирилган ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликлар формулаларидан фойдаланамиз. Шунинг учун биз суюқлик трубада қайси тартибда оқишини ҳам билишимиз керак.



3. 37-расм. Содда труба.

Аввало ўзгармас диаметрли содда труба оламиз. Бундай трубани кетма-кет жойлашган бир қанча тўғри труба бўлакларидан ташкил топган деб қараш мумкин (3.37-расм). Буларда босимнинг пасайишини барча қаршиликларнинг йиғиндиси тарзида ҳисоблаймиз:

$$H = H_{l_1} + H_{м_1} + H_{l_2} + H_{м_2} + \ldots + H_{l_n} + H_{м_n}$$

Юқорида келтирилган формулалардан фойдаланиб қуйидаги

$$H = \lambda \frac{l_1}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} + \xi_1 \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{D} \frac{v^2}{2g} + \xi_2 \frac{v^2}{2g} + \ldots +$$

$$+ \lambda \frac{l_n}{D} \frac{v^2}{2g} + \xi_n \frac{v^2}{2g}$$

муносабатни чиқарамиз. Бу формула бўйича босимнинг пасайишини ҳисоблаш мураккаб ва кўп вақтни олади, чунки труба жуда кўп бўлакларга ажратилган бўлиши мумкин. Охирги муносабатда тезликни сарф орқали ифодалаб $\left(v = \frac{4Q}{\pi D^2}\right)$ ва ўхшаш ҳадларни группалаб қуйидагини оламиз;

$$H = (l_1 + l_2 + \ldots l_n) \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} + (\xi_1 + \xi_2 + \ldots + \xi_n) \frac{v^2}{2g} =$$

$$= \lambda \frac{\Sigma l_i}{D} \frac{v^2}{2g} + \Sigma \xi_i \frac{v^2}{2g} = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \Sigma l_i Q^2 + \frac{8}{g\pi^2 D^4} \Sigma \xi_i Q^2;$$

ёки

$$H = \left(\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \Sigma l_i + \frac{8}{g\pi^2 D^4} \Sigma \xi_i\right) Q^2. \quad (3.89)$$

Қавс ичидаги миқдорни a билан белгиласак, у ҳолда:

$$H = aQ^2. \quad (3.90)$$

Ўлчов бирлиги $\left[\frac{c^2}{м^5}\right]$ бўлган a миқдор трубанинг қаршилиги деб аталади ва қуйидагига тенг бўлади:

$$a = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \Sigma l_i + \frac{8}{g\pi^2 D^4} \Sigma \xi_i \quad (3.91)$$

a трубанинг узунлиги, диаметри, маҳаллий қаршиликлар коэффициентларига боғлиқ бўлиб, квадрат қаршилик барқарор турбулентлик соҳасида ўзгармас бўлади.

(3.91) даги биринчи ҳаднинг сумма олдидаги миқдорини:

$$\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} = A_l \frac{c^2}{м^6}; \quad (3.92)$$

кўринишда, иккинчи ҳаднинг сумма олдидаги миқдорини:

$$\frac{8}{g\pi^2 D^4} = A_м \frac{c^2}{M^5} \qquad (3.93)$$

кўринишда белгилаймиз ва уларни қуйидагича атаймиз:
A_l — солиштирма ишқаланиш қаршилиги (яъни 1 м трубанинг ишқаланиш қаршилиги) ва $A_м$ — солиштирма маҳаллий қаршилик (трубанинг шакли ўзгарган қисмининг $\xi = 1$ бўлгандаги қаршилиги).
У ҳолда

$$a = A_e \Sigma l_i + A_м \Sigma \xi_i , \qquad (3.94)$$

бу ерда A_e ва $A_м$ умумлашган параметрлар бўлиб, трубопроводларни ҳисоблашда махсус жадваллардан олинади.

Баъзан умумлашган параметрлар бир оз бошқачароқ кўринишда олинади. Бу ҳолда маҳаллий қаршиликни эквивалент узунлик билан алмаштирсак, қуйидагича бўлади:

$$H = \lambda \frac{l + l_{экв}}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} (l + l_{экв}) Q^2. \qquad (3.95)$$

(3.90) формулани бошқача ҳам ёзиш мумкин:

$$H = \frac{1}{K^2} Q^2, \qquad (3.96)$$

бу ҳолда $\frac{1}{K^2} = a$ бўлади.

Суюқлик ҳаракати квадратик қонунга бўйсунганда λ ва ξ Рейнольдс сонига боғлиқ бўлмагани учун юқорида айтганимиздек K^2 ва A_e лар трубанинг диаметри ва ғадир-будурлигига қараб, жадвал кўринишда ифодаланади. $A_м$ эса бу жадвалда фақат диаметрга боғлиқ.

3.3- жадвал. Трубаларни ҳисоблаш учун умумлашган параметрлар (квадратик қаршилик соҳаси учун)

Трубанинг ички диаметри D, мм	Трубанинг абсолют ғадир-будурлиги						$A_м$, $\frac{c^2}{м^5}$
	$\Delta = 0,2$ мм		$\Delta = 0,5$ мм		$\Delta = 1,0$ мм		
	K^2, $\frac{м^6}{c^2}$	A_l, $\frac{c^2}{м^6}$	K^2, $\frac{м^6}{c^2}$	A_l, $\frac{c^2}{м^6}$	K^2, $\frac{м^6}{c^2}$	A_l, $\frac{c^2}{м^6}$	
50	0,000132	7570	0,000100	10000	0,0000776	12900	13200
75	0,00113	885	0,000863	1160	0,000686	1460	2610
100	0,00516	194	0,00397	252	0,00319	313	826
125	0,0160	62,6	0,0125	80,0	0,0105	95,2	338
150	0,0434	23,1	0,0341	29,3	0,0276	36,2	163
200	0,197	5,08	0,155	6,45	0,128	7,81	51,5
250	0,634	1,58	0,504	1,98	0,410	2,40	21,1
300	1,65	0,607	1,41	0,709	1,09	0,917	10,2
400	7,41	0,135	5,98	0,167	4,97	0,207	3,23
500	23,7	0,0422	19,3	0,0518	16,1	0,0620	1,32

Ламинар соҳа учун юқоридаги формулаларда трубанинг қаршилиги a ва сарф коэффициенти K (3.91) формула ёрдамида ҳисобланади. Бунда λ Пуазейл формуласи буйича ҳисобланади:

$$\lambda = \frac{64}{R_e};$$

(3.95) тенгликка

$$A = \sqrt{\frac{g\pi^2 D^5}{8\lambda}} \tag{3.97}$$

белгилаш киритамиз ва уни трубанинг сарф характеристикаси деб атаймиз. У ҳолда

$$H = \frac{l + l_{экв}}{A^2} Q^2. \tag{3.98}$$

Бу белгилашдан ва (3.92) дан куриниб турибдики:

$$A^2 = \frac{1}{A_l}.$$

A^2 нинг турли ҳоллардаги миқдори ҳам A_e ва $A_м$ каби жадваллардан олинади.

Юқорида курганимиздек, $\frac{H}{l} = I$ эканлигини ҳисобга олсак, (3.98) дан проф. Б. А. Бахметов формуласини оламиз:

$$Q = A\sqrt{I}.$$

Узун трубалар учун босимнинг камайиши осонроқ ҳисобланади ва ушбу куринишда ёзилади:

$$H = A_l L \cdot Q^2 \text{ ёки } H = \frac{L}{A^2} Q^2.$$

Куп ҳолларда трубаларни ҳисоблаш формуласи қуйидаги куринишда ифодаланади:

$$Q = K\sqrt{H}, \tag{3.99}$$

бу ерда K ни сарф коэффициенти деб аталади. (3.99) ни (3.98) билан солиштирсак, сарф коэффициенти учун ушбу муносабатни оламиз:

$$K = \frac{A}{\sqrt{l + l_{экв}}};$$

узун трубалар учун эса

$$K = \frac{A}{\sqrt{L}}.$$

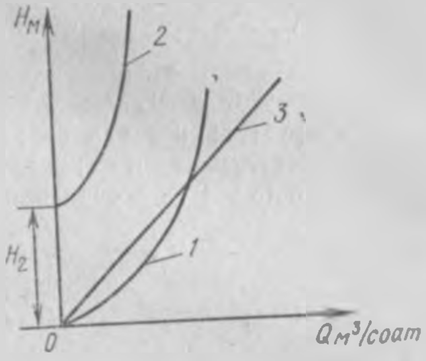
Квадратикгача қаршилик соҳасида эса λ (силлиқ трубалар учун) Блазиус формуласи буйича ҳисобланади:

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{R_e^{0,25}}.$$

Трубаларни ҳисоблашни осонлаштириш учун (3.90) ёки (3.99) формула буйича жадвал тузиб олиш мумкин. У ҳолда босим

камайишининг турли қийматларига тегишли сарф миқдорларини жадвалдан олиш мумкин бўлади.

(3.90) тенглама (3.91) билан биргаликда содда трубани ҳисоблашнинг асосий тенгламаси дейилади.



3. 38-расм. Трубанинг характеристикаси.

62- §. Сарф характеристикаси. Пьезометрик чизиқ

Юқорида келтирилган (3.90) тенглама босим ва сарф орасидаги боғланишни график куринишда ифодалашга имкон беради. Куриниб турибдики, бу график координата бошидан ўтувчи квадратик парабола куринишида ифодаланади (3.38- расм ва *1*- график) ва *трубанинг характеристикаси* дейилади.

Агар трубанинг геометрик ва пьезометрик баландлиги маълум бўлса, уларнинг йиғиндиси пьезометрик босимни беради. Пьезометрик босимнинг йўл бўйича ўзгариши пьезометрик чизиқ орқали ифодаланади. Трубанинг икки учидаги пьезометрик босимлар фарқини $H_г$ билан ифодалаймиз. $H_г$ ни ҳисобга олган ҳолда H ва Q ўртасидаги муносабат координата бошидан H_2 баландликда жойлашган булади (3.38- расм, 2- график). У ҳолда умумий босим (3.98) ва H_2 нинг йиғиндисидан иборат бўлади:

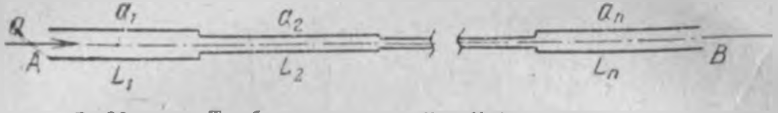
$$H = H_г + \frac{L}{A^2} Q^2.$$

H графиги ёрдамида берилган босим учун сарфни топиш мумкин. Бунинг учун ордината ўқидан берилган босимга тегишли кесмани олиб унинг учидан абсцисса ўқига параллел чизиқ ўтказамиз. Бу чизиқнинг характеристикаси билан кесишган нуқтасидан абсцисса ўқига туширилган перпендикуляр ундан трубада берилган босимда сарфнинг миқдорига тўғри келадиган кесма ажратади. Агар трубадан ўтиши керак бўлган сарф маълум бўлиб босимни топиш керак бўлса, сарфни топиш учун қўлланган усулни тескари тартибда бажарамиз.

63- §. Кетма-кет ва параллел уланган мураккаб трубаларни ҳисоблаш ҳақида тушунча

Кетма-кет ва параллел уланган трубаларни ҳисоблаш содда трубаларни ҳисоблашга қараганда мураккаб бўлиб, трубаларнинг қайси тартибда уланганига боғлиқ. Шунинг учун бу икки улаш усулини айрим-айрим кўриб чиқамиз.

Кетма-кет улаш. Турли диаметрли бир нечта трубалардан ташкил топган трубопроводни кўрамиз. Улар кетма-кет уланган бўлиб, каршиликлари a_1, a_2, . . . , a_n узунликлари L_1, L_2, . . . L_n бўлсин (3.39- расм).



3. 39-расм. Трубаларни кетма-кет улаш схемаси.

Бу трубаларнинг ҳар бирида сарфларнинг тенг бўлиши узлуксизлик тенгламасидан кўринади. У ҳолда трубалардаги босимнинг камайиши (3.90) га асосан аниқланади:

$$H_1 = a_1 \ Q^2;$$
$$H_2 = a_2 \ Q^2;$$
$$. \ . \ . \ . \ .$$
$$H_n = a_n \ Q^2.$$

Қурилаётган трубопровод эса қаршиликларни қўшиш принципига асосан қуйидагича ҳисобланади:

$$H = H_1 + H_2 + \ldots + H_n = (a_1 + a_2 + \ldots + a_n)Q^2. \qquad (3.100)$$

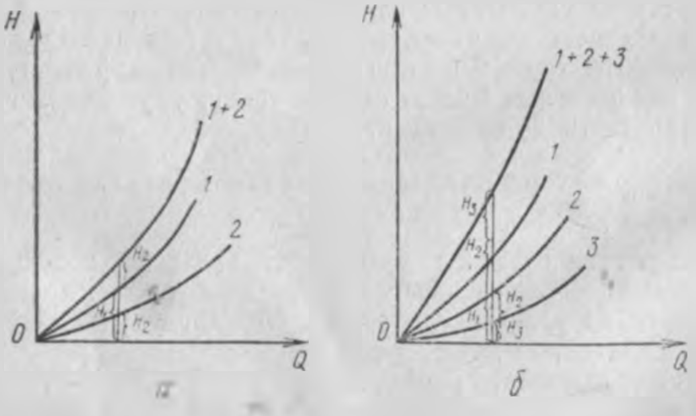
Шундай қилиб, трубалар кетма-кет уланганда умумий қаршилик хусусий қаршиликлар йиғиндисидан иборат бўлади:

$$a = \sum_{i=1}^{n} a_i \qquad (3.101)$$

(3.100) ва (3.101) тенгламалар трубаларни кетма-кет улашда характеристика тузиш учун асос бўлади.

Аввал кетма-кет уланган иккита трубани кўрамиз. Бу трубаларнинг характеристикалари 3.40-расм, *а* да *1* ва *2* графиклар орқали ифодаланган. Икки трубопроводнинг характеристикасини тузиш учун (3.100) тенгламага асосан бир хил сарфда икки трубанинг босимлари камайишларини қўшамиз, яъни бир хил абсциссаларда иккала эгри чизиқ ординаталарини қўшамиз.

Кетма-кет уланган учта трубанинг умумий характеристикасини тузиш учун аввал *1*, *2*, *3* трубалар характеристикаларини тузиб



3. 40-расм. Кетма-кет уланган трубаларнинг характеристикаси.

оламиз (3.40- расм). Сўнгра бир хил абсциссада уларнинг ординаталарини қўшиб, битта чизиқ билан туташтирамиз. n та кетма-кет уланган трубанинг умумий характеристикасини тузиш ҳам шу усулда бажарилади. Кўрилаётган ҳолда киришдаги ва чиқишдаги тезлик босимлари ҳар хил бўлганда трубопровод учун талаб қилинадиган босим формуласида, (3.100) дан фарқли равишда, киришдаги ва чиқишдаги тезлик босимларининг фарқи қатнашади:

$$H = z_A + z_B + \frac{\alpha_A v_A^2 - \alpha_B v_B^2}{2g} + \sum_{i=1}^{n} H_i + \frac{p_B}{\gamma} =$$
$$= H_z + cQ^2 + aQ^2; \qquad (3.102)$$

бу ерда

$$c = \frac{1}{2g}\left(\frac{\alpha_A}{S_A^2} - \frac{\alpha_B}{S_B^2}\right);$$

$$a = \sum_{i=1}^{n} a_i ; \qquad H_z = z_A - z_B + \frac{p_B}{\gamma};$$

S_A, S_B — кириш ва чиқишдаги кесим юзалари.

Параллел улаш. Энди бир нечта параллел уланган содда трубалардан ташкил топган мураккаб трубани кўрамиз (3.41- расм). Содда трубаларнинг сарфлари Q_1, Q_2, Q_3, . . . , Q_n, қаршиликлари a_1, a_2, a_3, . . . , a_n бўлсин. Умумий схемадан кўриниб турибдики, мураккаб трубанинг сарфи содда трубалар сарфлари йиғиндисига тенг:

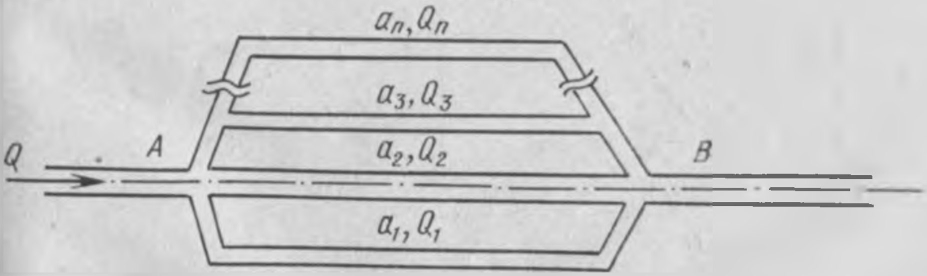
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_n \qquad (3.103)$$

Ҳар бир содда трубадаги босимнинг камайиши ҳам, мураккаб трубадаги босимнинг камайиши ҳам A ва B нуқталардаги тўлиқ босимларнинг айирмасига тенг:

$$H_A - H_B = H_1 = H_2 = H_3 = \ldots = H_n = H. \qquad (3.104)$$

Ҳар бир трубадаги босимнинг камайиши (3.90) га асосан қуйидагича аниқланади:

$$H_1 = a_1 Q_1^2,$$
$$H_2 = a_2 Q_2^2,$$
$$\ldots\ldots$$
$$H_n = a_n Q_n^2.$$



3. 41-расм. Трубаларни параллел улаш схемаси.

Булардан сарфларни топиб, (3.103) га қўямиз:

$$Q = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{a_1}} + \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{a_2}} + \frac{\sqrt{H_3}}{\sqrt{a_3}} + \ldots + \frac{\sqrt{H_n}}{\sqrt{a_n}}$$

ва (3.104) дан фойдаланиб, қуйидагини оламиз:

$$Q = \left(\frac{1}{\sqrt{a_1}} + \frac{1}{\sqrt{a_2}} + \frac{1}{\sqrt{a_3}} + \ldots + \frac{1}{\sqrt{a_n}}\right)\sqrt{H},$$

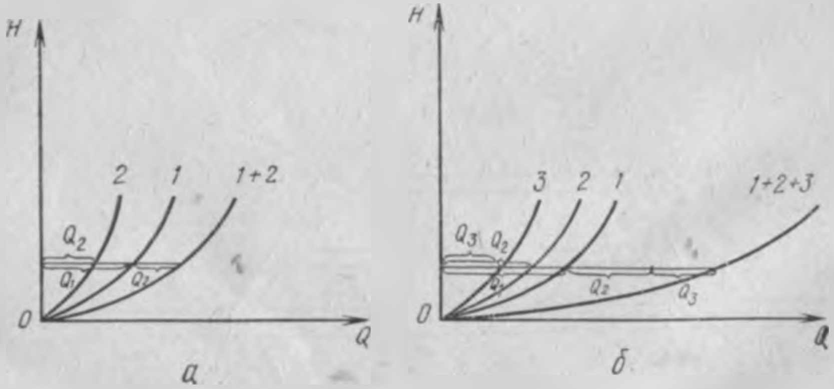
бу тенгликдан мураккаб труба учун босимнинг камайиши тенгламасини чиқарамиз:

$$H = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a_1}} + \frac{1}{\sqrt{a_2}} + \frac{1}{\sqrt{a_3}} + \ldots + \frac{1}{\sqrt{a_n}}\right)} Q^2. \qquad (3.105)$$

Шундай қилиб, параллел уланган мураккаб трубанинг қаршилиги учун формула чиқарамиз:

$$a = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\sqrt{a_i}}\right)^2} \qquad (3.106)$$

Параллел уланган трубопроводнинг характеристикасини тузиш учун (3.103), (3.104) тенгламалардан фойдаланамиз. Аввал икки параллел трубадан иборат мураккаб трубани қурамиз (3.42- расм, *а*). Параллел трубаларнинг характеристикалари *1* ва *2* графиклари кўринишда ифодаланган. Мураккаб трубанинг характеристикасини ҳосил қилиш учун (3.104) га асосан босимнинг бирорта қийматида биринчи ва иккинчи трубалардаги сарфни қўшамиз, яъни ордината ўқининг бирор қийматида *1* ва *2* га тўғри келган абсцисса ўқининг кесмаларини қўшамиз. Бу ишни босимнинг барча



3. 42-расм. Параллел уланган трубаларнинг характеристикаси.

қийматлари учун бажариб, мураккаб труба учун характеристика ҳосил қиламиз.

Учта параллел трубадан ташкил топган мураккаб трубанинг характеристикаси ҳам *1*, *2*, *3* трубанинг характеристикаларини тузишдан бошланади. Бунда ҳам бир хил босимда *1* трубанинг сарфига аввал *2* труба сарфини, сўнг *3* труба сарфини қўшиш йўли билан мураккаб труба характеристикасини тузамиз. n та параллел трубадан тузилган мураккаб труба характеристикаси ҳам худди шу усулда ҳосил қилинади.

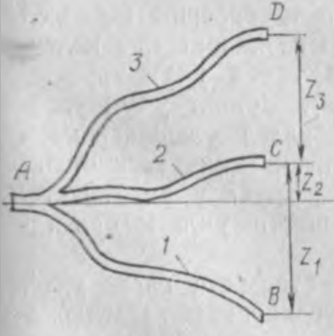
64-§. Тармоқланган трубалар ва уларни графоаналитик ҳисоблаш

Мураккаб трубопроводларда трубалар турли усулларда туташтирилган бўлиб, улар кетма-кет уланган, параллел уланган ва тармоқларга ажралган қисмлардан ташкил топган бўлади. Биз юқорида кетма-кет ва параллел уланган трубалардан ташкил топган қисмларни кўрдик. Энди, трубопроводнинг тармоқланган қисмини кўрамиз. Асосий трубопровод A нуқтада 3 та: *1, 2, 3* тармоқларга ажралсин (3.43-расм), уларнинг охирги нуқталарининг баландликлари z_1, z_2, z_3, босимлари p_1, p_2, p_3, сарфлари Q_1, Q_2, Q_3 бўлсин. У ҳолда бу сарфларнинг йиғиндиси асосий трубадаги сарфдан иборат бўлади:

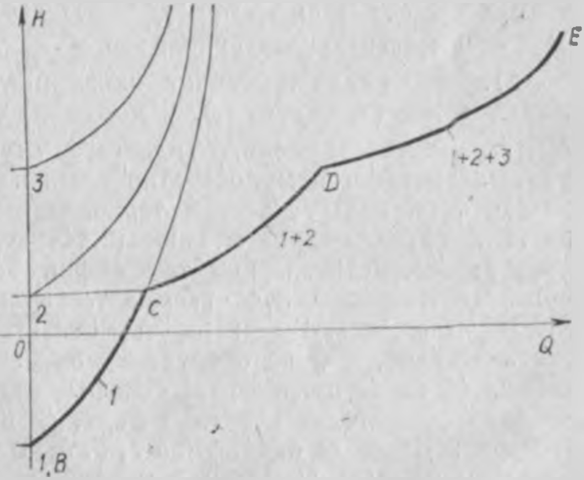
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Ҳар бир тармоқ учун Бернулли тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{p_A}{\gamma} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + H_1,$$



3. 43-расм. Трубаларнинг тармоқларга бўлиниши.



3. 44-расм. Тармоқларга бўлинган трубанинг характеристикаси.

$$\frac{p_A}{\gamma}=z_2+\frac{p_2}{\gamma}+H_2,$$
$$\frac{p_A}{\gamma}=z_3+\frac{p_3}{\gamma}+H_3.$$

Бу тенгламаларда p_1, p_2, p_3 ларни атмосфера босимига тенг десак ва $\frac{p_A}{\gamma}=H_A$ эканини ҳисобга олсак, *1*, *2*, *3* трубалар учун (3.90) формуладан фойдаланиб қуйидагини ёзамиз:

$$H_A=z_1+a_1Q_1^2,$$
$$H_A=z_2+a_2Q_2^2,$$
$$H_A=z_3+a_3Q_3^2, \qquad (3.107)$$

ёки $H_A-z_1=H_1$ эканлигини ҳисобга олиб ва $z_2-z_1=z_{1-2}$, $z_3-z_1=z_{1-3}$ белгилашни киритиб, охирги тенгликларни ўзгартирамиз:

$$H_1=a_1Q_1^2,$$
$$H_1-z_{1-2}=a_2Q_2^2,$$
$$H_1-z_{1-3}=a_3Q_3^2. \qquad (3.108)$$

Бу тенгламалардан *1*, *2*, *3* трубалардаги сарфларни топиб ва қўшиб умумий сарфни топамиз:

$$Q=\left(\frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{a_1}}+\frac{\sqrt{H_1-z_{1-2}}}{\sqrt{a_2}}+\frac{\sqrt{H_1-z_{1-3}}}{\sqrt{a_3}}\right), \qquad (3.109)$$

ёки

$$Q=\left(\frac{1}{\sqrt{a_1}}+\frac{\sqrt{1-z^1_{1-2}}}{\sqrt{a_2}}+\frac{\sqrt{1-z^1_{1-3}}}{\sqrt{a_3}}\right)\sqrt{H_1}, \qquad (3.110)$$

бу ерда $z^1_{1-2}=\frac{z_{1-2}}{H_1}$; $z^1_{1-3}=\frac{z_{1-3}}{H_1}$ бўлиб, улар учун $z^1_{1-2}<1$, $z^1_{1-3}<1$ тенгсизликлар ўринлидир.

Агар ҳар учала трубанинг иккинчи учлари бир хил баландликда бўлса ($z_1=z_2=z_3$), у ҳолда $z^1_{1-2}=0$; $z^1_{1-3}=0$ ва H_1, H_2, H_3 лар тенг бўлади, бунда сарф учун трубаларни параллел улашда чиқарилган муносабатни оламиз. Энди, юқорида келтирилган формулаларга асосан тармоқланган труба учун характеристика ҳосил қилиш мумкин (3.44- расм). Бунинг учун уларнинг характеристикаларини трубаларни параллел улашдаги каби қўшамиз. Натижада 3.44- расмда тасвирланган синиқ эгри чизиқ *BCDE* ни оламиз. Бу чизиқ тармоқланган труба учун характеристика бўлиб, у *2* ва *3* трубаларнинг иккинчи учлари баландлигида (*C* ва *D* нуқталарда) синади.

Агар суюқлик *A* нуқтадан *B*, *C*, *Д* нуқталарига қараб эмас, тескари йўналишда оқса, унда *1*, *2*, *3*, трубаларнинг характеристикалари Q_1, Q_2, Q_3 сарфлар манфий (*H* ўқининг чап томонида, яъни *Q* ўқининг манфий йўналишида) бўлгани учун қўшилади.

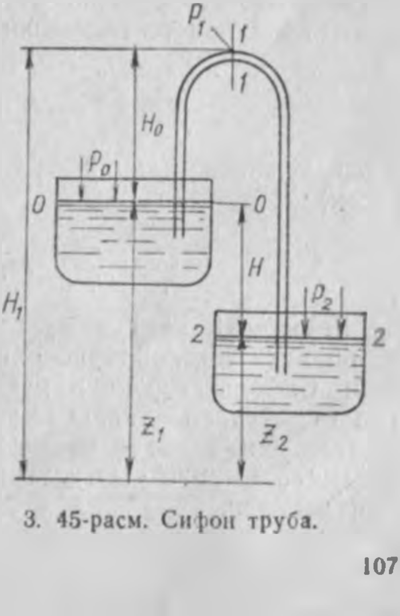
Агар бу трубаларнинг баъзиларида оқим ўнгга, бошқаларида чапга оқаётганда ҳам ўнгга оқаётган суюқлик учун характеристика H ўқида ўнгга, чапга оқаётганлари учун эса характеристика чапга қурилади, сўнгра қўшилади.

Трубопровод системаси бир қанча қисмлардан иборат бўлиб, улар кетма-кет ва параллел уланган трубалардан ташкил топган бўлса, у ҳолда бу қисмларнинг ҳар бирига кетма-кет ва параллел улаш қоидаларини қўллаб, характеристикаларни ёки тенгламаларни тузиб оламиз. Сўнгра бу қисмларнинг ҳар бирини айрим труба сифатида қараб ва параллел ёки кетма-кет улаш қоидасидан фойдаланиб, система учун характеристика ёки тенглама тузамиз. Бу қоидага асосан ҳар қандай мураккаб трубалар системасини ҳисоблаш мумкин.

65-§. Сифонларни ҳисоблаш

Сифон деб, бир қисми суюқлик билан таъминловчи идиш (резервуар) дан юқорида жойлашган содда трубага айтилади (3.45-расм). Сифонни соддалаштириб, икки (таъминловчи ва қабул қилувчи) идишни туташтирувчи U кўринишдаги труба сифатида тасвирлаш мумкин. Бу ҳолда унинг эгилган қисми идишлардаги суюқлик сатҳларидан H_0 баландликда бўлиб, ундаги суюқлик идишдаги суюқликлар сатҳларининг фарқи H ҳисобига оқиб туради. Шуни айтиш керакки, суюқлик сифонда аввал биринчи идиш сатҳидан H_0 баландликка кўтарилиб, сўнгра иккинчи идишга тушади. Бундай трубанинг ўзига хос хусусияти шундаки, ундаги босим кўтарилувчи қисмида ҳам, пастга тушувчи қисмида ҳам атмосфера босимидан паст бўлади. Сифон трубалар халқ хўжалигида кенг қўлланилиб, асосан уларга нефть маҳсулотларини цистерналардан қуйиб олиш, сув сиғимларини бўшатиш, дўнглик ерларда водопровод ўтказиш ва ҳоказолар мисол бўлади.

Сув таъминотида баъзан махсус сифонлар ишлатилади. Сифон ишлай бошлаши учун аввал уни суюқлик билан тўлдириш керак. Сифон сифатида кичик ўлчамли шланглар ишлатилса, уни тўлдириш осон бўлиб, бу ишни суюқликка ботириш ёки пастки учидан ҳавони сўриб олиш йўли билан бажарилади. Агар сифонлар маҳкамланган металл трубадан иборат бўлса, унинг юқори нуқтасида ҳавони сўриб олиш учун махсус кран ўрнатилади. Ҳавони насослар ёки эжекторлар ёрдамида су-



3. 45-расм. Сифон труба.

риб олиш мумкин. Сифонларни ҳисоблаш бошқа трубаларни ҳисоблашдан фарқ қилмайди. Масалан, сифоннинг иккита кесими учун Бернулли тенгламаси ёзилади. Бу кесимлар $0-0$ ва $2-2$ бўлса, у ҳолда:

$$z_1+\frac{p_0}{\gamma}+\frac{v_0^2}{2g_1}=z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+h_{0-2} \qquad (3.111)$$

$p^0=p_2=p_{атм}$ ва $v_0=v_2=0$ деб ҳисобласак, бу тенглама қуйидагича ёзилади:

$$z_1=z_2+h_{0-2} \qquad (3.112)$$

ёки $z_1-z_2=H$ эканлигини назарга олиб, h_{0-2} қаршиликни ҳисоблаш учун эса ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликлар формуласидан фойдаланиб охирги тенгламани қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$H=a\,Q^2 \qquad (3.113)$$

Шундай қилиб, сифонлардаги сарф оддий трубалардагидек қаршилик ва сатҳлар фарқи орқали аниқланади. Унинг кўтарилиш баландлиги H_o эса сарфга таъсир қилмайди. Лекин бу қонун H_o нинг маълум чегарасигача булади. H_o ортиб бориши билан сифоннинг юқоридаги $1-1$ кесимида абсолют босим p_1 камайиб боради. Бу босим тўйинган буғ босимига тенглашиши билан кавитация бошланади. Бу аввал сарфнинг камайишига, сўнгра буғларнинг тўпланишига (буғ пробкаси ҳосил бўлишига) ва суюқлик оқимининг тўхташига олиб келади. Шунинг учун сифонларни ҳисоблашда ва қуришда унинг юқори нуқтасидаги босим p_1 жуда камайиб кетмаслигини назарда тутиш керак. Агар сифоннинг сарфи, унинг ўлчамлари маълум бўлса, абсолют босим p_1 ни ҳисоблаб топиш мумкин. Шунинг учун $o-o$ ва $1-1$ кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$\frac{p_0}{\gamma}+\frac{v_0^2}{2g}=H_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+h_{0-1}. \qquad (3.114)$$

Агар тезликлар кичик бўлганлиги учун улар нолга тенг деб олсак,

$$\frac{p_1}{\gamma}=\frac{p_0}{\gamma}-H_1-h_{0-1}. \qquad (3.1\ 5$$

Босимнинг мумкин бўлган минимум қиймати маълум бўлса, p_1 ни унга тенглаштириб охирги тенгламадан H_1 ни топиш мумкин. Сифоннинг юқори нуқтасидаги босим p_1 ни ошириш учун яна бир усулни қўллаш мумкин. Бунинг учун сифоннинг пастга кетган учида маҳаллий қаршиликлар (задвижка ва ҳоказолар) ёрдамида умумий қаршиликни ошириш керак. Бу ҳолда албатта сарф камаяди.

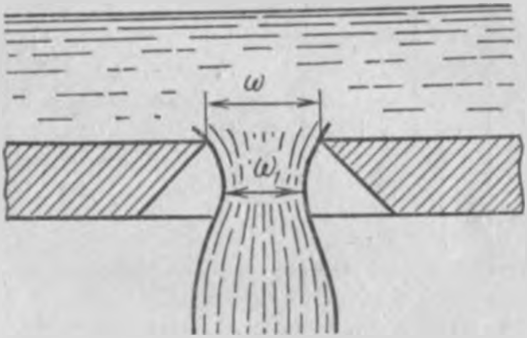
66- §. Суюқлик кичик тешикдан оқаётганда қаршилик, сиқилиш, тезлик ва сарф коэффициентлари

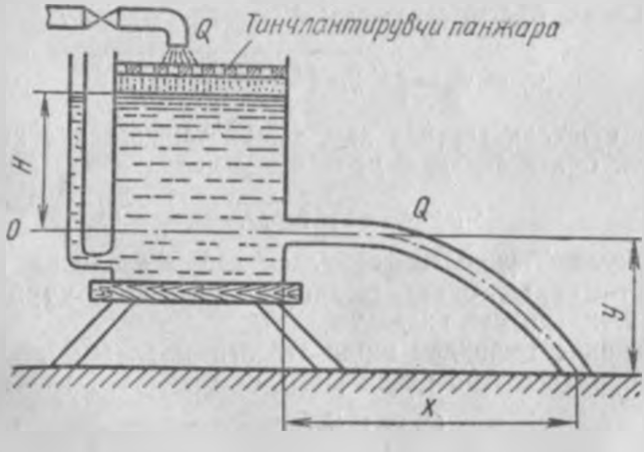
Бирор катта идишда суюқлик p_1 босим остида сақланаётган бўлиб, у эркин сиртдан H масофадаги кичик тешикдан оқаётган бўлсин (3.46= расм). Кичик тешик деб, диаметри идиш ўлчамларига қараганда жуда кичик бўлган тешикка айтамиз. Бундай тешик учун маҳаллий қаршилик коэффициенти нолга тенг бўлган ҳолда $z_1 - z_2 = H$ ва $v_1 S_1 = v_2 S_2$ эканлигини ҳисобга олсак, ушбу тенгламани ёзамиз:

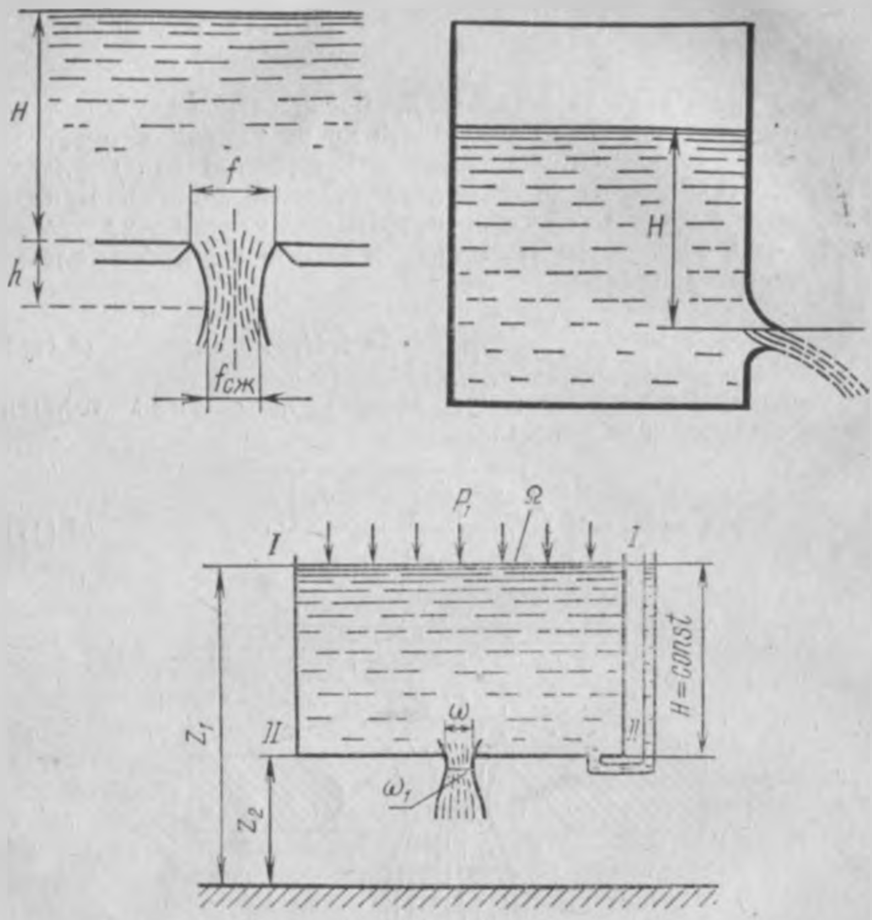
$$\left[1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2\right] \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + H. \qquad (3.116)$$

Бу тенгламадан оқимчанинг назарий ҳисобланган тезлиги учун қуйидаги келиб чиқади:

$$v_н = v_2 = \sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_2 - p_1}{\gamma} + H\right)}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}. \qquad (3.117)$$







3. 46-расм. (а, б, в, г, д) Тешикдан оқиш.

Агар идишнинг кесими S_1 га қараганда тешикнинг кесими S_2 жуда кичик бўлса, у ҳолда:

$$v_н = v_2 = \sqrt{2g\left(\frac{p_2 - p_1}{\gamma} + h\right)}.$$

Идишдаги суюқлик сиртида ҳам, тешик ташқарисида ҳам атмосфера босими бўлса ёки $p_1 = p_2$ бўлса у ҳолда:

$$v_н = v_2 = \sqrt{2gH}. \qquad (3.118)$$

Бу формула Торичелли формуласи деб аталади ва суюқликнинг тор тешикдан оқиш тезлигини ҳисоблаш учун назарий формула бўлиб хизмат қилади.

Суюқликнинг тешикдан оқиш тезлиги маълум бўлган ҳолда унинг сарфини ҳисоблаш қийин эмас:

$$Q_н = v_н S_2. \qquad (3.119)$$

Лекин амалда оқимча тешикдан чиқаётганда унинг кесимининг торайиши сабабли кўрилаётган масала биз кўргандагига қараганда мураккаброқ. Шунинг учун биз чиқарган тезлик формулалари тезлик ва сарфни назарий текшириш учун қўлланилиб, амалда эса уларга маълум тузатишлар киритилади.

Юқорида суюқликнинг тешикдан оқишини кўрганимизда оқимчанинг тешикдаги кесимини олганимиз учун оқимчанинг ва тешикнинг кесимини бир хил деб қарадик. Аслида эса суюқлик тешикка унинг атрофидаги ҳажмдан ҳар томонлама оқиб келгани учун тезлиги ошиб боради. Суюқлик оқими тешикка яқинлашган сари торайиб боради ва бу процесс суюқлик тешикдан ўтгандан кейин ҳам инерция кучи таъсирида маълум масофагача давом этади. Сўнгра торайиш тўхтаб, оқим ўзгармас кесимли оқимча кўринишида ҳаракат қилади. Оқимчанинг торайиши тахминан тешик диаметрига тенг масофада тўхтайди. Оқимчанинг торайишини ҳисоблаш учун одатда сиқилиш коэффициенти ε киритилади:

$$\varepsilon = \frac{S_c}{S_т}. \qquad (3.120)$$

Бу коэффициент юқорида айтилганларга асосан бирдан кичик бўлиб, тажрибаларда аниқланишича, $\varepsilon = 0{,}61 \div 0{,}64$ атрофида бўлади.

Биз тешикдан оқаётган суюқлик тезлиги учун формула чиқаришда $\xi = 0$ кабул қилган эдик. Амалий тезликни ҳисоблаш учун эса маҳаллий қаршилик коэффициенти ξ ни ҳисобга олинган формуладан фойдаланамиз. Бу ҳолда (3.118) ўрнига амалий тезлик формуласини ҳосил қиламиз:

$$v_а = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \sqrt{2gH}. \qquad (3.121)$$

Бу сўнгги формулани (3.118) билан солиштириб, назарий ва амалий сарфлар учун қуйидаги боғланишни оламиз:

$$v_а = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \, v_н \qquad (3.122)$$

(3.122) даги кўпайтмани φ билан белгилаймиз ва тезлик коэффициенти деб атаймиз:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}}. \qquad (3.123)$$

Бундан кўринадики, амалий тезлик назарий тезликдан кичик экан. Шундай қилиб:

$$v_а = \varphi v_н. \qquad (3.124)$$

Тажрибаларнинг кўрсатишича сув учун $\xi = 0{,}06$ бўлиб,

$\varphi = 0{,}97 \div 0{,}98$ бўлади.

Тешикдан оқаётган суюқликнинг амалий сарфи қуйидагича ҳисобланади:

$$Q_а = v_а S_c. \qquad (3{,}125)$$

(3.120) ва (3-124) лардан фойдаланиб уни қуйидаги топамиз:

$$Q_a = \varphi \cdot \varepsilon v_н S_2.$$

Охирги формуладаги $\varphi\varepsilon$ купайтмани m ҳарфи билан белгилаймиз ва уни сарф коэффициенти деб атаймиз. Бундан хулоса қилиб, сарф коэффициенти амалий сарфнинг назарий сарфга нисбатига тенг эканлигини курамиз:

$$m = \frac{Q_a}{Q_н}.$$

Юқорида φ ва ε учун келтирилган тажриба миқдорларидан куринадики: $m = 0,60 \div 0,63$.

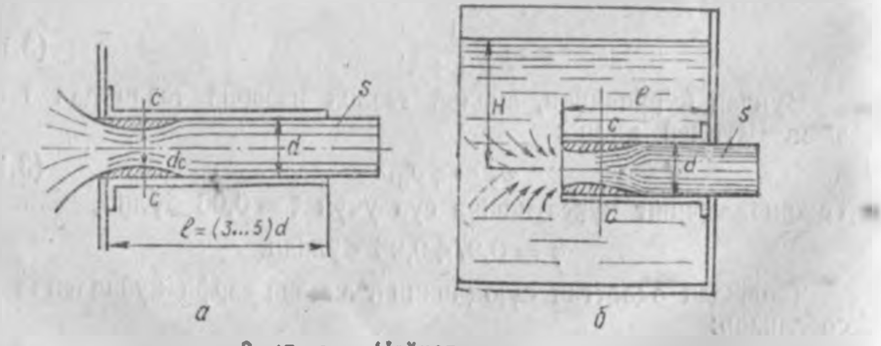
ε, φ, m ларнинг келтирилган қийматлари Рейнольдс сонининг катта миқдорлари учун тугри. Аслини олганда бу коэффициентлар R_e нинг функциясидир.

67- §. Оқимчанинг сиқилиш турлари. Суюқликнинг найчадан оқиши

Найчалар деб, идиш деворидаги тешикка урнатилган калта трубаларга айтилади. Улардан сарфни купайтиришда ёки ихчам оқимчалар олишда фойдаланилади. Куп ҳолларда идиш девори қалин булиб, у парма билан тешилганда найча шаклида тешик пайдо булади.

Найчалардан оқадиган суюқликни ҳисоблашда юқорида келтирилган тезлик ва сарф формулаларидан фойдаланамиз, лекин, φ, m, ε коэффициентларнинг қийматлари бошқача булади.

Цилиндрик найчалардан оқаётган суюқлик киришда девордан ажралади ва тораяди. Бу ҳодиса худди юпқа девордаги тешикдан оқиш ҳолидаги каби булади. Лекин бу торайиш тухтаб, торайган оқимча билан найча девори орасида уюрмали ҳаракат вужудга келганлиги сабабли кенгайиш бошланади ва оқим найчанинг бутун кесимини эгаллаб олгунча давом этади. Натижада оқимча найчанинг кундаланг кесимига тенг кесим билан чиқиб кетади. Бу ҳодиса найчанинг узунлиги l унинг диаметридан 3...4 марта катта булганда тулиқ амалга ошади (3.47- расм).



3. 47-расм. Найчадан о
а—ташқи цилиндрик найча, б—ички цилиндрик найча.

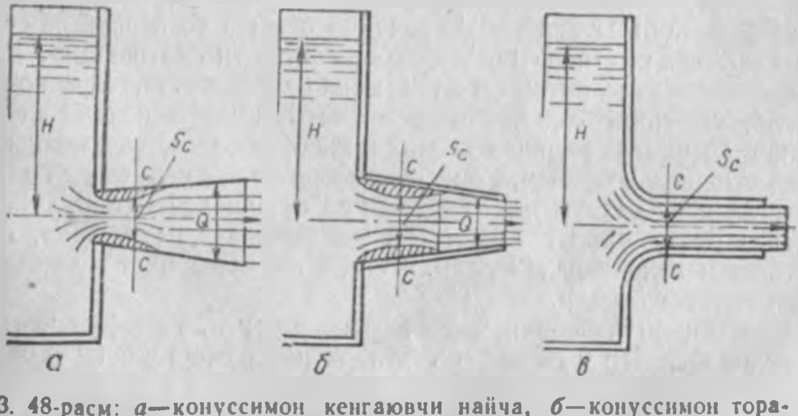
Бу ҳолда оқимча диаметри найча диаметрига тенг бўлгани учун сиқилиш коэффициенти $\varepsilon=1$ булади, натижада $m=\varphi$ булади. Агар найча $l=3\ldots4\ d_н$ дан калта бўлса, бу ҳолда торайган оқимча кесимигача кенгайиб улгурмайди ва оким тешикдан оқаётган суюқлик каби бўлади (3.47- расм). Найча узунлигининг унинг диаметрига нисбати $l_н/d_н$ ва Рейнольдс сони тезлик ҳамда сарф коэффициентларига таъсир этади. Бу таъсирни тажрибаларда кўп текширилган бўлиб, φ, m ва ξ ларнинг ўртача қийматлари цилиндрик найчалар учун қуйидагича бўлади:

$$\varphi=m=0{,}8;\ \xi=0{,}55.$$

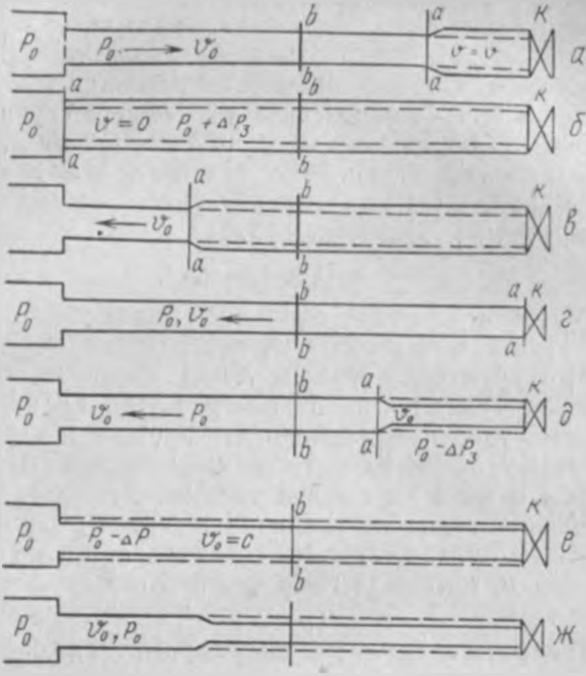
Юпқа девордаги тешикдан оқиш ҳоли билан солиштириш натижаси шуни кўрсатадики, цилиндрик найчалардан оқишда оқимча сиқилмаганлиги учун сарф ортади, лекин қаршилик кўп бўлгани учун тезлик кам булади. Баъзи ҳолларда ички цилиндрик найчалар қўлланилиб, улар идиш деворидаги тешикка ичкари томондан кавшарланган жуда кичик труба кўринишида бўлади. Бундай найчаларда оқимча киришдаги торайишдан кейин $l_н > 2{,}5\ d_н$ га тенг узунликда тўлиқ кенгаяди (3.48=расм). Бу ҳолда ҳам $\varepsilon=1$, $m=\varphi=0{,}70$ булади. $l_н < 1{,}5\ d_н$ да эса оқимча тўлиқ кенгайишга улгурмайди, натижада сарф камайиб кетади.

68- §. Найчаларнинг турлари ва уларнинг гидравлик коэффициентлари

Цилиндрик найчаларнинг камчиликлари шулардан иборатки, уларнинг узунлиги етарли бўлиб, оқимча тўлиқ кенгайишга улгурса (3.47- расм, *а*), у ҳолда қаршилик ортиб кетади. Агар у калтароқ бўлса, оқимча тўлиқ кенгаймаслиги (3.48 расм, *б*) натижасида сарф коэффициенти камайиб кетади. Шунинг учун одатда бошқа хилдаги найчалар ҳам қўлланилади. Улар конуссимон кенгаювчи (3.49- расм, *а*) конуссимон тораювчи (3.49- расм, *б*) ва коноидаль (3.49- расм, *в*) найчалардир.



3. 48-расм: *а*—конуссимон кенгаювчи найча, *б*—конуссимон тораювчи найча, *в*—коноидаль найча.



3. 49-расм. Гидравлик зарбга доир.

Конуссимон кенгаювчи (диффузор) найчаларда оқимча киришда жуда кўп торайди, сўнгра тез кенгая боради ва найчани бутунлай тўлдиради. Шунинг учун сиқилиш коэффициенти $\varepsilon = 1$. Конуслик бурчаги $\theta > 8°$ бўлганда эса оқимча тўлиқ кенгая олмайди ва натижада найча деворларига тегмай оқади. Бу ҳолдаги оқиш юпқа девордаги тешикдан оқишдан фарқ қилмайди.

Кенгаювчи найчаларда тезлик, сиқилиш ва сарф коэффициентлари ($\theta < 8°$да) конуслик бурчагига боғлиқ бўлиб, унинг қийматлари ўртача $m = \varphi = 0{,}45$ бўлади Бундай найчаларда тезлик камайиб кетади. Бунга сабаб найчада оқимча торайиши ва сўнгра тез кенгайиши натижасида қаршиликнинг ортиб кетишидир. Шунга қарамай суюқлик сарфи анча кўпаяди. Албатта, сарф коэффициентидан бунинг акси кўринади, лекин бу коэффициент кенгайган чиқиш кесимига тегишли эканини ҳисобга олсак, сарфнинг кўпайиши тушунарли бўлади. Конуссимон кенгаювчи найчаларда оқимча торайган ерда вакуум пайдо бўлади ва суриш эффектини вужудга келтиради. Бу эффект цилиндрик найчаларда ҳам бўлади, лекин кенгаювчи найчаларда кучли. Бундай найчалар паст босимларда яхши натижа беради.

Конуссимон тораювчи найчаларда ҳам φ, m, ε коэффициентлари конуслик бурчаги θ га боғлиқ. Бундай найчаларда киришда оқимча торайди (бу ҳодиса цилиндрик найчалардагига қараганда камроқ бўлади) сўнгра кенгаяди. Найчадан чиқишда эса оқимчанинг кесими торайишда давом этади ва оқимчанинг иккинчи (ташқи) то-

райиши юз беради. Бу найчаларда ички торайиш кам булгани учун унга сарф булган энергия ҳам кам булади. Тажрибалардан маълумки, тораювчи найчаларда тезлик коэффициенти конуслик бурчаги ортиши билан ортиб боради; сарф коэффициенти эса аввал орта бориб, $\theta=13°$ да энг катта қийматга ($m=0{,}946$) эришади, сунгра камаяди. Шуни айтиш кераккн, сарф коэффициенти ортишига қарамай, тораювчи найчаларда сарф камаяди, чунки барча коэффициентлар чиқиш кесимига нисбатан олинган. Бу найчаларда чиқиш кесими кириш кесимига нисбатан торайгани учун катта тезликлар олиши мумкин.

Коноидаль найчаларнинг шакли юпқа девордаги тешикдан оқаётган суюқлик оқимчаси шаклига ухшаш булади. Шунинг учун уларда ички торайиш бошқа найчалардагига қараганда жуда кичик булиб, қаршилик ҳам кам булади. Демак, тезлик, сарф ва сиқилиш коэффициентлари энг катта булади. Тажрибаларнинг курсатишича, бу ҳолда $m=\varphi=0{,}97$; $\varepsilon=1$ булади, найча деворлари жуда силлиқланганда эса $m=\varphi=0{,}995$ гача етади. Коноидаль найчаларда тезлик ва сарф энг катта булади, лекин уларни ясаш қийин булгани учун амалда жуда кам қулланилади.

Турли найчаларда сув учун оқиш коэффициентларининг қийматлари 3.4 = жадвалда келтирилган. Турли найчалар актив турбиналарининг сурувчи трубаларида, фонтанларнинг соплоларида, брандспойт, гидромониторларда, турли суюқликни сурувчи ва сочувчи ҳамда бошқа турли қурилмаларда ишлатилади.

3.4-жадвал. **Турли шаклдаги найчалар ва думалоқ тешик учун сиқилиш, тезлик ва сарф коэффициентлари**

Найчалар тури ва тешиклар	расмлар	ε	v	m
Юпқа девордаги думалоқ тешик	3.47	0,64	0,97	0,62
Ташқи цилиндрик найча	3.47	1	0,82	0,82
Ички цилиндрик найча	3.47	1	0,71	0,71
Конуссимон кенгаювчи найча $\theta=7°$	3.48	1	0,43	0,45
Конуссимон тораювчи найча $\theta=13°24$ булганда	3.48	0,982	0,963	0,946
Коноидаль найча	3.48	1	0,97	0,97

Найчалар катта идиш деворига эмас, трубанинг учига урнатилган булса, (3.116) ва (3.122) формулаларда унга киришдаги тезлик v_1 ни ҳисобга олиш керак булади. Бу ҳолда сарф формуласи қуйидагича ёзилади:

$$Q=m\frac{\pi D_н}{4}\sqrt{\frac{2gH}{1-\left(\frac{D_н}{D_т}\right)^4}}, \qquad (3.120)$$

бу ерда $D_н$ ва $D_т$ — найча ва труба диаметрлари.

Баъзи ҳоллардаги катта сарф ёки тезлик олиш учун икки хил найчани кетма-кет қуйилади. Масалан, брандспойтларда трубанинг учига охири цилиндрик найча билан тугайдиган конуссимон тораювчи найча қуйилади.

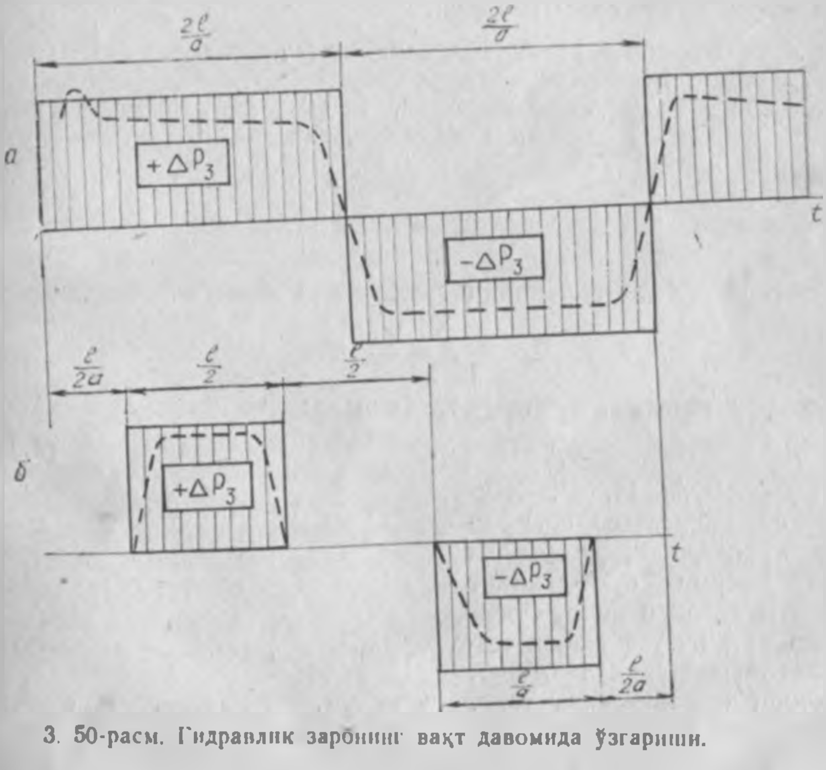
69-§. Гидравлик зарб ҳодисаси ва унинг фазаси. Н. Е. Жуковский—гидравлик зарб назариясининг асосчисидир

Трубаларда гидравлик зарб ҳодисаси деформацияланувчи трубалардаги кам сиқилувчи суюқликнинг тезлиги ёки босими кескин узгарганида ҳосил буладиган тебранма ҳаракатдир. Бу ҳодиса тез содир булиб, босимнинг кескин ортиши ва камайиши билан характерланади. Босимнинг бундай узгариши суюқликнинг ва труба деворларининг деформацияланиши билан боғлиқдир.

Гидравлик зарб куп ҳолларда кран ёки бирор бошқа оқимни бошқарувчи қурилманинг тез очилиши ёки ёпилиши натижасида содир булади. Унинг пайдо булишига бошқа ҳодисалар ҳам сабаб булиши мумкин. Трубалардаги гидравлик зарбни биринчи марта проф. Н. Е. Жуковский назарий жиҳатдан ва тажрибаларда текширган ва унинг „0 гидравлическом ударе" номли асарида (1899 й.) баён этилган. Суюқлик v_0 тезлик ва p_0 босим билан ҳаракат қилаётган трубанинг охиридаги кран *к* ёпиқ дейлик (3.49-расм, *а*). У ҳолда кранга (ёпилганидан сунг) биринчи етиб келган суюқлик зарраларининг тезлиги суниб, уларнинг кинетик энергиялари труба деворлари ва суюқликни деформациялаш ишига айланади. Бу ерда гидравликанинг аввал курган булимларидаги каби суюқлик сиқилмайди деб ҳисобламасдан, унинг сиқилишини оз миқдорда булса ҳам ҳисобга олишга тўғри келади, чунки шу сиқилиш катта ва чекли миқдордаги зарб босими $\Delta p_з$ ни вужудга келтиради. Шундай қилиб, кран олдида ҳосил булган қушимча босимга мос равишда труба деворлари чузилиб, суюқлик сиқилади. Кран олдида тухтатилган суюқлик зарраларига қушни булган зарралар ҳам етиб келади ва уларнинг ҳам тезликлари сунади. Натижада босимнинг ошиш чегараси (*а — а* кесим) крандан таъминловчи идиш томонга зарб тулқинининг тезлиги деб аталувчи *а* тезлик билан силжиб боради. Босим $\Delta p_з$ га узгарган соҳанинг узи эса *з а р б т ў л қ и н и* деб аталади. Зарб тулқини идишга етиб борганда эса суюқлик бутун труба буйича тухтаган ва сиқилган булиб, труба деворлари эса бутунлай чузилган булади. Босимнинг зарбли ортиши эса труба буйича тарқалган булади (3.49-расм, *б*). Лекин трубадаги суюқлик тенг вазнли ҳолатда булмайди. Босимлар фарқи $\Delta p_з$ таъсирида суюқлик трубадан идишга оқа бошлайди. Бу оқим идишнинг олдида турган заррачалардан бошланиб, унинг чегараси (*а — а* кесим) тескари йуналишда кран томонга *а* тезлик билан ҳаракат қилади ва кетида тикланган p_0 босимли *а* тезликка эга суюқлик оқимини қолдиради (3.49-расм, *в*). Суюқлик ва труба деворлари эластик деб қаралиб, p_0 босим тикланиши билан уз ҳолига қайтади. Деформация иши қайта кинетик энергияга айланиб, суюқлик яна аввалги v_0 тезлигига эга булади ва тескари йуналишда оқа бошлайди. Суюқлик колоннаси ана шу тезлик билан оқишда давом этиб, крандан узилишга интилади (3.49-расм, *г*). Натижада крандан идишга *а* тезлик билан ҳаракат қилувчи манфий зарба тулқини

вужудга келади ва у босимни — Δp_3 га камайтириб, труба деворини торайтиради ва суюқликни кенгайтиради (3.49-расм, *д*). Суюқликнинг кинетик энергияси эса яна деформация ишига айланади, лекин бу иш энди манфий булади. Бу ҳаракат давом этиб бориб, манфий зарб тулқини ҳам идишгача етиб келади (3.49-расм, *е*). Мусбат зарб тулқинидаги каби бу ҳолат ҳам тенг вазнли булмайди ва натижада трубада яна босим тиклана бошлайди, суюқлик эса v_0 тезликка эришади (3.49-расм, *ж*). Идишдан қайтган зарб тулқини кранга етиб бориши билан кран ёпилгандагига ухшаш ҳодиса яна вужудга келади. Шундан сунг бутун цикл такрорланади.

Н. Е. Жуковский тажрибаларида бундай циклнинг 12 марта такрорланиши қайд қилинган, лекин ҳар бир келгуси циклда, ишқаланиш кучи ва энергиянинг идишдаги суюқликка утиши натижасида Δp_3 камайиб борган. Гидравлик зарбнинг вақт давомида утиши 3.50- расмда диаграмма куринишида тасвирланган. 3.50- расм, *а* даги диаграммада кран бир онда ёпилган деб қараб, краннинг олдидаги К нуқтадаги босимнинг назариядаги узгариши Δp_3 туташ чизиқ билан тасвирланган. Трубанинг уртасидаги *в* нуқтага зарб босими $l/2a$ вақтга кечикиб келади ва тулқиннинг бу нуқтадан идишга бориб қайтиб келгунича, яъни l/a вақт сақланиб туради. Сунгра *в* нуқтада босим p_0 га тикланади (яъни



3. 50-расм. Гидравлик зарбнинг вақт давомида узгариши.

$\Delta p_з = 0$) ва шу ҳолда тескари тулқин етиб келгунича, l/a вақт сақланади (3.50-*б* расм). 3.50-расмда босимнинг ҳақиқий ўзгариши ҳам тасвирланган бўлиб, у пунктир чизиқ билан ифодаланган. Бундан кўринадики, ҳақиқий босим тик ўзгаргани билан, бу ўзгариш кескин эмас. Бундан ташқари, тебраниш сўна боради, яъни унинг амплитудаси энергиянинг сарф бўлиши ҳисобига камаяди.

70-§. Н. Е. Жуковский формуласи

Гидравлик зарб вақтида бўладиган ўзгаришларни ва зарб кучини ҳисобга олиш учун зарб босими $\Delta p_з$ нинг қийматини аниқлаш керак. Зарб босими остида суюқликнинг сиқилишига ҳаракат миқдорининг ўзгариши ҳақидаги теоремани қўллаймиз. Бунинг учун трубадаги суюқликнинг dx элементар масофага dt вақтда силжишини кўрамиз (3. 51-расм). Бирор вақтда трубадаги суюқликнинг кран олдидаги Δl бўлаги зарб таъсирида сиқилган бўлсин. У ҳолда суюқликка идиш томонидан $p_1 = p_0 \cdot s$ босим кучи, кран томонидан эса $p_з = (p_0 + \Delta p) \cdot s$ кучи dt вақт таъсир қилади. Суюқликнинг зарб етиб келмаган қисмининг ҳаракат миқдори $\rho s v_i dx$ зарб таъсири остидаги қисмининг ҳаракат миқдори $\rho s Q dx$ бўлади. Шундай қилиб, кўрилаётган ҳолда ҳаракат миқдорининг ўзгариши ҳақидаги теорема қўлланганда мувозанат тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$(p_0 + \Delta p_з) s \cdot dt - p_0 s \cdot dt = \rho s v_i dx. \qquad (3.127)$$

Бу тенгликдан

$$\Delta p_з s \cdot dt = \rho s v_i dx;$$

ёки

$$\Delta p_з = \rho v_0 \cdot \frac{dx}{dt} \cdot$$

бу ерда $\frac{dx}{dt}$ — зарб тўлқинининг тарқалиш тезлигини беради

$$a = \frac{dx}{dt}$$

ва охирги тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\Delta p_з = \rho v_0 a. \qquad (3.128)$$

Бу формула Н. Е. Жуковский формуласидир. Ундан кўринадики, гидравлик зарб босими суюқликнинг зичлиги, тезлиги ва шу суюқликда тўлқин тарқалиши тезлигига пропорционал бўлиб, уларнинг кўпайтмасига тенг. Агар суюқликда тўлқин тар-

3. 51-расм. Гидравлик зарб учун Н. Е. Жуковский формуласига доир.

қалиш тезлигини аниқласак, тезликни ўлчаб (зичлик жадвалларидан маълум), (3.128) формула ёрдамида зарб босимини топа оламиз. Шуни айтиш керакки, a суюқликнинг ва трубанинг эластиклик хоссаларига боғлиқ. Бу боғлиқликни аниқлаш учун қуйидаги формуладан фойдаланилади:

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K}+\frac{2\rho K^2}{\sigma E}}}. \qquad (3.129)$$

Бу миқдорнинг ўлчами тезлик ўлчамига тенгдир. Унинг физик маъносини аниқлаш учун трубани деформацияланмайдиган (яъни $E=\infty$) деб қараймиз. У ҳолда илдиз остидаги иккинчи ҳад нолга айланади ва

$$a=\sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

бўлиб қолади. Охирги формула зичлиги ρ ва эластиклик модули K бўлган бир жинсли суюқлик учун товуш тезлигини беради.

Шундай қилиб, трубаларда гидравлик зарб тўлқинининг тарқалиш тезлиги (3.129) формула ёрдамида ҳисобланади. Бу тезлик сув учун 1435 м/с, бензин учун 1116 м/с, мойлар учун 1400 м/с деб тахминий олиш мумкин. У труба материалига қараб кўпроқ ёки камроқ бўлади.

71-§. Тўғри ва нотўғри гидравлик зарб

Агар кран тўлиқ ёпилмай, суюқликнинг тезлиги бутунлай сўнмаса ва у v_0 дан v га камайса, бунда чала гидравлик зарб ҳосил бўлади. Бундай зарб учун Н. Е. Жуковский формуласи қуйидагича ёзилади:

$$\Delta p_з = \rho\,(v_0 - v)\cdot a. \qquad (3.130)$$

Бу формула краннинг бир онда (жуда тез) ёпилган ҳоли учун тўғри бўлади. Агар краннинг ёпилиш вақтини $t_б$ десак ва гидравлик зарбнинг крандан идишга бориб-қайтиб келиш вақтини $t_о$ десак, у ҳолда

$$t_б < t_о = \frac{2l}{a}$$

бўлганда краннинг ёпилиши оний бўлган деб қараш мумкин. Бунда $t_о$ гидравлик зарбнинг фазаси дейилади, зарбнинг ўзини эса тўғри гидравлик зарб дейилади. $t_б > t_о$ бўлганда эса тескари гидравлик зарб дейилади ва зарб тўлқини кран бутунлай ёпилиб улгурмасидан олдин идишдан қайтиб кранга етиб келади. Табиийки бунда босимнинг ортиши $\Delta p'_з$ тўғри зарб ҳолидаги $\Delta p_з$ га қараганда кичик бўлади. Агар оқим тезлиги кран ёпилишига қараб камайиб боради, босим эса вақт бўйича чизиқли ортади, деб ҳисобласак, (3.52-расм) у ҳолда:

$$\frac{\Delta p'_з}{\Delta p_з} = \frac{t_о}{t_б}$$

муносабат ўринли бўлади. Бундан:

$$\Delta p'_з = \Delta p_з \frac{t_0}{t_б} = \rho v_0 a \frac{2l}{a t_б} = \frac{2\rho v_0}{t_б}.$$

Шундай қилиб, тескари гидравлик зарб босими $\Delta p'_з$ тўғри гидравлик зарб босими $\Delta p_з$ дан фарқли равишда трубанинг узунлигига боғлиқ бўлиб, *а* тезликка боғлиқ эмас.

72-§. Зарб босимини сусайтириш усуллари

Гидравлик зарб таъсирини сусайтириш турли усуллар билан амалга оширилади. Биринчи усулда кранннинг кескин очилиши ёки ёпилиши вақти t ни узайтириб, $t > \frac{2l}{a}$ га етказиш йўли билан тўғри гидравлик зарбни йўқотиб, Δp ни камайтирилади. Бу иш одатда релели дроссель ёрдамида амалга оширилади. Одатда, кранннинг ҳолати (очиқ ёки ёпиқ) ўзгартирилганда суюқлик трубопроводга реле орқали ўтгани учун унинг сарфи (демак тезлиги) пружинали клапанлар ёрдамида аста-секин ўзгариб маълум вақтдан кейин керакли қийматга етади. Амалда кўрсатилишича, трубаларни зарбсиз туташтириш, босимнинг ўзгариши 22 мн/м² атрофида ва $t = 0{,}1$с бўлганда ишончли таъминланади. Иккинчи усул трубаларга гидравлик зарбни сўндиргич (компенсатор) лар ўрнатиш йўли билан амалга оширилади. Сўндиргичлар трубадаги суюқликка нисбатан юқори сиқилувчанлик хусусиятига эга бўлган эластик элементли идишлар бўлиб, турли конструктив тузилишга эгадир (3.52-расм). Энг кўп тарқалган сўндиргичлар эластик элементи пружина (3.52-расм, *а*) ва газ (3.52-расм, *б*) бўлган поршенли, мембранали (3.52-расм, *в*) ва клапанли (3.52-расм, *г*) сўндиргичлардир. Сўндиргичлар одатда зарб туғдирувчи (кран) ёки зарбадан ҳимояланувчи қисм ёнига ўрнатилади. Сўндиргичлар ёрдамида зарб босимининг камайиши, сўндиргичга суюқлик оқими билан бирга келган кинетик энергиянинг эластик элементлар томонидан ютилиши ҳисобига амалга ошади. Сўндиргичнинг эластик элементи қанча кўп деформацияланса, ютилган энергия ҳам шунча кўп бўлади. Шунинг учун эластик элемент деформациясининг эластиклик характеристикаси имкон берган чегарада, ўзгармас бўлишига ҳаракат қилиш керак бўлади. Бу эса газли

3. 52-расм. Турли сўндиргичлар:

а—пружинали сўндиргич, *б*—газли сўндиргич, *в*—мембранали сўндиргич, *г*—клапанли сўндиргич.

сундиргичларда газ тақсимлашни шундай танлаб олишни тақозо қиладики, зарб тулқинининг ютилишида босимнинг узгариши минимал булсин. Амалда бундай сундиргичларда газ тақсимлаш ҳажми трубадаги суюқликнинг икки секундлик сарфига тенг қилиб олинади, бошлангич босими эса магистралдаги максимал босимдан купроқ булиши зарур.

Поршенли сундиргичларнинг камчилиги уларнинг инертлиги булиб, бу поршеннинг массаси ва ишқаланиш кучига боғлиқ булиб, унга труба билан сундиргични туташтирувчи каналдаги суюқликнинг инертлиги қушилади. Бу кучлар зарб тулқинининг сундиргич поршенига таъсири натижасида гармоник тебраниш вужудга келишига сабаб булади ва натижада сундиргич ҳамда трубадаги босимнинг узгариши қушилиб, каналдаги босим зарб босимидан ошиб кетиши мумкин. Натижада сундиргич зарб энергиясини ютиш урнига кучайтириши мумкин. Инертликни камайтириш мақсадида сундиргични газ ва суюқликни ажратувчи эластик мембрана билан таъминланади (3.52-расм, *а*). Юқорида айтилганидек, сундиргичда тебранма ҳаракатнинг пайдо булишига ва зарб тулқинининг кучайишига труба билан сундиргични туташтирувчи каналнинг узунлиги ва диаметрининг таъсири бор эканлиги тажрибаларда текширилган. Шунинг учун каналнинг узунлиги ва диаметрини тулқинларга камроқ таъсир қиладиган қилиб танлаб олинади. Зарб тулқинларини клапанли сундиргичлар (3.52-расм, *г*) ёрдамида ҳам сусайтириши мумкин. Бу ҳолда клапан ва энергияни ютувчи эластик элементларнинг инертлиги иложи борича камайтирилади. Клапанли сусайтиргичга кирган суюқликнинг эластик элементга таъсирини камайтириш ва сусайтиргичнинг яхшироқ ишлашини таъминлаш учун суюқликнинг атмосферага оқиб кетишига хизмат қилувчи қисми булади. Учинчи усулда гидравлик зарб пайдо булиши эҳтимоли бор трубанинг узунлигини ошириш мумкин. Бу ҳолда қаршилик кучи ҳисобига энергия камайиши ва зарб тулқини даврини орттириб тугри зарбни йуқотиш йули билан зарб тулқинининг таъсири камайтирилади.

4-боб. ГИДРАВЛИК МАШИНАЛАР

Суюқлик энергияси ва механик энергияни бир турдан иккинчи турга айлантирувчи қурилмалар гидромашиналар деб аталади. Гидромашиналар вазифасига кура қуйидагиларга булинади:

1) **гидростатик машиналар** суюқликнинг мувозанат ҳолатидан фойдаланиб, механик кучни суюқликнинг потенциал энергиясига айлантириш усули билан кучайтириб ёки сусайтириб беради. Буларга гидропресс, гидроаккумулятор, гидромультипликаторлар киради;

2) **насослар** механик энергияни суюқлик энергиясига айлантириб беради;

3) **гидродвигателлар** суюқлик энергиясини механик энергияга айлантириб беради;

4) **гидроюритгич** механик энергияни суюқлик воситасида бир ҳаракатланувчи қисмдан иккинчи ҳаракатланувчи қисмга узатишга хизмат қилади. Гидроюритгичларни умумлаштириб, гидростатик машиналар деб ҳам юритиш мумкин.

Қуйида биз насослар ҳақида тўхталиб ўтамиз.

73-§. Насосларнинг ишлаш принципи, қўлланилиш соҳаси ва бажарадиган ишига қараб классификацияси

Насосларни тузилиши, турли параметрлар, суюқликка энергия бериш усули ва бошқаларга қараб турлича классификациялаш усуллари мавжуд.

Энг кўп тарқалган усул уларни ишлаш принципига қараб классификациялашдир. Бунда насослар асосан иккита катта группага: куракли ва ҳажмий насосларга бўлинади. Бу икки тур насослар деярлик барча насосларни ўз ичига олади, лекин бир қанча бошқача принципда ишлайдиган насослар бу икки классга кирмайди. Буларга оқимчали насослар (учинчи класс сифатида ажратиш мумкин) ва бошқа кўтаргичлар киради. Куракли насослар яна марказдан қочма, ўқий, пропеллерли, уюрма насосларга бўлинади. Тузилиши ва ишлаш принципи бир хил бўлгани учун вентиляторларни ҳам куракли насослар классига киритиш мумкин. Вентиляторларнинг ҳам марказдан қочма, ўқий, пропеллерли турлари мавжуд. Куракли насосларни уларнинг бир валида битта ёки бир нечта иш ғилдираги ўрнатилишига қараб бир поғонали ва кўп поғонали насосларга ажратиш мумкин. Марказдан қочма насослар сўриш усулига қараб бир томонлама сўрувчи ва икки томонлама сўрувчи насосларга бўлинади.

Ҳажмий насослар икки группага, поршенли ва роторли насосларга бўлинади. Булар яна бир қанча кичик группачаларга бўлинади (улар тўғрисида тегишли бўлимда тўхталиб ўтамиз). Оқимчали насослар эса эжектор, инжектор ва гидроэлеваторларни ўз ичига олади. Насосларни бундай классификациялашга ишлаб чиқаришда энг кўп тарқалган икки тур (марказдан қочма ва поршенли) насослар атрофида барча насосларни группалашга интилиш асос бўлган бўлса керак.

Насосларни суюқликка берган босимининг миқдорига қараб, паст босимли (босими 20 м сув уст. гача), ўртача босимли (босими 20...60 м сув уст. га тенг), юқори босимли (босими 60 сув уст. юқори) насосларга ажратиш мумкин. Уларни берган сарфига қараб паст, ўрта ва юқори сарфли насосларга группалаш мумкин.

Насосларни энергиянинг насосга қандай берилишига қараб классификациялашга интилиш ҳам бўлган. Бу айтилган охирги уч тур классификациялашнинг ҳар бирига ҳам барча мавжуд насосларни киритиш мумкин бўлгани билан бу уч усул жуда

катта камчиликка эга, чунки бу усулларда бир группага поршенли, марказдан қочма, роторли, пропеллерли ва ишлаш принципи тамоман бир-биридан фарқланувчи бошқа насослар кириши мумкин. Суюқликка берилган энергия турига қараб классификациялаш анча қулайдир. Насосдан ўтаётган суюқликка берилган энергия уч хил бўлиши мумкин: ҳолат энергияси (Z); босим энергияси ($\frac{p}{\gamma}$); кинетик энергия ($\frac{v^2}{2g}$).

Фақат ҳолат энергиясини берувчи машиналарга сув кўтаргичлар дейилади. Агар кўтарилаётган суюқлик фақат сув эмас, балки нефть, турли мойлар ва бошқа хил суюқликлар ҳам бўлишини мумкинлигини ҳисобга олсак, бу машиналарни суюқлик кўтаргичлари дейиш керак бўлади. Бу группага сув кўтариш учун ишлатилган барча қадимги қурилмалар: чархпалак, чиғир, архимед винти ва бошқалар киради. Замонавий қурилмалардан бу группага кирадиганлари қаторига кам дебитли қудуқлардан нефть чиқарувчи тортув қурилмалари, чуқур қудуқлардан газ ва ҳаво ёрдамида суюқлик (сув, нефть) кўтарувчи кўтаргичлар киради.

Иккинчи группага суюқликка босими орттириш йўли билан энергия берувчи насослар киради. Суюқликни поршень босими (поршенли насослар), айланувчи жисмлар (роторли насослар), сиқилган ҳаво, газ ёки буғ (пневматик сув кўтаргичлар, Гемфри насоси ва ҳ. к.) ёрдамида сиқиб чиқариш мумкин. Буларга суюқликка гидравлик зарб орқали импульс берувчи механизмлар (гидравлик таран) ҳам киради.

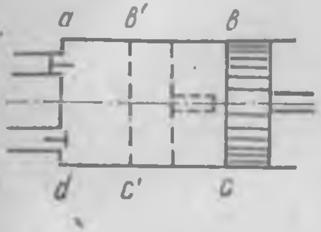
Учинчи группа насосларда суюқликка кинетик энергия берилиб, сўнгра у босим энергиясига айлантирилади. Буларга биринчи галда куракли (марказдан қочма, парракли, ўқий) насослар киради (уларда иш қисми валда айланувчи куракли ғилдиракларлир), иккинчидан оқимчали насослар (эжекторлар, инжекторлар, гидравлик элеваторлар) киради (уларда суюқликка энергия берувчи бошқа суюқлик, газ ёки буғдир). Насослар ва сув кўтаргичларни юқорида айтилганлар бўйича группалашни қуйидаги схемада тасвирлаш мумкин (124-бетга қаранг).

74-§. Поршенли насослар. Тузилиши ва ишлаш принципи

Поршенли насос қурилмасининг энг содда схемаси 4.1-расмда келтирилган. Бу насосларда суюқликнинг сўрилиши ва ҳайдалиши поршеннинг цилиндрда илгариланма-қайтма ҳаракат қилишига асосланган. Бунда поршень *3* (4,2-расм) таркибида шток *2* бўлган кривошип-шатунли механизми *1* ёрдамида ҳаракатга келади. Поршень цилиндр ичида қайтма (орқага) ҳаракат қилганида унинг олдидаги иш бўшлиғининг ҳажми ортиб, сийракланиш ҳосил бўлади. Бу сийракланиш маълум бир чегарага етганида иш бўшлиғидаги босим p_c билан товонли клапан *7* остидаги храповикда бўлган босим орасидаги фарқ сўриш клапани *4* ни очади ва суюқлик сўриш трубаси *6* орқали иш бўшлиғига киради.

- **Насослар**
  - Ҳолат энергиясини ўзгартирувчи механизмлар
    - Оддий сув кўтаргичлар
      - чўмичли,
      - фланецли сув кўтаргич,
      - чархпалак,
      - архимед винти.
    - Газ ва ҳаволи кўтаргичлар
      - эрлифтлар
      - газлифтлар
  - Суюқлик энергиясини босим ўзгариши ҳисобига ўзгартирувчи механизмлар
    - Поршенли ва пружинали насослар
      - кривошип шатунли
      - кривошипсиз
      - тўғри таъсир қилувчи
    - Роторли насослар
      - коловоротли
      - шиберли
      - ўзи сурар поршенли
    - Сиқиб чиқарувчи вазифасини бошқа суюқлик, газ ёки буғ бажарадиган насослар
      - шарбат кўтаргичлар
      - пульсометрлар
      - Гемфри насоси
    - Гидравлик таран
  - Суюқликнинг кинетик энергиясини ўзгартириб, сўнгра босим энергиясига айлантирувчи механизмлар
    - Куракли насослар
      - марказдан қочма
      - парракли
      - ўқий
    - Оқимли насослар
      - эжектор
      - инжектор
      - гидроэлеваторлар

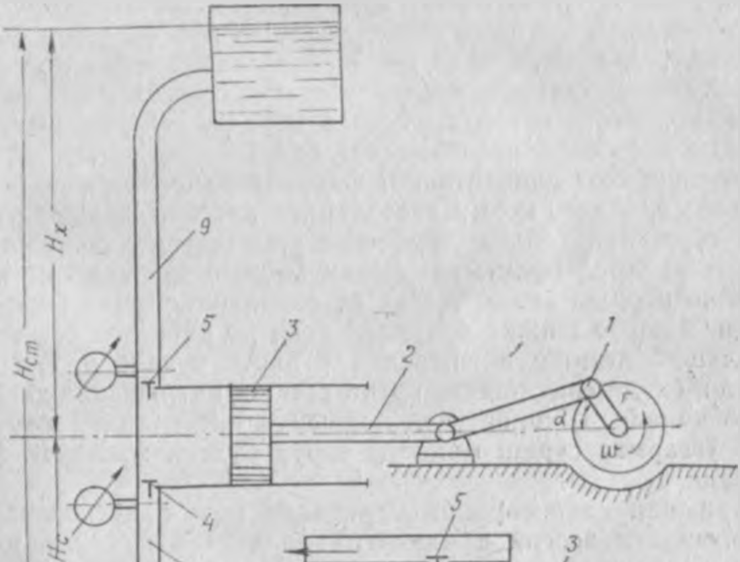
Насосларда суюқлик қайси типдаги кучлардан (динамик кучлар ёки статик кучлар) фойдаланиб сўрилишига қараб, улар динамик ёки ҳажмий насосларга бўлинади. Бунда юқоридаги классификацияга кирган насосларнинг поршенли ва роторли турлари ҳажми насосьрга, қолганлари эса динамик насосларга киради.



4. 1-расм. Поршенли насос.

Сўрилиш процесси поршень ўзининг энг чекка сурилиш чегарасига етгунча давом этади. Бунда сўрилиш трубасидаги сийракланишни сўриш клапани олдига жойлаштирилган вакуумметр ёрдамида ўлчаш мумкин. Таъминловчи идишдаги суюқлик сатҳидан насос цилиндрининг энг юқори сатҳигача бўлган баландликка сўриш баландлиги H_c дейилади. Сўриш баландлиги чегаравий сўриш баландлиги $H_c < H_{чс}$ дан катта бўлмаслиги керак.

Поршень (плунжер) илгариланма (олдинга) ҳаракат қилганда эса иш бўшлиғидаги босим ортиб, сўриш клапани ёпила-



4. 2-расм. Бир томонлама ишлайдиган кривошип-шатунли насос:

1—кривошип шатунли механизм. *2*—шток, *3*—поршень (плунжер) *4*—сўриш клапани, *5*—ҳайдаш клапани *6*—сўриш трубаси, *7*—тиргак (товон) клапан, *8*—фильтр, *9*—ҳайдаш трубаси.

ди. Бўшлиқдаги босим ортишида давом этиб, унинг миқдори суюқликни ҳайдаш босими $p_х$ га етганида ҳайдаш клапани очилиб, суюқлик ҳайдаш трубаси 9 га ўта бошлайди. Суюқликни ҳайдаш поршеннинг энг чекка ҳайдаш чегарасига етгунча давом этади.

Насосни ишга туширганимизда у аввал сўриш трубасидаги ҳавони тортади ва суюқлик ҳосил бўлган босимлар фарқи таъсирида сўриш трубасига кўтарилади. Насос бир оз вақт ишлагандан сўнг сўриш трубаси ва цилиндрдаги ҳаво ҳайдаб чиқарилиб, суюқлик цилиндрни тўлдиради. Шундан кейин насос мосланган тартибда ишлай бошлайди. Натижада таъминловчи идишдаги суюқлик қабул қилувчи идишга ўтади. Цилиндрдаги юқори сатҳ билан суюқлик кўтарилган энг юқори сатҳнинг фарқига ҳайдаш баландлиги $H_х$ дейилади.

Сўриш баландлиги билан ҳайдаш баландлигининг йиғиндиси $H_с + H_х$ насоснинг тортиш баландлиги ёки тўлиқ статик босимни беради. Поршенли насосларнинг турли лойиҳалари билан қурилган турлари ишлаб чиқаришнинг кўп соҳаларида қўлланилади.

Юқорида айтганимиздек, поршенли насослар юқори босим керак бўлгандагина ишлатилади. Амалда кўп ҳолларда поршенли насослардан марказдан қочма насослар ўрнида фойдаланилади. Ҳажмий гидроузатмалар составида ишлаётган насослар асосан поршенли насослар турига киради. Бу айтилганлардан ташқари, поршенли насосларнинг яна бир устунлиги уларнинг фойдали иш коэффициентининг юқорилигидир. Поршенли насосларнинг марказдан қочма насослардан яна бир фарқи шундаки, унинг сўришини ҳайдаш трубасига ўрнатилган задвижка ёрдамида ўзгартириб бўлмайди. Лекин ҳайдаш трубасининг кесими кичрайиб бориши билан тезлик ва задвижка олдида босим орта боради. Агар задвижка бутунлай бекитиб қўйилса, босим жуда катталашиб кетиши натижасида ё насос бузилади, ёки труба ёрилади, ёхуд зўриқишнинг ортиб кетиши натижасида двигатель тўхтаб қолади. Шунинг учун поршенли насослардан юқори босимда ўзгармас сўриш миқдори зарур бўлган ҳолларда фойдаланилади.

Поршенли насосларнинг марказдан қочма насосларга таққослангандаги асосий камчилиги уларнинг қўполлиги, қиммат туриши, ишлатиш мураккаблигидир. Бу насосларни марказдан қочма насосларга нисбатан кўпроқ кузатиб туриш талаб қилинади, чунки поршенли насосларнинг клапанлари тез-тез ифлосланиб туради. Ифлосланиш насоснинг бошқа қисмларида ҳам бўлади.

75- §. Насоснинг босими, унумдорлиги (сўриш миқдори)

Насоснинг босими H деб насосдан ўтаётган суюқликнинг бирлик оғирлигига берилган энергия (бошқача айтганда насосдан ўтаётган суюқлик оқимининг солиштирма энергияси)га айтила-

ди. H суюқлик устунининг метрларида ўлчанади.

Босим икки усулда аниқланади:

1) насос қурилмасининг (4.2-расм) ўлчов асбоблари кўрсатувидан (насос ишлаб турганда);

2) насос қурилмаси қисмларида суюқликка берилган солиштирма энергиялар йиғиндисидан.

Биринчи усулда босим қуйидагича ҳисобланади. Аввал насосга киришдаги энергия ҳисобланади:

$$e_1 = H_c + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g},$$

бу ерда H_c, p_c, v_c — тегишлича сўриш баландлиги, босими ва тезлиги. Сўнгра насосдан чиқишдаги энергия ҳисобланади:

$$e_2 = H_c + H_0 + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{v_x^2}{2g},$$

бу ерда H_0 — киришдаги вакуумметр билан чиқишдаги манометрларда қарор топган сатҳлар фарқи; p_x, v_x — ҳайдаш босими ва тезлиги.

Ниҳоят, чиқиш ва киришдаги солиштирма энергиялар фарқини ҳисоблаб, насосдан ўтаётганда суюқлик олган энергия топилади, Бу фарқ насоснинг босимига тенг бўлади:

$$H = e_2 - e_1 = \left(H_c + H_0 + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{v_x^2}{2g}\right) + \left(H_c + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g}\right) =$$

$$= H_0 + \frac{p_x - p_c}{\gamma} + \frac{v_x^2 - v_c^2}{2g} \qquad (4.1)$$

Сўриш босимини вакуумметрнинг кўрсатиши бўйича топиш мумкин:

$$p_c = p_a - p_{вак}.$$

Ҳайдаш босими эса манометрнинг кўрсатишидан аниқланади:

$$p_x = p_a + p_м.$$

Бу муносабатлардан фойдаланиб ва вакуумметрик ҳамда манометрик босимларни тегишли босим миқдорлари орқали ифодалаб:

$$H_{вак} = \frac{p_{вак}}{\gamma} \qquad H_м = \frac{p_м}{\gamma},$$

насоснинг босими учун қуйидаги муносабатни оламиз:

$$H = H_м + H_{вак} + H_0 + \frac{v_x^2 - v_c^2}{2g} \qquad (4.2)$$

Кўпинча, тезлик босимларининг айирмаси кичик миқдор бўлгани учун уларни ҳисобга олинмайди.

Иккинчи усул билан босимни ҳисоблаш учун аввал таъминловчи идишдаги суюқлик сатҳига тегишли кесим ($1-1$) ва насосга киришдаги кесим ($2-2$) учун Бернулли тенгламаси ёзилади:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + h_c.$$

Сўнгра насосдан чиқишдаги кесим ($3-3$) ва суюқликнинг энг юқори кўтарилган сатҳидаги кесим ($4-4$) учун Бернулли тенгламаси ёзилади:

$$z_3 + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{v_x^2}{2g} = z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \frac{v_4^2}{2g} + h_x.$$

бу тенгликларда z_1, z_2, z_3, z_4 — тегишли кесимларнинг геометрик баландлиги: h_c, h_x — сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги гидравлик қаршиликлар.

Энг юқоридаги кесим (4—4) қабул қилувчи идишдаги суюқлик сатҳида десак, идишларнинг кесими трубалар кесимидан катта бўлгани учун v_1 ва v_4 ларни v_c ва v_x ларга нисбатан кичик миқдор деб олиб, уларни ҳисобга қўшмаймиз. Охирги икки тенгламага $z_2 - z_1 = H_1$; $z_4 - z_3 = H_2$ белгилашларни киритиб, улардан сўриш ва ҳайдаш босимларини топамиз:

$$\frac{p_c}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} - H_1 - \frac{v_c^2}{2g} - h_c,$$

$$\frac{p_x}{\gamma} = \frac{p_4}{\gamma} + H_2 - \frac{v_x}{2g} + h_x.$$

Олинган миқдорларни (4.1) тенгламага қўйиб ушбу тенгликни оламиз:

$$H = \frac{p_4 - p_1}{\gamma} + H_0 + H_2 + H_1 + h_c + h_x.$$

Насос қурилмасидан (4.2 -расмлар) кўринадики, $H_0 + H_2 = H_x$ $H_c =$ $= H$ ва $H_{ст} = H_x + H_c = H_0 + H_2 + H_1$.

Бунга асосан $H = H_{ст} + h_c + h_x$.

Таъминловчи ва қабул қилувчи идишларда босим, одатда, атмосфера босимига тенг бўлади ($p_1 = p_a$, $p_4 = p_a$). Шундай қилиб, босим учун ёзилган охирги тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$H = H_{ст} + h_c + h_x. \qquad (4.3)$$

Бу тенгликдан кўринадики, очиқ идишларда насоснинг босими (4.3) суюқликни кўтариш ҳамда сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги қаршиликни енгишга сарфланади.

Насоснинг унумдорлиги (сўриши) ёки сарфи деб, унинг вақт бирлигида сўрган суюқлик ҳажми Q га айтилади. Сўриш м³/соат, л/с ва бошқа бирликларда ўлчанади.

Содда амалий поршенли насоснинг сарфи қуйидагига тенг:

$$Q = F \cdot L \frac{n}{60}, \qquad (4.4)$$

бу ерда F — поршень кўндаланг кесимининг юзаси; L — поршеннинг юриши (йўли); n — поршеннинг бир минутда бориб келиш сони (ёки кривошип-шатунли механизмнинг айланиш сони).

Кўп амалий поршенли насоснинг сарфи:

$$Q = F \cdot L \frac{n}{60} \cdot i, \qquad (4.5)$$

бу ерда i — насос цилиндрларининг сони.

Икки амалий бир поршенли насоснинг сарфи:

$$Q = (2F - f)\, L \frac{n}{60}, \qquad (4.6)$$

бу ерда f—шток кундаланг кесимининг юзи.

Бошқа турдаги насосларнинг сарф формуласи тегишли насос ҳақида гапирилганда берилади.

76- §. Сўриш баландлиги

Поршеннинг қайтма ҳаракати вақтида сўриш камерасида босим камайиб, сўриш клапани очилади ва сўриш трубасидаги суюқлик камерага кира бошлайди. Сўриш трубасидан камерага суюқликнинг ўтиб туриши натижасида сўриш трубасида сийракланиш (вакуум) ҳосил бўлади. Бу ўз навбатида сув манбаидан сувнинг сўриш трубасига оқиб киришига сабаб бўлади. Насос сув сатҳига нисбатан юқорироқ жойлашган бўлса, у ҳолда сўриш трубасидаги абсолют босим суюқликнинг туйинган буғлари босимидан камайиб кетиши мумкин. Бунда суюқликда эриган газлар ва суюқлик буғи ажралиб чиқиб пуфакчалар ҳосил қилади. Босим яна ортганда пуфакчалар ичидаги газ ва буғ яна эриб кетиб, уларнинг ўрнига суюқлик интилади. Натижада гидравлик зарб ҳосил бўлади (буни биз кавитация ҳодисаси деб атаган эдик). Кавитациянинг асосий зарарларидан бири унинг кучайиб кетиши натижасида насоснинг мослашган иш тартибининг бузилишидир. Иккинчи зарари — кавитация кучайган жойларда металл емирилади. Шунинг учун сўриш трубасидан насосга киришда ҳаво қалпоғи ўрнатилади.

Баъзан ҳаво қалпоғи гидравлик зарбни сусайтириш билан бирга, сўришни текислаш мақсадида, ҳайдаш трубасининг бошланишига ҳам ўрнатилади. Сўриш трубасида босим айланиш сонининг ва сўриш баландлигининг ортиши натижасида камайиши мумкин.

Айланиш сонининг ортиши поршеннинг тезлигини ошириб, сўриш трубасида босимнинг камайиб кетишига олиб келади. Сўриш баландлигининг ортиши ҳам сўриш трубасида босимнинг камайишига таъсир қилиб, кавитация ҳодисасини вужудга келтиради. Сўриш баландлиги маълум чегарадан ўтганда кавитация кучайиб сўришнинг тўхташига олиб келади.

Ана шу чегара қиймати *чегара сўриш баландлиги* дейилади Чегара сўриш баландлигини аниқлаш учун 4.2- расмдан фойдаланамиз. Таъминловчи идишдаги сатҳни биринчи кесим, насосга киришдаги сатҳни иккинчи кесим деб, бу икки кесимга Бернулли тенгламасини қўллаймиз. Биринчи кесимда босим p_1, тезлик, v_1, иккинчи кесимда босим p_c (сўриш босими) тезлик v_c (сўриш тезлиги) кесимлар сатҳининг фарқи H_c (сўриш баландлиги) деб ҳисоблаб қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + H_c + h_{12}$$

Бундан сўриш баландлигини топамиз:

$$H_c = \frac{p_1}{\gamma} - \left(\frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2 - v_1^2}{2g} + h_{12}\right). \tag{4.7}$$

Албатта h_{12} гидравлика қисмида кўрилгандек сўриш трубасидаги гидравлик йўқотишларнинг йиғиндисидан иборат, яъни

$$h_c = h_{12} = \lambda \frac{l_c}{d_c} \frac{v_c^2}{2g} + \sum_{i=1}^{n} \xi \frac{v_c^2}{2g};$$

бу ерда биринчи ҳад ишқаланиш қаршилиги бўлиб, сўриш трубасининг узунлиги l_c ва диаметри d_c га боғлиқ; иккинчи ҳад маҳаллий қаршиликлар йиғиндисидир.

(4.7) тенгламадан кўринадики, сўриш баландлиги таъминловчи идишдаги босимнинг ортиши билан ортиб, сўриш босими эса сўриш тезлиги ва сўриш трубасидаги қаршиликнинг ортиши билан камаяди. Агар таъминловчи идишдаги босим атмосфера босимига тенг ($p_1 = p_a$), тезлик нолга тенг ($v = 0$) (очиқ идиш), сўриш босими эса суюқликнинг буғ босимига тенг бўлса, у ҳолда (4.7) тенглама қуйидагича ёзилади:

$$H_c < \frac{p_a}{\gamma} - \left(\frac{p_t}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + h_c\right). \tag{4.8}$$

Бунда тенглик белгиси H_c нинг чегара сўриш баландлигига тенг бўлган ҳолини кўрсатади. Чегара сўриш баландлиги H_c сўриш тезлиги v_c, сўриш трубасининг қаршилиги h_c ва тўйинган буғ босими p_t ни ҳисобга олмаган ҳолда ҳам денгиз сатҳида 20°С температурада 10 м дан ошмайди. Амалий текширишда чегара сўриш баландлиги 6 . . . 8 м, сўриш тезлиги эса $v_c = 1 \ldots 1{,}5$ м/с бўлади.

77- §. Насосларда энергия баланси, унинг ФИК ва бошқа параметрлари

Насос сўрилаётган суюқликка маълум миқдорда энергия беради. Лекин бу энергия насосга двигатель томонидан берилган энергия миқдорига тенг эмас, яъни двигатель берган энергиянинг бир қисми то суюқликка берилган энергия даражасига етгунча сарф бўлиб кетади. Бу сарфни насоснинг қуввати ва фойдали иш коэффициентини текшириш давомида аниқланади.

Насоснинг қуввати деб, унинг вақт бирлигида бажарган ишига айтилади. Қувват кгм/с, о.к., кВт ва бошқа бирликларда ўлчанади. Насоснинг бирор t вақтда кўтарган суюқлиги G кг, босими H бўлса, унинг бажарган иши қуйидагига тенг бўлади:

$$A = G_c\, Ht.$$

Юқорида айтилганга асосан:

$$N = \frac{GHt}{t},$$

лекин

$$G_c = \gamma \cdot Q,$$

шунга асосан қувват қуйидагича топилади:

$$N_ф = \gamma \cdot Q \cdot H \text{ кгм/с}.$$

Қувватни кВт ларда ифодаласак:

$$N_ф = \frac{\gamma \cdot QH}{\eta \cdot 102},$$

о. к. да ифодаласак:

$$N_ф = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot 75}.$$

Олинган қувват формулалари насоснинг суюқликка берган энергиясини ифодаловчи фойдали қувватни беради. Амалда эса двигателнинг вални айлантиришга сарфланган қуввати бу формулалар бўйича ҳисобланган миқдордан анча кўп бўлади. Двигателнинг валга берган қуввати билан фойдали қувватнинг фарқи суюқликни кўтаришда турли қаршиликларни енгишга сарф бўлади.

Насоснинг фойдали иш коэффициенти (ФИК) деб, фойдали қувватнинг валга берилган қувватга нисбатига айтилади:

$$\eta = \frac{N_ф}{N}. \qquad (4.9)$$

Буни назарга олганда суюқликни сўриш учун сарф бўлган умумий қувват двигатель сарфлаган қувватга тенг эканлигини биламиз. Умумий қувват қуйидаги формулалар ёрдамида ҳисобланади:

$$N = \frac{\gamma Q \cdot H}{\eta} \text{ кгм/с}; \qquad (4.10)$$

$$N = \frac{\gamma Q \cdot H}{75\,\eta} \text{ о.к};$$

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102\eta} \text{кВт}.$$

Юқоридагиларга асосан айтиш мумкинки, ФИК η суюқликни кўтаришдаги барча энергия йўқотишларини ифодаловчи миқдордир. Бу йўқотишлар уч турга бўлинади: гидравлик, механик ва ҳажмий.

1. **Гидравлик йўқотишлар** — насосдаги гидравлик қаршиликлар насосга кириш ва чиқишда, уюрмалар ҳосил бўлишида ва х. к. лардаги гидравлик ишқаланишни енгишга сарфланадиган энергиядир. Бу йўқотишлар гидравлик ФИК билан ҳисобга олинади:

$$\eta_г = \frac{H}{H + \Sigma h_{wнас}}. \qquad (4.11)$$

бу ерда $\sum h_{wнас}$ — насосдаги йўқотишлар йиғиндиси. Гидравлик ФИК насоснинг иш қисмлари ва умуман насоснинг тайёрланиш сифатига боғлиқ.

2. **Механик йўқотишлар** — насоснинг подшипникларидаги ишқаланишга, кривошип-шатунли механизмларга ва ўз эҳтиёжларига сарфланган қувват йўқотишлари бўлиб, механик ФИК билан ҳисобга олинади:

$$\eta_м = \frac{N_i}{Nb}, \qquad (4.12)$$

бу ерда N_i — насоснинг индикатор қуввати бўлиб, насоснинг валидаги қуввати ва механик йўқотишларга сарфланган қувватларнинг айирмасига тенг ($N_i = N_b - N_м$).

Механик ФИК— подшипник, мойдон ва бошқа ишқаланиш рўй берадиган қисмларнинг тайёрланиш сифатини ва мосланганлигини характерлайди.

3. Ҳажмий йўқотишлар— суюқликнинг насосдаги тиғизлагичлар, клапанлар орқали сизиши ва насос иш камераларини етарли тўлдирмаслиги натижасида вужудга келади.

Ҳажмий ФИК $\eta_х$ қуйидагича ифодаланади:

$$\eta_х = \frac{Q}{Q + \Delta Q} \qquad (4.13)$$

бу ерда ΔQ— насосдаги суюқликнинг ҳажмий йўқотишлари. Ҳажмий ФИК насоснинг герметиклик даражасини ва ишлаш шароитини характерлайди.

Шундай қилиб, насоснинг асосий параметрларидан бири бўлган тўлиқ ФИК юқоридаги учта ФИК нинг кўпайтмасидан иборат:

$$\eta = \eta_г \cdot \eta_м \cdot \eta_х.$$

Поршенли насосларда η=0,7...0,9 га, марказдан қочма насосларда эса 0,6...0,8 га тенг. Насос двигателига керакли қувват $N_{дв}$ ушбу формула билан аниқланади:

$$N_{дв} = \frac{N_{Н}}{\eta_{узат}} \cdot a,$$

бу ерда $\eta_{узат}$ — узатиш ФИК; a — двигателнинг тасодифий ўта зўриқишига қарши запас коэффициент; у двигатель қувватига қараб 1.1; 1.1 . . . 1,5 га тенг.

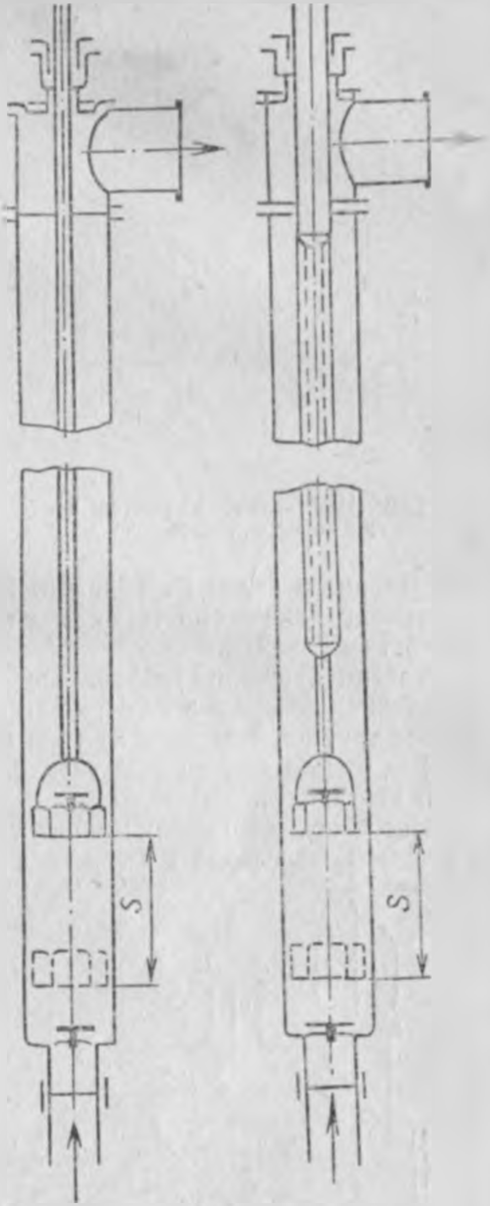
78- §. Насос конструкцияларининг намуна схемалари

Поршенли насослар қўлланиш шароитига қараб турлича конструкцияланади. Ҳозирги вақтда мавжуд насослар конструкция тузилишига қараб турлича бўлади: а) юритгичларига қараб юритгичи кривошип-шатунли, юритгичи кривошип-шатунсиз, бевосита ишлайдиган ва қўл насослари; б) ўқнинг жойланишига қараб горизонтал ва вертикал ўқли насослар; в) тортадиган суюқлигига қараб сув, иссиқ ва агрессив суюқликлар, лойқа ва ҳоказолар тортувчи насослар; г) айланиш сонига қараб тезюрар ва секинюрар насослар; д) суюқликни тортишда тўлиқ айланиш даврида неча марта сўриш ёки ҳайдаш процесси бўлишига қараб бир, икки, уч, тўрт ва кўп томонлама ишлайдиган насосларга ва ҳатто поршени ҳамда клапанларнинг жойлаштирилишига қараб классификацияланади. 4.2- расмда бир томонлама ишлайдиган кривошип-шатун механизмли насос келтирилган. Бунда плунжер вертикал ёки горизонтал жойлашган бўлиши мумкин. Агар плунжернинг ўрнига поршень ишлатилса, мойдон керак бўлмай қолади, лекин поршень йўли узунлиги билан баробар, ички сирти силлиқ пардозланган-гильзаланган цилиндр керак бўлади.

Вертикал жойлашган цилиндр ва поршень ишлатилган ҳолларда ҳайдаш клапанини поршенга ўрнатиб, ўтувчи поршенли насос (4.3- расм) қуриш қулайроқдир.

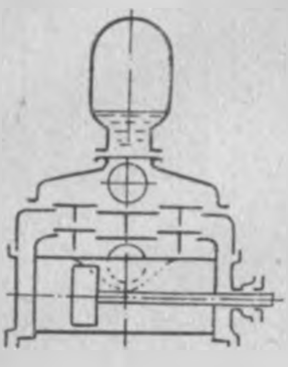
Икки томонлама ишлайдиган насосларда сўриш ва ҳайдаш поршень (плунжер) нинг икки томонида ҳам амалга оширилади. Натижада насоснинг сўриши икки баравар ортади ва тўлиқ айланиш даврида текисроқ ишлайди. 4.4- ва 4.5- расмларда икки томонлама ишлайдиган поршенли ва плунжерли насосларнинг схемаси келтирилган. Уч, тўрт ва кўп томонлама ишлайдиган насослар камроқ қўлланилиб, сўриш бир текис бўлиши бир айланишда текисроқ ишлаши билан фарқланади, тузилиши бўйича юқоридаги келтирилган турлардан кам фарқ қилади. Уч томонлама ишлайдиган насосда учта бир томонлама ишлайдиган насос, тўрт томонлама ишлайдиган насосда икки томонлама ишлайдиган иккита насос баравари‌га ишлайди.

Юқорида айтилганлардан дифференциал насослар (4.6-расм) анчагина фарқ қилади. Бу насосларда плунжер чапдан ўнгга ҳаракат қилганда сўриш камерасида сўриш клапани очилиб, ҳайдаш клапани ёпилади ва суюқлик сўрилади, плунжернинг ўнг томонидаги ёрдамчи камерада эса сиқилиш процесси натижасида босим ортиб суюқлик ҳайдаш трубасига оқа бошлайди. Плунжер ўнгдан чапга ҳаракат қилганда сўриш камерасида босим ортиб, сўриш клапани ёпилади, ҳайдаш клапани эса очилади. Натижада суюқлик сўриш камерасидан чиқиб, унинг бир қисми ҳайдаш трубасига оқади, қолган қисми ёрдамчи камерага сўрилади. Шундай қилиб, ҳайдаш трубасига (истеъмолчига) суюқлик бир текис етказиб берилади.

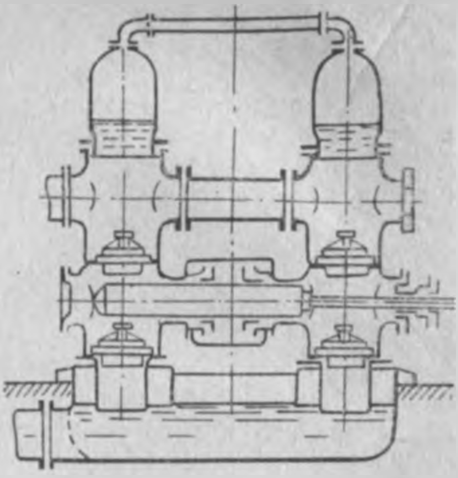


4. 3-расм. Ўтувчи поршенли насос.

Дифференциал насослар икки томонлама ишлайдиган насосдек ишласа ҳам, улардан тўрт клапан ўрнига фақат икки клапандан



4. 4-расм. Икки томонлама ишлайдиган поршенли насос.



4. 5-расм. Икки томонлама ишлайдиган плунжерли насос.

фойдаланиши билан фарқланади. Шу билан бирга дифференциал насоснинг ҳажми бир томонлама ишлайдиган насос ҳажмидан унча катта бўлмайди.

Баъзан суришни ҳайдаш трубасида эмас, сўриш трубасида бир текис таъминлаш зарур бўлганда юқорида айтилган усулни сўриш трубаси томонига қўллаш мумкин (4.7 - расм).

4.8- расмда амалда ишлатиладиган поршенларнинг баъзи турлари келтирилган.

Насосларнинг ишлаш шароитига қараб турли клапанлар танлаб олинади. Клапанларнинг ишлашида уларнинг ўз вақтида очилиб ёпилиши муҳим роль ўйнайди. Суюқликнинг фақат динамик кучи таъсирида ёки клапаннинг икки томонидаги босимлар фарқи таъсирида очилиб-ёпиладиган ва бошқа ёрдамчи механизмлари бўлмаган клапанларга мустақил клапанлар дейилади.

4. 6-расм. Дифференциал насос:

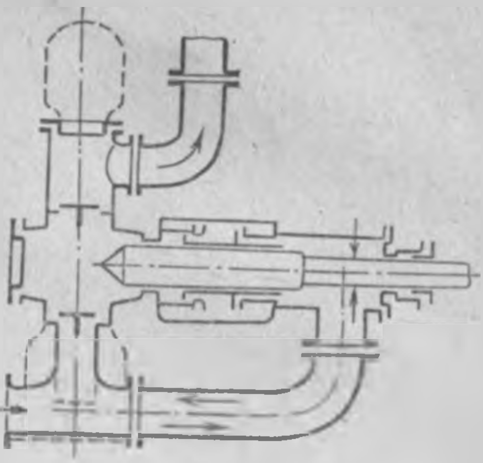
а—плунжерли дифференциал насос (ҳайдаш трубасида)

Бирор механизм иштирокида очилиб-ёпиладиган клапанлар номустақил клапанлардир.

Клапан қурилмасининг ишлаш характерига қараб улар кўтарма, ташлама ва золотниксимон клапанларга бўлинади.

Кутарма ва ташлама клапанлар мустақил ва номустақил эмас бўлиши мумкин, золотниксимонлар эса фақат номустақил булади.

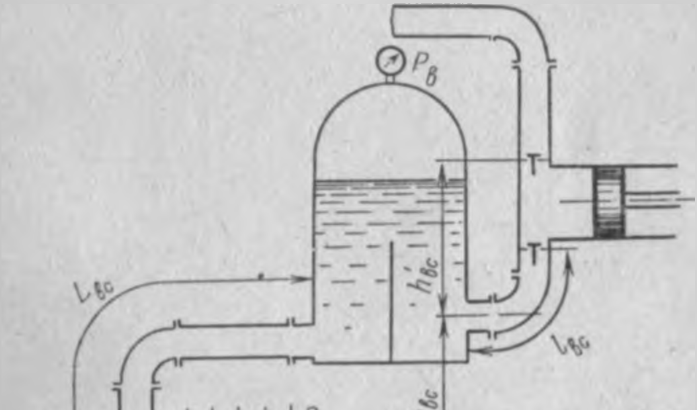
Клапанларга қуйилган асосий талаб уларнинг клапан каналининг зич ёпилишини таъминлашидир. Бу талаб бажарилмаса, клапан остига насос ишини бузиши мумкин булган бирор нарса (қум, чўп, қурум, латта ва ҳ. к.) лар кириб қолиши мумкин.



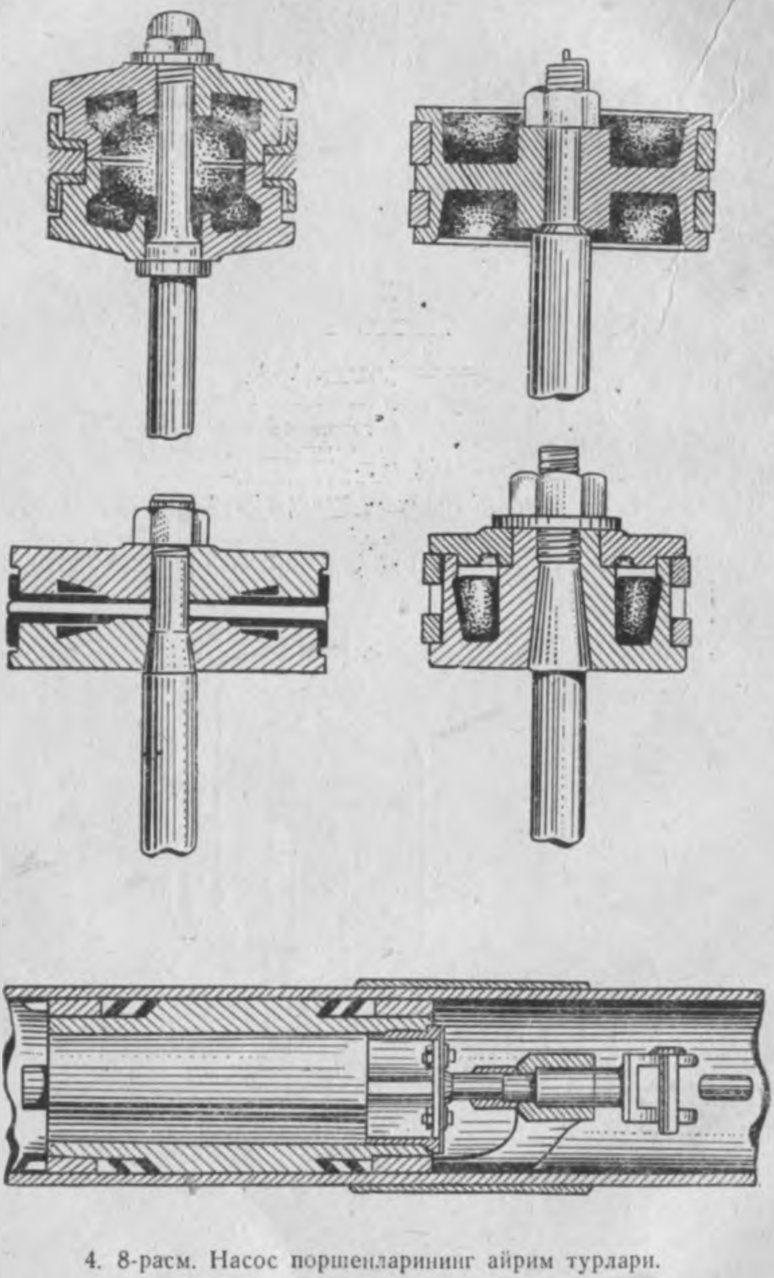
б—плунжерли дифференциал насос (сўриш трубасида).

Клапанлар турли конструктив шаклларга эга булади: тарелкасимон, конуссимон, шарсимон клапанлар. Шарсимон клапанлар тоза булмаган суюқликларни сўришда қулланилади.

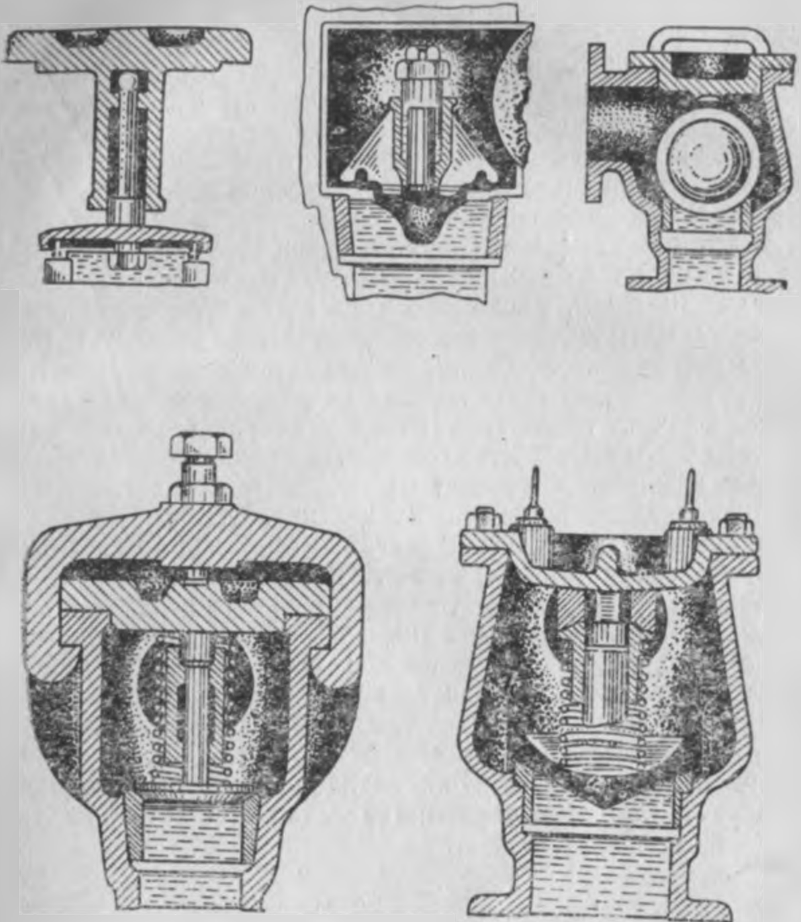
Клапанларнинг турли конструкциялари 4.9- расмда келтирилган.



4. 7-расм. Поршенли дифференциал насос (сўриш трубасида).



4. 8-расм. Насос поршенларининг айрим турлари.



4. 9-расм. Поршенли насосларнинг клапанлари.

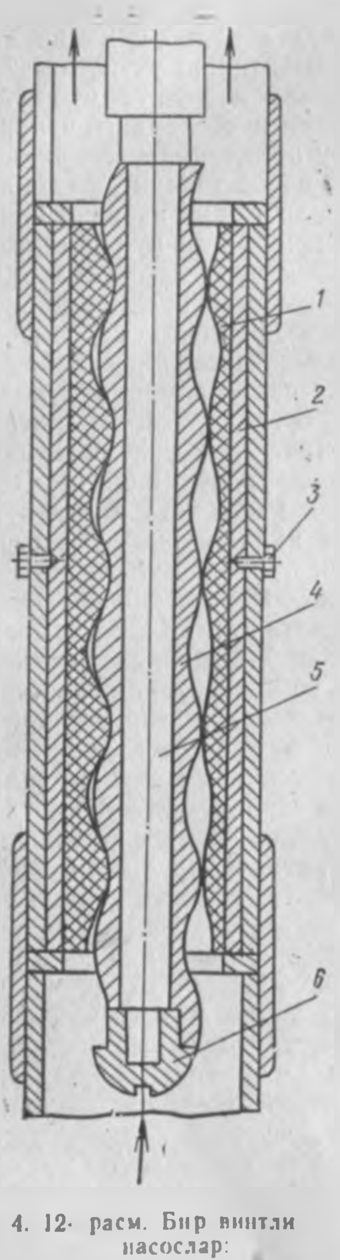
79- §. Бошқа тур ҳажмий насослар: шестерняли, коловоротли, винтли, плунжерли, диафрагмали насослар. Уларнинг қўлланиш соҳаси

Ҳажмий роторли насослар шестерняли, винтли, пластинкали (шиберли) ва айланма поршенли турларга бўлинади. Улар ўзгарувчан сарфли ёки бошқариладиган ва ўзгармас сарфли ёки бошқарилмайдиган бўлиши мумкин.

Бу турдаги насосларнинг сарфи иш бўшлиғи катталигига ва роторнинг айланишлар сонига боғлиқ; насос элементларининг пухталиги босим тармоғидаги қаршиликка мос бўлиши керак. Агар босим тармоғидаги задвижка тасодифан ёпиқ бўлиб қолса ва насос муҳофаза аппаратлари билан таъминланмаган бўлса, бу ҳолда насос синади ёки насос двигатели ишдан чиқади.

Роторли насослар ҳар хил бир жинсли суюқликларни узатишда автоном қурилма сифатида, шунингдек, гидроприводлар таркибида суюқликни ҳаракатлантирувчи ёки суюқликка керакли энергия

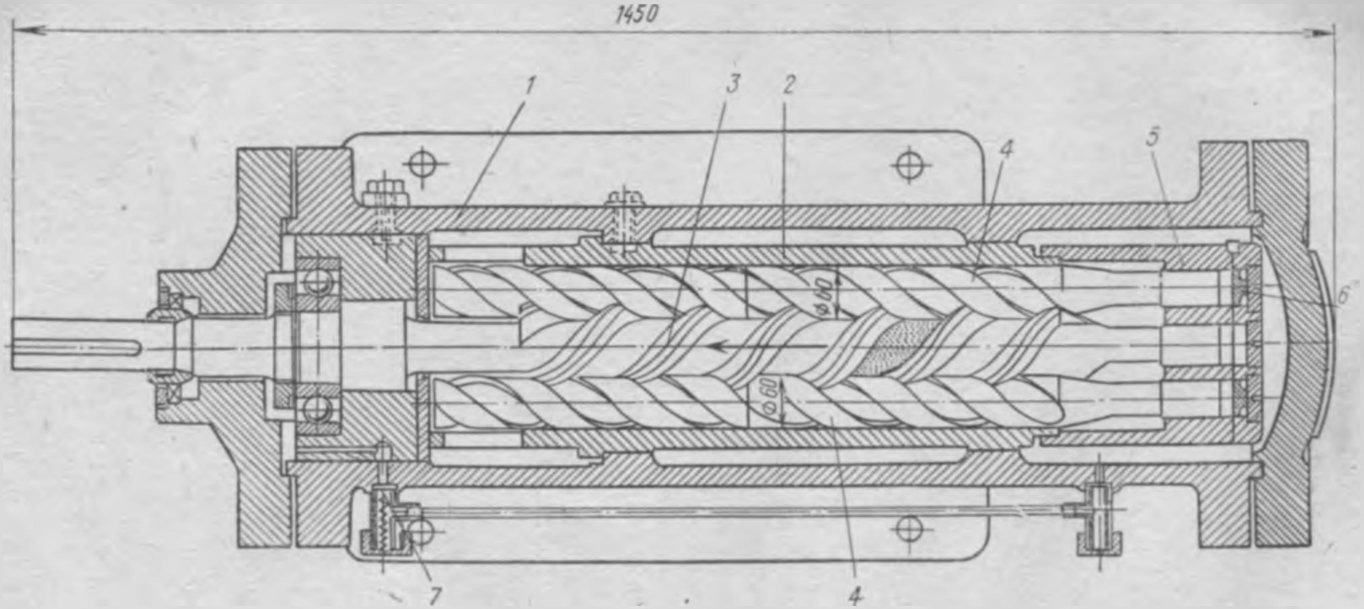
юқори босимда ва катта айланишлар сонида шовқинсиз ишлай олади. Винтли насослар бир, икки, уч ва ҳоказо винтли бўлади. Бир винтли насослар ҳажмий насосларнинг ҳамма афзалликларини мужассамлаштирган бўлиб, улар юқори босимда узатилаётган суюқликни жуда кам аралаштиради ва катта сўриш баландлигига эга. Ундан ташқари, плунжерли ва поршенли насослардан ҳаракатланадиган деталларнинг камлиги (1 та винт), клапанларнинг ва мураккаб ўтиш жойларининг йўқлиги билан фарқланиб, улар гидравлик қаршиликни камайтиради. Бир винтли насосларда тортиш бир текис бўлгани учун инерция таъсири бўлмайди, натижада сўриш яхшиланади. Бу насослар ихчам, енгил, содда тузилгандир. Совет Иттифоқида бир винтли насослар кўмир шахталаридан ифлосланган сувларни тортиб олишда, ҳовзалардан нефтни сўришда, қудуқлардан сув тортишда ва ачитқиларни транспортировка қилишда ишлатилади.



4. 12- расм. Бир винтли насослар:

1—винтсимон юза (қоплама), *2*—обойма, *3*—созловчи болтлар, *4*—геротор (винт), *5*—винт ўқи, *6*—тирак подшипник.

Бир винтли насосларнинг (4. 12-расм) ишлаш принципи қуйидагича. Ички томони винт шаклида профилланган цилиндрда винт айланади. Цилиндр ўзига хос профилли бўлгани ва винт айланиши сабабли суюқликнинг чексиз ҳаракати вужудга келади. Цилиндрнинг ички винтсимон юзаси ва винт юзаси орасида ёпиқ бўшлиқлар ёки ҳажм ҳосил бўлади. Бу бўшлиқларнинг вақт бирлиги ичидаги умумий ҳажмига мос равишда насоснинг сарфи ошади. Сўриш томонидаги бўшлиқ ҳажми катталашганда насоснинг кириш қисмида босимлар айирмаси ҳосил бўлади ва бу бўшлиқ суюқликка тўлади. Бирор вақтда бўшлиқ ёпилади ва бу цилиндрнинг ҳайдаш томонига ҳаракатлана боради: ҳар бир бўшлиқ маълум ҳажмдаги суюқликни олиб чиқади. Винтнинг бир тўлиқ айланишидаги суюқлик цилиндр бўйича бир қадам узунликка силжийди ва ўзгармас кесимдан тўкилади. Ёпиқ бўшлиқлар-



4. 13-расм. Уч винтли насослар:

1—корпус, 2—рубашка, 5—обойма, 6— тирак (подпятник), 7—шарикли клапан.

нинг силжиши натижасида босим сўриш босими p_c дан ҳайдаш босими p_x гача ошади.

Энг кўп тарқалган винтли насосларга уч винтли насослар киради (4.13- расм). Винтли насосларда асосий иш органи винтлар бўлиб, улар айланма ҳаракат қилади. Иш винти вазифасини фақат етакловчи винт бажаради. Етакланувчи винтлар узатилаётган суюқликнинг босими таъсирида айланади, шунинг учун эксплуатация даврида винтлар тез ишдан чиқмайди, ейилмайди ва ишончли бўлади. Етакланувчи винтлар зичлагич ролини ўтаб, узатиш камерасидан сўриш камерасига суюқликнинг қайтиб тушишига тўсқинлик қилади. Етакловчи винтнинг ички диаметри ва етакланувчи винтнинг ташқи диаметри ўзаро тенгдир. Учта винтнинг кесимлари иш вақтида ўзаро тегиб чексиз юза бўлими ҳосил қилади ва суюқликни сўриш камерасидан узатиш камерасига сурувчи поршень ролини бажаради. Бўлим юзаси винтнинг ҳар бир қадамида такрорланади, қадамлар сони иш узунлигида кўпайган сари бўшлиқлар сони ошиб боради. Винт қадами чегарасидаги ҳар бир бўшлиқ кўп поғонали насослардаги айрим поғона ўрнида бўлиб, винт узунлиги кўпайиши билан юқори ҳажмий ФИКли катта босим ҳосил қилади. Винтли насос учта асосий қисмдан иборат: статор, насос корпуси ва ротор (етакловчи винт). Ленинград металл заводида МВН 10 маркали винтли насоснинг принципиал схемаси яратилган. Бу насосда тўртта винт бор: ўртадаги иккитаси етакловчи ва иккитаси етакланувчи. Винтларнинг кесик жойлари статор ичида жипс жойлашган бўлиб, подшипникка ўхшаб айланади. Статорни бошқача қилиб рубашка ҳам дейишади, ундаги винтлар узунлиги эса иш узунлиги дейилади. Рубашка охирига сўриш ва ҳайдаш камералари келиб бирлашган. Етакловчи валнинг охири корпусдан чиқиб туради ва муфта ёрдамида двигателга уланади. Ўқий босимни мувозанатлаш мақсадида насос винтларида ёки корпусда суюқлик ҳайдаш камераси томондан сўриш камераси орқасидаги винт тагига суюқлик оқиб тушадиган ариқчалар ясалади.

Насосни бузилишлардан сақлаш учун сақлагич клапанлар қўйилган. Уч винтли насосларнинг ишлаш принципи қуйидагича. Етакловчи винт двигателдан айланма ҳаракатга келтирилади, бундай винтларнинг ажратиш текислиги сўриш камерасининг чуқурчаларида жойлашган бир ҳажм суюқликни кесиб ажратиб олади. Кейин суюқлик винт бўйлаб ҳайдаш камерасига, ундан ҳайдаш трубасига қараб ҳаракатланади. Шу пайтда сўриш камерасида сийракланиш бўлади, натижада сўриш трубасидаги суюқлик сўриш камерасига тушиб, винт чуқурчасини тўлдиради; бу процесс чексиз давом қилади ва насос ишининг узлуксизлигини таъминлайди.

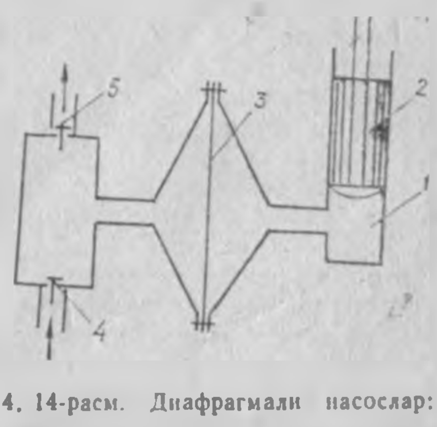
Суюқлик кесими юзаси томонидан ажратиб олинмасдан олдин $p=p_a-p$ босими остида ҳаракатланаётган бўлса, унинг кейинги ҳаракати винтларнинг кесими юзаларининг босими остида содир бўлади (поршенга ўхшаб). Суюқлик насосга узлук-

сиз берилгани сабабли бир текис сўриш рўй беради. Винтли насослар 4—7кг/см² дан 20 кг/см² гача босимлар учун тайёрланади. Чегара сўриш баландлиги 8...9 м сув устунига тенг. Винт иш узунлигидаги ўрамлар сони, асосан, паст босимли насослар учун $z=1{,}5\ h$, ўрта босимлар учун $z=3\ h$ ва юқори босимлар учун $z=5\ h$ деб қабул қилинган (бунда h — винт қадами).

3. **Плунжерли насослар.** Плунжерли насосларнинг ишлаш принципи поршенли насосларнинг ишлаш принципига ўхшаш бўлиб, улар конструктив схемалари бўйича бир-биридан фарқ қилади. Бу насосларда иш органи сифатида поршеннинг ўрнига плунжердан фойдаланилади (4.4 ва 4.5-расмлар). Плунжерларнинг поршендан фарқи шундаки, уларнинг кўндаланг кесими узунлигига нисбатан бир неча баравар кичик бўлиб, компрессион ва мой сидириш ҳалқалари бўлмайди.

4. **Диафрагмали насослар.** Химиявий актив суюқликларни ва моддаларнинг катта заррачалари аралашган суюқликларни сўриш учун поршенли насосларнинг махсус турлари ишлатилади. Бундай насосларнинг энг тарқалган тури диафрагмали ёки мембранали насосдир (4.14-расм).

Бу насосларнинг ишлаш принципи плунжерли ёки поршенли насосларнинг ишлаш принципига ўхшайди ва суспензияларни ҳамда металл қисмларнинг емирилишига катта таъсир қилувчи актив суюқликларни сўришда ишлатилади. Насоснинг цилиндри *1* ва плунжери сўрилаётган суюқликдан эластик тўсиқ *3* — диафрагма (мембрана) билан ажратилган бўлиб, тўсиқ юмшоқ резина ёки махсус пўлатдан тайёрланади. Плунжер орқага юрганда диафрагма бўшлиғининг ўнг қисмида сийракланиш ҳосил бўлади. Натижада диафрагма ўнг томонга эгилиб, сийракланиш бўшлиқнинг чап томонига, сўнгра насоснинг иш бўшлиғига берилади. Бу эса худди поршенли насослардаги каби сўриш клапани очилиб, сўриш процессининг содир булишига сабаб бўлади. Плунжер олдига юрганда эса диафрагма бўшлиғининг ўнг қисмида босим ортиб, диафрагма чапга эгилади. Шу йўл билан босимнинг ортиши иш бушлиғига берилиб, сўриш клапани 4 ёпилади, сўнгра ҳайдаш клапани 5 очилиб, суюқликни ҳайдаш бошланади. Бунда плунжер ва цилиндр сўрилаётган суюқликдан ажратилгани учун химиявий актив моддалар таъсирида бўлмайди ва занглаш, эрозия ҳодисаларидан холи булади. Насоснинг

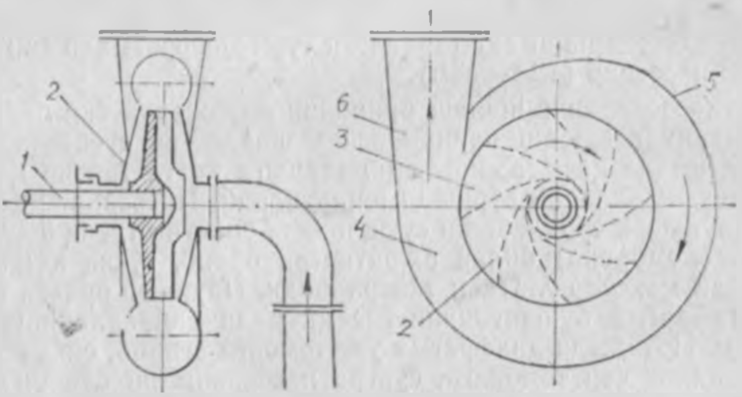


4. 14-расм. Диафрагмали насослар:
1—цилиндр, *2*—плунжер, *3*—диафрагма, *4*—сўриш клапани, *5*—ҳайдаш клапани.

сўрилаётган суюқликка тегиб турадиган қисмлари (иш бўшлиғи, клапанлар ва ҳ. к.) кислота бардош материаллардан қилинади ёки кислота бардош моддалар билан қопланади. Баъзи ҳолларда шток бевосита диафрагмага уланган бўлиб, ҳаракат шток орқали диафрагмага берилади. Бу ҳолда ҳам сўриш ва ҳайдаш юқорида айтилгандек амалга оширилади (4.17-расм). Бундай насослар автомобиль, трактор ва бошқа қишлоқ хўжалик машина двигателларининг таъминлаш системасида қўлланилади. Бу машиналарда ҳаракат штокка газ тақсимлаш валининг эксцентриги ёрдамида берилади.

80-§. Марказдан қочма насоснинг тузилиши

Одатда, марказдан қочма насоснинг иш ғилдираги шундай жойлаштириладики, суюқлик унинг атрофидаги бўшлиқ орқали ўтиб, сўнгра ўқдан радиус бўйича узоқлашади. Насосларнинг тузилиши турлича бўлади. 4.15-расмда марказдан қочма на-



4. 15-расм. Марказдан қочма насос:

1—вал, 2—иш ғилдираги, 3—куракчлар, 4—насос, 5—корпус, 6—диффузор.

соснинг схемаси келтирилган бўлиб, у насоснинг ишлаш принципини шартли равишда кўрсатади. Сўриш трубаси орқали таъминловчи идишдан кўтарилган суюқлик камеранинг ўрта қисмига киради. Сўнгра вал *1* орқали ҳаракатга келтирилувчи иш ғилдираги *2* нинг кураклари *3* орасидан ўтиб, насос камераси *4* га тушади. Бу ерда марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босим суюқликни ҳайдаш трубасига сиқиб чиқаради. Суюқликнинг ҳайдаш трубасида маълум миқдордаги тезлик билан оқишини таъминлаши учун ўтказувчи камера, йўналтирувчи аппарат ва диффузор каби бир қанча махсус мосламалардан фойдаланилади. Насосдаги сўрилиш қабул қилувчи идишдаги суюқлик сатҳига таъсир қилувчи босим билан сўриш трубасидаги сийракланиш босими орасидаги фарқ ҳисобига амалга ошади. Бунда айтилган босимлар фарқи сўриш баландлигини, сўриш трубасидаги қаршиликларни енгишга ва суюқ-

ликка тезлик беришга сарф бўлади. Бу тезлик суюқликнинг камерага ва сўнгра парраклар орасидаги каналга киришига ёрдам беради. Табиийки, бунда таъминловчи идиш билан сўриш трубасидаги босимлар фарқи сўрилаётган суюқлик буғлари босимидан кам бўлмаслиги керак. Ҳайдаш баландлиги, марказдан қочма насос енгиши мумкин бўлган энг юқори баландлик бўлиб, ғилдиракнинг ташқи айланмасидаги тезлик қанча катта бўлса, у ҳам шунча катта бўлади. Айланма тезлик эса насос ғилдираги диаметрининг катталиги ва айланиш сонига боғлиқ.

Насос корпусининг тузилиши ҳам ҳайдаш баландлигининг юқори бўлишига катта таъсир қилади. Шунинг учун насоснинг корпусида сўрилиш йўли, спирал йўли ва йўналтирувчи аппаратлар мосланган бўлади.

Сўрилиш йўли — корпуснинг сўриш трубасидан иш ғилдирагига ўтишидаги каналидир. Суюқликнинг насосга сўриладиган йўлининг энг яхши шакли ўқ йўналишидаги конус кўринишида бўлади.

Тезюрарлиги ўртача ва кичик бўлган насослар учун насосга сўрилиш йўли спирал шаклида бўлиши мумкин. Тезюрарлиги юқори бўлган насосларда эса ўқ бўйича сўрилиш тезлигини 15...20 % оширувчи конфузор орқали амалга оширилади. Спирал кўринишидаги сўрилиш камераларини ҳисоблашда сўриш тезлиги $c_{сўр}$ ғилдиракка кириш тезлиги c_1 га қараганда анча кичик қилиб олинади: $c_{сўр} = (0{,}85\ ...\ 0{,}70)\, c_1$.

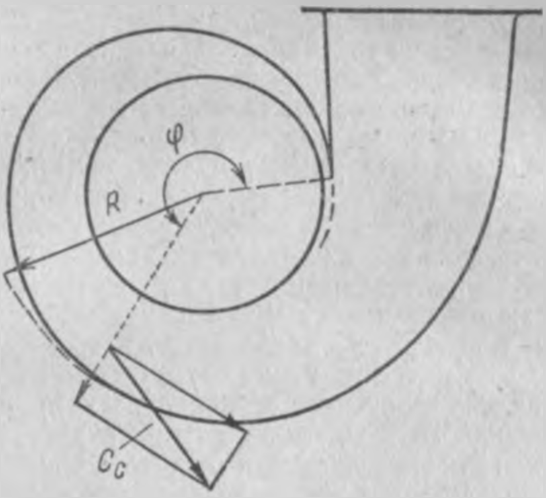
Спирал йўл. Суюқликнинг насосдан чиқиш канали — спирал камера тузилиши содда бўлгани учун йўналтирувчи аппаратга қараганда қаршилиги кам бўлади, (яъни ФИК катта). Лекин спирал камеранинг каналларини механик усулда силлиқлаб бўлмайди. Сўнгги вақтларда метал қуйиш анча аниқ ва тоза бажарилгани учун спирал камералар кўпроқ қўлланила бошлади (ҳатто кўп поғонали насосларда ҳам қўлланилмоқда).

Иш ғилдирагидан чиққан суюқлик заррачаси спирал камеранинг бирор қисмига киргандан сўнг радиус бўйича ҳаракатланишда давом этиши билан бирга айланма ҳаракат ҳам қилиб, чиқиш томонга интилади (4.16 - расм) ва ўзидан кейин келаётган заррачага ўз ўрнини бўшатиб беради. Спирал камерани ҳисоблашда айланма тезликнинг тегишли радиус - векторга кўпайтмаси ўзгармас деб қабул қилинади. Натижада спирал камерада суюқлик тезлиги чиқишга қараб камайиб боради. Бу ҳол насоснинг ишлашига яхши таъсир қилади ва тезликнинг камайиши потенциал энергиянинг ортишига олиб келади. Бунда табиийки, тезликнинг камайиб боришига кесимнинг *а* кўриниши *б* кўринишга қараганда кўпроқ таъсир қилади (4.17 - расм).

Одатда спирал камерада тезлик қуйидагича формула билан ҳисобланади:

$$c_с = k_с \sqrt{2g \cdot H}, \qquad (4.13)$$

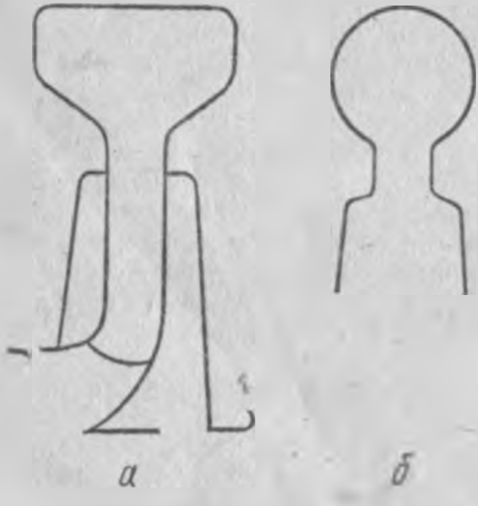
бу ерда $k_с$ — тезюрарлик коэффициентига боғлиқ бўлиб, 0,45 дан 0,2 гача ўзгаради.



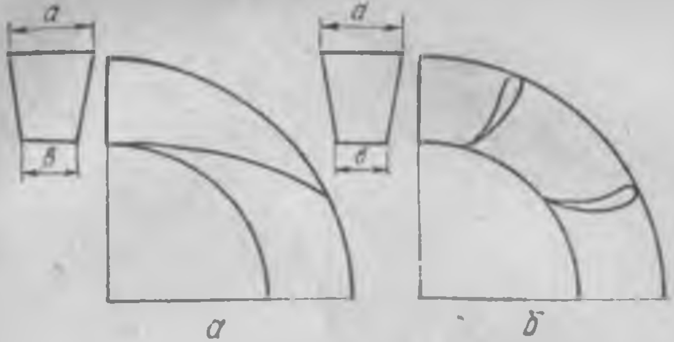
4. 16-расм. Суюқликнинг спирал камерадаги ҳаракатининг схемаси.

Эслатиб ўтиш керакки, ҳар қандай спирал камера фақат тегишли ҳисобланган сарф учун тўлиқ самара бериб, сарфни ўзгартирганда унинг қаршилиги ҳисобланган ҳаракат бузилади, бу эса ФИК га таъсир қилади. Тезликни камайтириб, юқори босим олиш учун чиқиш олдида диффузордан фойдаланиш яхши натижа беради.

Йўналтирувчи аппарат. Йўналтирувчи аппарат иш ғилдирагидан чиққан суюқликнинг радиус бўйича кенгайиб бориши давомида суюқлик кесимини айлана бўйича ҳам ортиб боришга мажбур қилади. Натижада аппаратдан ўтиш давомида тезлик камайиб боради (4.18-расм, *а*). Йўналтирувчи аппаратда суюқлик заррачалари тўғри чизиқли йўналишдан оғиб, аппарат парракларига босади ва уни иш ғилдираги ўқи атрофида айланишга мажбур қилади. Парраксиз йўналтирувчи аппаратларда суюқликка радиал йўналишга яқин тезлик бериб бўлмайди. Шунинг учун бундай аппаратлар камроқ қўлланилади. Парракли йўналтирувчи аппаратларда эса (4.18-расм, *б*) суюқлик заррачаларига иш ғилдирагидан чиққандаги тезликдан тамом фарқли тезлик берила-



4. 17-расм. Спирал камера кесимининг шакллари.



4. 18-расм. Йўналтирувчи аппарат: *а*—куракcиз, *б*—куракли

ди. Бундан ташқари, кесими ўзгармайдиган куракcиз йўналтирувчи аппарат (4.18-расм, *а*) га нисбатан куракли йўналтирувчи аппаратда тезликни кўпроқ камайтириб, кинетик энергияни потенциал энергияга кўпроқ айлантириш мумкин.

Йўналтирувчи аппаратнинг тузилиши иш ғилдирагидан чиққан суюқликнинг ҳайдаш трубасига киришини осонлаштиради.

81-§. Иш ғилдираги назарияси асослари

Иш ғилдираги марказдан қочма насоснинг асосий қисмини ташкил қилиб, унинг тузилишига асос бўлади. Юқорида айтганимиздек, насосларда суюқликка марказдан қочма куч ёрдамида кинетик энергия берилиб, сўнгра бу энергиянинг мумкин қадар кўпроқ қисми потенциал энергияга айлантирилади.

Турбиналарда хам асосий қисм иш ғилдираги бўлиб, у суюқлик энергияси ёрдамида ҳаракатга келади. Бунда турбинадан ўтаётган суюқлик унинг куракларига маълум куч билан босиб уни айланма ҳаракатга келтиради. Бу ҳаракат эса генератор роторини айлантиради. Гидравлика бўлимидаги каби насос ва турбинадаги ҳаракатни ҳам бир ўлчовли ҳаракатга келтириб, иш ғилдирагидаги суюқлик массасининг ҳаракати элементар оқимча ҳаракати каби қаралади.

Айтилган усул билан марказдан кочма насос учун тенглама 1755 йилда Л. Эйлер томонидан чиқарилган бўлиб, кейинчалик куракли машиналар назариясида асосий тенглама деб юритиладиган бўлди ва турбиналар ҳамда бошқа турдаги куракли машиналарда ҳам қўлланила бошлади. Эйлер тенгламаси иш ғилдирагининг геометрик ва кинематик характеристикаларини насос ҳосил қилган босим билан боғлайди. Бу тенглама қуйидаги иккита масалани ҳал қилишга ёрдам беради:

1) берилган сарф ва ҳосил қилиниши керак бўлган босим бўйича иш ғилдираклари сони ва унинг ўлчамларини топиш;

2) берилган иш ғилдираги ва валнинг айланиш сони бўйича сарф ва ҳосил бўладиган босимни ҳисоблаш.

Тенгламани чиқаришда:

1) куракларнинг чеклилиги ҳисобга олинмайди;

2) кураклар орасидаги каналлардан ўтаётган суюқликлар бир хил шароитда оқади деб қаралади. Ана шундай йўл қўйишлар билан ҳисобланишига қарамай натижа жуда тўғри чиқади.

Энди, марказдан қочма насос иш ғилдирагини ҳосил қиладиган босимни ҳисоблаймиз. Бунинг учун ғилдирак каналларидан бирини (4.19-расм) қурамиз. Суюқлик сўриш трубасидан каналга C_1 тезлик билан келади. Назарий ҳисобга йўқотиш кирмаслиги учун суюқликни каналга „гидравлик зарбсиз" киради деймиз. Бу деган сўз, киришдаги тезлик C_1 нинг катталиги ва йўналиш бўйича каналнинг бошланишидаги абсолют тезликка, яъни айланма тезлик u_1 ва куракка нисбатан нисбий тезлик w_1 лардан тузилган параллелограммнинг диагоналига тенг. Каналдан чиқишда суюқликнинг абсолют тезлиги c_2, айланма тезлиги u_2, нисбий тезлиги w_2 бўлади. Киришда босим p_1, чиқишда p_2 бўлса, у ҳолда каналнинг кириш ва чиқиш кесимлари учун Бернулли тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{w_1^2}{2g}=z_2+\frac{w_2^2}{2g}-H_к+h_{12}, \qquad (4.14)$$

бу ерда

h_{12} — икки кесим орасидаги гидравлик йўқотиш;

$H_к$ — каналдаги ҳаракат вақтида марказдан қочма куч ҳисобига босимнинг ортиши.

Босимнинг энергетик маъносини назарга олсак, $H_к$ марказдан қочма куч ҳисобига ҳосил бўлган энергияни билдиради. Бу энергия кинетик энергиянинг кўп ортиб, потенциал энергия (босим энергияси)нинг кам ортиши, ёки потенциал энергия кўп ортиб, кинетик энергия кам ортиши кўринишида намоён бўлади. Биринчи ҳолда иш ғилдирагини актив, иккинчи ҳолда эса реактив дейилади. Бундай босимлардан турбиналарда кўпроқ қўлланилади (актив ва реактив турбиналар). Активликнинг чегараси $p_1=p_2$ тенгликнинг бажарилиши, реактивликнинг чегараси эса $\frac{c_1^2}{2g}=\frac{c_2^2}{2g}$ нинг бажарилиши билан баҳоланади.

Марказдан қочма куч ҳосил қилган энергия z_2-z_1 масофада бажарилган солиштирма (бирлик оғирликдаги суюқлик учун) ишга тенг бўлади. Агар иш ғилдирагининг бурчак тезлиги ω бўлса, у ҳолда оғирлиги G, массаси m бўлган суюқлик заррасига таъсир қилувчи марказдан қочма куч $m\omega^2r$ ёки $\frac{G}{g}\ \omega^2r$ га тенг бўлади. У ҳолда r_2-r_1 масофада бажарилган иш:

$$A=\int_{r_1}^{r_2}\frac{G}{g}\,\omega^2r\,dr=\frac{G\omega^2}{2g}(r_2^2-r_1^2)$$

га тенг. Бурчак тезлиги ω нинг радиус r га кўпайтмаси айланма тезлик u га тенг, шунинг учун

$$\omega^2\cdot r_2^2=u_2^2 \text{ ва } \omega^2r_1^2=u_1^2$$

Бу ҳолда

$$A = G\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}.$$

A ни G га бўлиб солиштирма иш ёки $H_к$ ни топамиз:

$$H_к = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}.$$

Буни (4.14) тенгламага қўйиб, қуйидаги тенгликни оламиз:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} - \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + h_{12} \qquad (4.15)$$

Иш ғилдираги каналига кириш олдидаги босим:

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g};$$

ғилдиракдан чиқиш ортидаги босим:

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{12}$$

У ҳолда кириш ва чиқишдаги босимлар фарқи қуйидагича ҳисобланади:

$$H = H_2 - H_1 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{12} - \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g}\right).$$

Бир хил индексли ҳадларни тенгликнинг икки томонига гуруппаласак, у ҳолда қуйидаги тенгламани оламиз:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{12} - H. \qquad (4.16)$$

Энди, (4.15) дан (4.16) ни айирсак, ушбу муносабатга эга бўламиз:

$$\frac{w_1^2}{2g} - \frac{c_1^2}{2g} = \frac{w_2^2}{2g} - \frac{c_2^2}{2g} - \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + H.$$

Бу тенгликдан кириш ва чиқишдаги босимлар фарқини топсак, у қуйидагига тенг бўлади:

$$H = \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}. \qquad (4.17)$$

Иш ғилдираги каналига кириш ва ундан чиқишдаги тезлик параллелограммларидан фойдалансак:

$$w_1^2 = u_1^2 + c_1^2 + 2u_1c_1\cos\alpha_1,$$
$$w_2^2 = u_1^2 + c_2^2 - 2u_2c_2\cos\alpha_2.$$

Буларни (4.17) га қўйиб, баъзи соддалаштиришлардан кейин қуйидагини оламиз:

$$H = \frac{u_2c_2\cos\alpha_2 - u_1c_1\cos\alpha_1}{g}. \qquad (4.18)$$

Шундай қилиб, кириш ва чиқишдаги босимлар фарқи ёки бошқача айтганда суюқликнинг иш ғилдирагидан олган босими (4.18) муносабат орқали аниқланади ва унга марказдан қочма машиналарнинг асосий тенгламаси ёки Эйлер тенгламаси дейилади. Бу тенглама ҳаракат миқдори моментлари теоремасидан фойдаланиб ҳам чиқарилиши мумкин.

Юқорида келтирилган Эйлер тенгламаси барча куракли машиналар учун умумий булиб, бир қанча соддалаштиришлар киритилгандан кейин олинган. Ҳақиқатда эса, иш ғилдираги кураклари орасидаги ҳаракат анча мураккабдир. Шунинг учун (4.18) тенглама ёрдамида ҳисобланган босимга назарий босим дейилади. Бу тенгламани насосга қуллаганда $\alpha_1 = 90^0$ деб қабул қилиш керак, чунки одатда, суюқлик суриш трубаси ва суриш камераси орқали утиб, иш ғилдираги каналига радиал йуналишда киради. Бу эса унинг каналга зарбсиз киришини таъминлайди. Шу сабабли Эйлер тенгламаси насослар учун қуйидаги куринишда қулланилади:

$$H_н = \frac{u_2 c_2 \cdot \cos\alpha_2}{g}. \qquad (4.19)$$

Бу тенглама насос иш ғилдираги суюқликка берган босимнинг назарий тенгламаси ёки марказдан қочма насосларнинг асосий тенгламаси деб аталади. Бу тенгламада u_2 айланма тезлик $c_2\cos\alpha_2$ эса абсолют тезликнинг айланма тезлик йуналишига проекцияси эканлигини назарда тутиш керак. Асосий тенглама (4.19) дан куриниб турибдики, u_2 ва c_2 фақат босимга боғлиқ булиб, насосдан утаётган суюқлик миқдорига боғлиқ эмас. 4.19-расмда келтирилган тезлик параллелограммидан фойдаланиб, (4.19) дан C_2 ни йуқотиш мумкин. Насос ғилдираги курагининг чиқишдаги йуналиши (ёки чиқишдаги нисбий тезлик йуналиши) айланма тезлик йуналиши билан β_2 бурчак ҳосил қилади. Тезлик параллелограммидан куринадики, (4.19-расм) u_2 билан c_2 уртасидаги қуйидаги муносабат мавжуд:

4. 19-расм. Иш ғилдирагидан олинган назарий босимга доир схема.

$$c_2\cos\alpha_2 = u_2 - w_2\cos\beta_2.$$

Бу тенгликни (4.19) га қуйсак, ушбу куринишга келади:

$$H_н = \frac{u_2^2}{g}\left(1 - \frac{w_2}{u_2}\cos\beta_2\right). \qquad (4.20)$$

Охирги тенгламадан куринадики, насоснинг назарий босими иш ғилдираги айланишлар сонининг квадратига пропорционал (чунки, $\pi d_2 n$) ва куракслар шаклига боғлиқ экан. Бунда учта ҳолни куриш мумкин:

1. **Куракслар иш ғилдираги айланиши томонига эгилган,** яъни: $\beta_2 > 90°$ ва $\cos\beta_2 < 0°$. Бу ҳолда (4. 20) тенгламада қавс ичидаги миқдор 1 дан катта:

$$H_н > \frac{u_2^2}{2g}.$$

2. **Куракслар иш ғилдираги айланишига тескари эгилган,** яъни $\beta_2 < 90°$ ва $\cos\beta_2 > 0°$. Бу ҳолда (4.20) да қавс ичидаги миқдор 1 дан кичик:

$$H_н < \frac{u_2^2}{2g}.$$

3. **Куракслар радиал йуналишга эга,** яъни $\beta_2 = 90°$ ва $\cos\beta_2 = 0$. Бу ҳолда қавс ичидаги миқдор бирга тенг:

$$H_н = \frac{u_2^2}{2g}.$$

Куриниб турибдики, назарий босимнинг энг катта қиймати куракслар иш ғилдираги айланиши томонига эгилганда булиб, энг кичик қиймат тескарига эгилганда булади. Лекин β_2 нинг қиймати ортган сари гидравлик йуқотишлар ортиб, насоснинг гидравлик ФИК и камайиб кетади. Шунинг учун амалда насосларда назарий босим кам булишига қарамай β_2 ни 90° дан кичик қилиб олинади. Амалда энг куп қулланиладиган бурчаклар 16° дан 40° гача қийматларда қабул қилинади. Албатта β_2 нинг кичрайиши иш ғилдирагининг реактивлигини оширади. Бу эса турбиналар назариясида қул келади ва айланиш сонининг ортишига сабаб булади. Назарий босимни ҳисоблашда бир қанча соддалаштиришлар киритилган. Иш ғилдирагига кириш ва ундан чиқиш давомида парраклар орасидаги каналнинг кенгайиб боришидан, куракслар эгрилигининг ортиши натижасида циркуляция ҳосил булади. Бунинг натижасида ва бошқа сабабларга кура назарий босимнинг бир қисми сарф булади. Натижада насоснинг амалий босими назарий босимга қараганда камроқ булади. Насос иш ғилдирагидан амалда олинадиган ана шу босимга амалий босим дейилади ва $H_а$ билан белгиланади.

Амалий босимнинг назарий босимга нисбати насоснинг гидравлик фойдали иш коэффициентини беради:

$$\eta_г = \frac{H_а}{H_н}.$$

Гидравлик ФИК 0,8 билан 0,95 ўртасида ўзгаради ва юқорида айтилган сабабларнинг таъсирига қараб турли қийматларни қабул қилади. Шундай қилиб:

$$H_a = \eta_{г}\cdot H_{н} = \eta_{г}\frac{u_2 c_2 \cos\alpha_2}{g}. \quad (4.21)$$

ёки гидромашиналар учун бу тенгламани қуйидаги умумий кўринишда ёзилади:

$$H_a = \eta_{г}\frac{u_2 c_2 \cos\alpha - u_1 c_1 \cos\alpha_1}{g}. \quad (4.22)$$

Юқорида келтирилган босим тенгламаларига иш гилдирагидаги кураклар сони кирмайди. Ҳақиқатда эса кураклар сонининг куп ёки кам булишига қараб, улар орасидаги канал турлича булади. Бу эса ўз навбатида босимга таъсир қилмай қолмайди. (4.21) тенглик ёрдамида ҳисобланган босим кураклар сони чексиз куп бўлган ҳолга тўғри келади, чунки у каналларда оқаётган суюқликнинг барча зарралари бир хил траектория буйича ҳаракат қилган ҳоли учун ўринлидир. Кураклар сонини босим тенгламасига киритиш йўли билан насоснинг фойдали босими учун тенглама олиш мумкин:

$$H_{ф} = H_{н}\eta_{г}\varepsilon, \quad (4.23)$$

бу ерда: ε — насос кураклари сони чеклилигини ҳисобга олувчи коэффициент булиб, у 0,6 — 0,8 га тенг.

82- §. Насос ишининг асосий кўрсаткичлари

Марказдан қочма насос ишининг асосий кўрсаткичлари унумдорлик, босим, қувват ва фойдали иш коэффициентидан иборат.

1. **Насоснинг унумдорлиги** ёки сарфи деб унинг вақт бирлигида сурган суюқлик миқдорига айтилади ва Q ҳарфи билан белгиланади, бирликлари м³ соат, л с.

Марказдан қочма насосларнинг сарфи қуйидаги формула буйича ҳисобланади:

$$Q = w_1(\pi d_1 - \delta z)b_1\cdot\sin\beta_1, \quad (4.24)$$

ёки

$$Q = w_2(\pi d_2 - \delta z)b_2 \sin\beta_2,$$

бу ерда w_1, w_2—иш гилдирагига кириш ва чиқишдаги нисбий тезликлар; d_1, d_2 — иш гилдирагининг ички ва ташқи диаметрлари; δ — насос кураклариннинг қалинлиги; z - кураклар сони; b_1, b_2 — курақларнинг кириш ва чиқишдаги эни; β_1, β_2 — куракларнинг кириш ва чиқишдаги эгрилик бурчаклари.

2. **Насоснинг босими** деб, бирлик огирликдаги суюқликка берилган энергияга айтилади ва H ҳарфи билан белгиланиб, метр ҳисобидаги сув устуни билан улчанади.

Насоснинг босими суюқликни сурин трубасининг учи туширилган пастки сатҳидан ҳайдаш трубасидан чиқишдаги сатҳигача булган геометрик баландлик $H_г$ га кўтариш, сўриш ва ҳайдаш

трубаларининг охирларидаги босимлар фарқи $(p_x - p_c)$ ни енгиш, сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги гидравлик қаршиликлар $(\Sigma h_c, \Sigma h_x)$ ни енгиш ва суюқликнинг сўриш трубасидаги тезлиги v_c ни ҳайдаш трубасидаги v_x га етказишга сарф бўлади:

$$H = H_з + \frac{p_x - p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2 - v_x^2}{2g} + \Sigma h_c + \Sigma h_x. \qquad (4.25)$$

Насоснинг босими тўғрисида 75- §да тўхталиб ўтганимиз учун бу ерда айтилганлар билан чекланамиз.

3. **Насоснинг қуввати** деб, унинг вақт бирлигида бажарган ишига айтилади ва N ҳарфи билан белгиланиб, кВт, о.к. кгм/с ларда ўлчанади.

Насос вақт бирлигида G кг/с суюқлик кўтариб, t вақт ишласа, унинг бажарган иши қуйидагича аниқланади:

$$A = G \cdot H \cdot t. \qquad (4.26)$$

Бундан насоснинг қуввати қуйидагига тенг эканлиги келиб чиқади:

$$N = G \cdot H = \gamma \cdot Q \cdot H. \qquad (4.27)$$

Амалда сарфланган қувват (4.27) формулада ҳисоблангандан ортиқ бўлиб, у қуйидагича ҳисобланади:

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta}, \qquad \text{кгм/с},$$

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75\eta}, \qquad \text{о.к.},$$

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102\eta}, \qquad \text{квт да}, \quad (4.28)$$

бу ерда η — фойдали иш коэффициенти.

4. **Насоснинг фойдали иш коэффициенти** (ФИК) механик $\eta_м$, гидравлик $\eta_г$, ҳажмий $\eta_х$, фойдали иш коэффициентларининг кўпайтмасидан ташкил топади:

$$\eta = \eta_м \cdot \eta_г \cdot \eta_х .$$

Механик ФИК насоснинг ишқаланувчи қисмларида сарф бўлган энергияни ифодалайди.

Гидравлик фойдали иш коэффициенти эса насос кураклари орасидаги каналда ҳосил бўлган уюрмали ҳаракатни енгиш учун сарф бўлган энергияни ифодалайди ва амалий босим $H_а$ нинг назарий босим $H_н$ га нисбатидан аниқланади:

$$\eta_г = \frac{H_а}{H_н} .$$

Ҳажмий ФИК эса насосдан олинган суюқлик миқдори $Q_а$ нинг насосга келган суюқлик миқдори $Q_к$ га нисбати билан аниқланади:

$$\eta_х = \frac{Q_а}{Q_к} .$$

Ҳажмий ФИК янги насослар учун $\eta_x = 0,95 \div 0,96$ га тенг. Механик ФИК подшипниклари яхши мойланган ва ифлосланишдан сақланган насослар учун $\eta_м = 0,97 \div 0,98$ га тенг.

83-§. Насосларнинг иш ва универсал характеристикалари

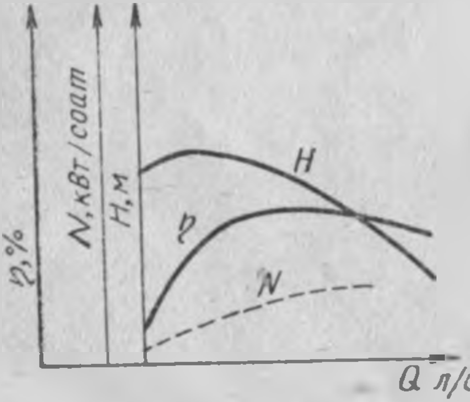
Насосларни ишлатишда улардан берилган шароитда яхши фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бунинг учун турли шароитда насоснинг қандай ишлаши тўғрисида маълумотлар бўлиши керак. Бундай маълумотлар насосларнинг характеристикалари кўринишида берилади.

Насоснинг характеристикалари деб босим, қувват ва фойдали иш коэффициентининг сарфга боғлиқлик графикларига айтилади:

$$H = f_1 \cdot (Q); \qquad N = f_2 \cdot (Q); \qquad \eta = f_3 \cdot (Q). \qquad (4.29)$$

Одатда, характеристика насосни синаш (тажриба) ёрдамида тузилади. Бунинг учун насоснинг айланиш сонини ўзгартирмасдан ҳайдаш трубасига ўрнатилган сургични сўриш йўли билан босимини ўзгартирсак, унинг ишлаш тартиби, бинобарин, қуввати ва фойдали иш коэффициенти ҳам ўзгаради. Характеристикани тузиш учун синашни задвижка тўлиқ ёпилган ҳолатдан бошлаб, кейин оча борамиз ва босим, қувват ва ФИК нинг сарф ортиши бўйича ўзгаришини, 4.20-расмда кўрсатилгандек, графиклар тарзида тасвирлаймиз.

Графиклардан кўринадики, сургич ёпиқ ҳолатида ($Q = 0$) насос бирор босим ҳосил қилади ва задвижканинг очилиши билан камайиб боради (бошланишда босим бир оз орта бориб максимумга етиши ва сўнгра камайиб кетиши мумкин). Қувват эса ортиб боради ва чизиқли ортишга яқин бўлади. Сарфнинг катта қийматларида бу ортиш бир оз сусайиши мумкин. ФИК графиги нолдан бошланади ва сарфнинг маълум бир миқдорида максимумга эга бўлади.

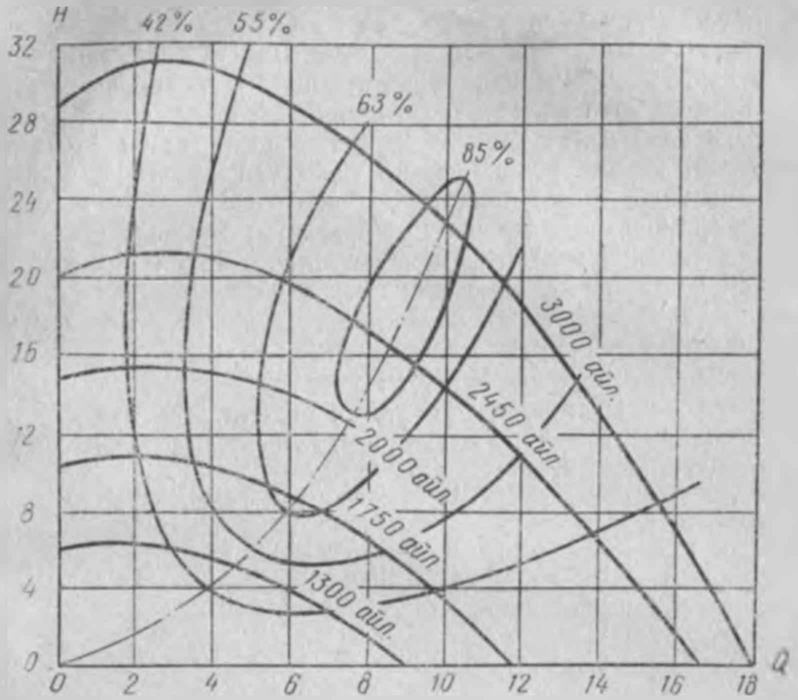


4. 20-расм. Марказдан қочма насосларнинг тахминий иш характеристикалари.

Насоснинг шу айланиш сонида энг яхши ишлаши ФИК графигининг максимум миқдорига тўғри келади.

4.20-расмда келтирилган графикларнинг характери тўғрисида назарий усул билан ҳам хулоса чиқариш мумкин, лекин бу назарий ҳисоблашларнинг натижаси амалий аҳамиятга эга эмас.

Насослардан фойдаланишда турли айланиш сонлари учун умумлаштириб тузилган ва универсал характеристика деб аталувчи характеристикадан (4.21-расм) фойдаланиш қулайдир.



4. 21-расм. Марказдан қочма насосларнинг универсал характеристикаси.

Бундай характеристикани ҳосил қилиш учун турли айланиш сонлари (n_1, n_2, n_3) да Q учун характеристика тузамиз. Сунгра бу характеристикаларда бирор ФИК га тегишли нуқталарни ажратамиз (4.21-расмдан куринадики, битта ФИК нинг қиймати учун иккита босим миқдори тўғри келади). Бу нуқталарни туташ чизиқ билан бирлаштирамиз. Шу ишни бир қанча ФИК (η_1, η_2, η_3 ...) лар учун такрорлаб, бир қанча туташ чизиқлар оламиз. Бу чизиқлар билан чегараланган соҳада ФИК чизиқдаги қийматдан кичик булмайди.

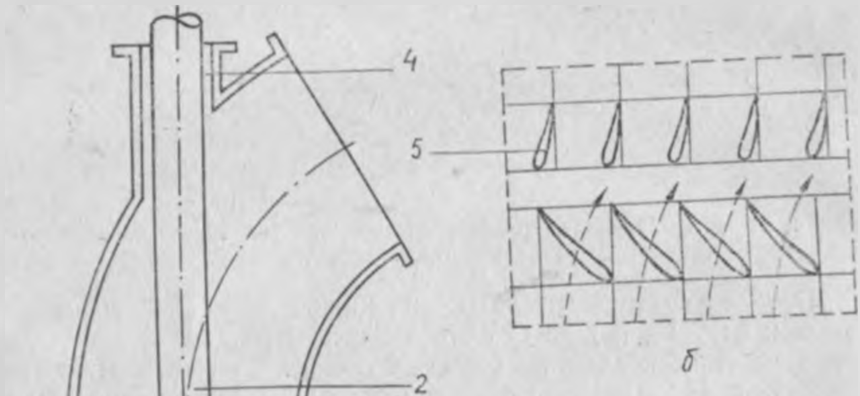
0 — 85% чизиги берилган айланиш сонларида максимал ФИК га тўғри келади. Универсал характеристикадан фойдаланиб, насоснинг (максимал ФИК га тегишли) ишлаш чегарасини топиш ва унинг ишлаши учун энг қулай режим танлаш мумкин.

84-§. Уқий насосларнинг тузилиши ва характеристикалари

Насоснинг тезюрарлигини ошириш буйича қилинган ишлар уқий (парракли) насосларнинг яратилишига сабаб булди. Тезюрарликни ошириш, юқорида айтилганидек, иш ғилдирагининг чиқиш ва кириш диаметрларининг нисбатини ва β_2 бурчакни камайтириш йули билан амалга оширилади. Натижада $d_2=d_1$ булган ўқий насос пайдо булади. Ўқий насоснинг схемаси 4.22-расмда келтирилган.

Бу насоснинг парраклар ўрнатилган иш ғилдираги *1* вал *2* га ўрнатилган бўлиб, подшипниклар *3* ва *4* да айланади. Иш ғилдирагидан суюқлик оқиб ўтиши учун қулай шаклдаги втулкага ўрнатилган парраклардан иборат бўлиб, унинг айланиши натижасида суюқлик ҳаракатга келиб йўналтирувчи аппарат *5* га ўтади. Иш ғилдираги ва йўналтирувчи аппарат труба шаклидаги корпус *6* га ўрнатилган. Насос томонидан тортилаётган суюқлик корпусдан ўтиб тегишли бўлимга йўналтирилади.

4.22 - расм, *б*, ва *в* да иш гилдирагининг кўндаланг кесими ва гилдирак билан йўналтирувчи аппаратнинг цилиндрик кесимдаги ёйилмаси келтирилган. Суюқлик киришда ўқий йўналишда ҳаракатланиб иш ғилдирагидан ўтганда марказдан қочма куч таъсирида радиал йўналишда силжийди ва спирал тарзида ҳаракат қилади (4.22 - расм, *б* пунктир чизиқлар). Йўналтирувчи аппаратдан ўтганда эса яна ўқий йўналишни қабул қилади. Бу эса гидравлик қаршиликни камайтириб, насос вужудга келтирган босимни оширишга ёрдам беради.



4 22-расм. Ўқий насосларнинг схемаси:

1—иш ғилдираги, *2*—вал, *3*, *4*—подшипниклар, *5*—йўналтирувчи аппарат, *6*—корпус.

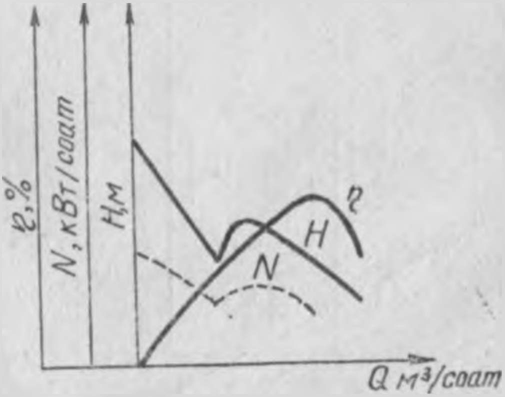
Тезюрарлик коэффициенти марказдан қочма насосларга қараганда катта, ўқий насосга қараганда кичик бўлган насослар тури диагональ насослар бўлиб, уларда чиқиш ва кириш диаметрларининг нисбати 1 дан катта. Диагональ насосларнинг тузилиши ўқий насосга ўхшаган бўлиб, асосан иш ғилдирагининг шакли билан фарқланади. Парраклар втулкага 45° ли бурчак ҳосил қилиб маҳкам ўрнатилган бўлади. Диагональ насосларнинг парраклари 60° ва 45° га қияланган, уларнинг бурчагини ўзгартирувчи механизм билан таъминланган турлари ҳам мавжуд. Бундай насосларнинг баъзи турларида эса суюқлик ўқ бўйича кириб, иш ғилдирагидан ўққа нисбатан маълум бурчак ҳосил қилиб чиқади. Шундай қилиб, бу насосларда марказдан қочма кучдан қисман фойдаланганлиги учун, у ҳосил қилган босим каттароқ бўлади.

Ўқий насосларнинг характеристикалари марказдан қочма насосларнинг характеристикасидан кўриниши бўйича фарқ қилади (4.23-расм). Ўқий насосларнинг босим характеристикаси чизиқларида кўтарилиб борувчи қисм бўлмайди ва у сарфнинг ортиши билан максимал қийматдан бошлаб дарҳол пасая бошлайди. Бундан ташқари, у эгилиш нуқтасига эга бўлиб, максимал босим (Q=o) да максимал ФИК га тегишли босимдан 1,5...2 марта катта бўлади.

Ўқий насоснинг қувват чизиғи босим чизиғи каби сарфнинг ортиши билан камайиб боради. ФИК чизиғи эса максимумдан икки тарафга ҳам тез камаяди. Бу эса ўқий насосларнинг бир хил айланиш сонида оптимал ишлаш соҳаларини торайтиради.

85-§. Ўқий ва марказдан қочма насосларнинг қўлланилиш соҳалари

Марказдан қочма ва ўқий насосларнинг ўлчамларини ҳамда айланиш сонини ўзгартириши йўли билан уларнинг сарфи, босими ва қувватини жуда кенг чегараларда ўзгартиришга эришиш мумкин. Шунинг учун бундай насосларнинг қўлланилиш соҳаларини характерлашни уларнинг барча кўрсаткичларини умумлаштирувчи ягона бир кўрсаткичга келтириш орқали амалга ошириш мумкин. Куракли насослар учун бундай кўрсаткичлар ичида энг кўп қўлланиладигани тезюрарлик коэффициенти ҳисобланади. Тезюрарлик коэффициенти, бошқача айтганда солиштирма айланиш сони деб шундай айланиш сонига айтиладики, у босим бир метр (H-1м) бўлганда насос бераётган суюқликка бир от кучи



4. 23-расм Ўқий насосларнинг тахминий иш характеристикаси.

(0,735 кВт) га тенг энергия беришга имкон беради ва n_s ҳарфи билан белгиланади.

Шундай қилиб, тезюрарлик коэффициентидан насоснинг суюқликка берган энергиясини баҳолаш учун фойдаланилади ва шу йўл билан турли насосларни бир-бирига таққослашга имкон беради.

Ўхшашлик назарияси ёрдамида тезюрарлик коэффициентини ҳисоблаш учун қуйидаги формула келтириб чиқарилган:

$$n_s = 3{,}65 n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}. \qquad (4.30)$$

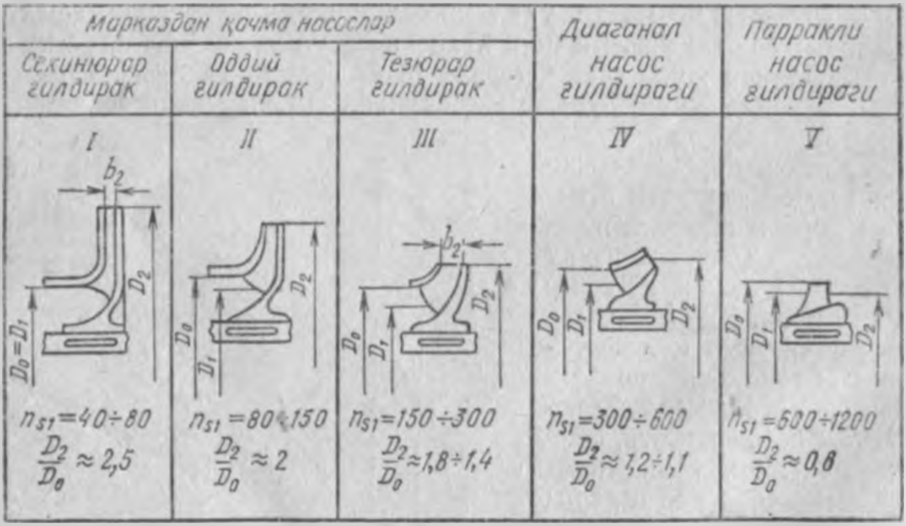
Тезюрарлик коэффициенти насоснинг турини аниқлашга ёрдам берувчи универсал кўрсаткич бўлиб, у бир йўла учта асосий характеристика (айланиш сони, сарф ва босим) ни ўз ичига олади.

Бу коэффициентнинг миқдорига қараб насос куракларининг тузилиши, конструкцияси бир-бирига ўхшаш бўлади (4.24-расм).

Тезюрарлик коэффициентининг қийматига қараб насослар қуйидагича классификацияланади:

n_s	Марказдан қочма насоснинг тури
40...80	Секинюрар
80...150	Ўртача
150...300	Тезюрар
300...600	Винтли (диагональ)
600...1200	Ўқий (парракли)

4.24-расмдан кўриниб турибдики, тезюрарлик коэффициентига қараб насосларнинг иш ғилдираги ва қапотларининг тузилишини



4. 24-расм. Насосларнинг тезюрарлик коэффициентига қараб классификацияси.

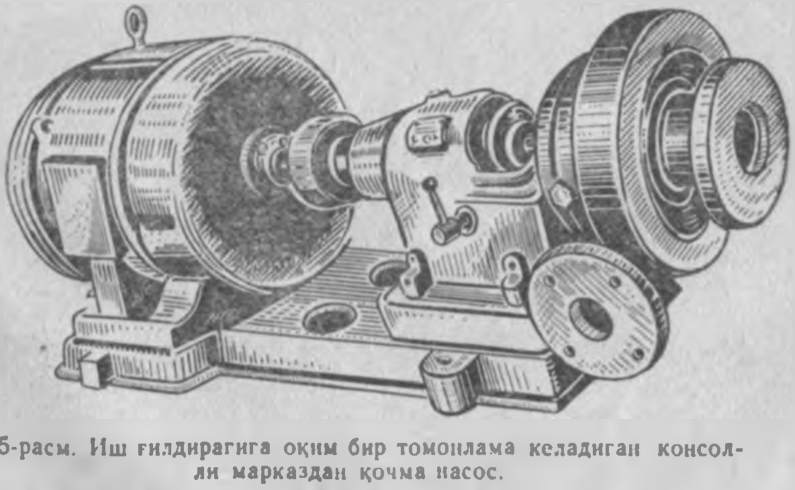
аниқлаш мумкин. Тезюрарлик коэффициентининг кичик миқдорларига секинюрар, уртача ва тезюрар марказдан қочма насослар туғри келса, унинг катта қийматларига диагональ ва уқий насослар туғри келади.

Тезюрарлик коэффициенти кичик марказдан қочма насослар юқори босим ҳосил қила олади. Лекин сарфи кичик булади. Шунинг учун катта сарф керак булиб, босимнинг юқори булиши шарт бўлмаган ерларда катта тезюрарлик коэффициентига эга булган (уқий) насослар қулланилади.

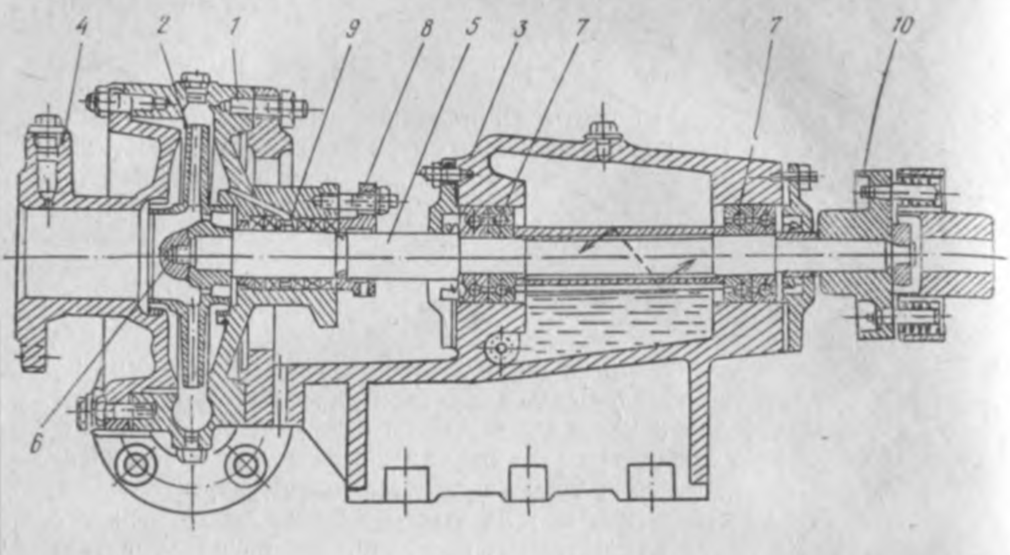
86-§. Саноатда қўлланиладиган насос қурилмаларига мисоллар

Саноатда қулланиладиган насосларнинг турлари хилма-хил ва турли конструктив тузилишга эга булгани учун биз ушбу параграфда улардан баъзи мисоллар келтириш билан чекланамиз.

Насосларнинг маркалари рақамлар ва ҳарфлар билан белгиланган булиб, унинг улчами, тури ва тезюрарлигини характерлайди. Масалан, 8К-18 қуйидагича изоҳланади: *8* — кириш патрубкасининг диаметри 25 марта кичрайтирилган булиб, мм ларда берилган; *К* — насоснинг тури — консолли насосни билдиради; *18* — тезюрарлик коэффициентининг 10 марта кичрайтирилган қийматидир. 6НДв белгисидан куринадики, *6* — кириш патрубкасининг юқорида айтилганча кичрайтирилган диаметри; *Н* — насос, *Д* — икки томонлама (иш ғилдирагига суюқлик икки томонлама келади); *в* — юқори босимли (высоконапорный) ва ҳ.к. 4.25 ва 4.26-расмларда иш ғилдирагига оқим бир томонлама келувчи консолли марказдан қочма насоснинг *К* тури келтирилган. Насоснинг корпуси ва иш ғилдираги чўяндан ишланган. Насос электр двигателига бевосита уланиши ҳам, тасма орқали уланиши ҳам мумкин. Бу насоснинг унумдорлиги 1,3 дан 100 л/с гача, босими 12 м дан 100 м гача узгаради. 4.26-расмда насоснинг қирқими курсатилган.



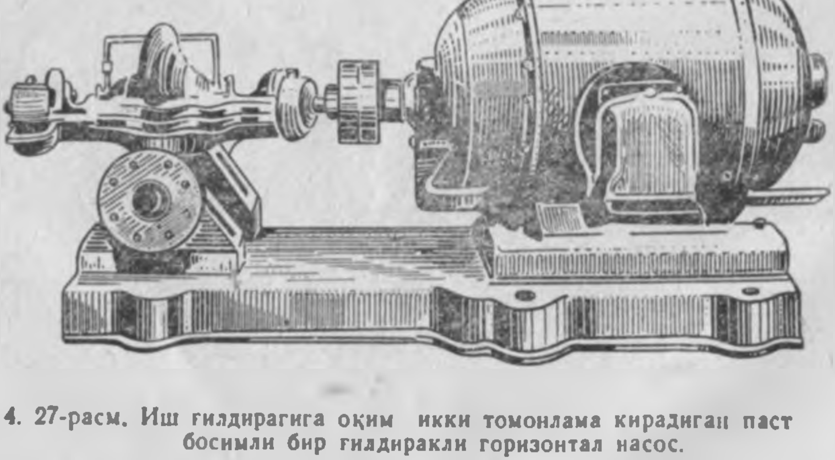
4. 25-расм. Иш ғилдирагига оқим бир томонлама келадиган консолли марказдан қочма насос.



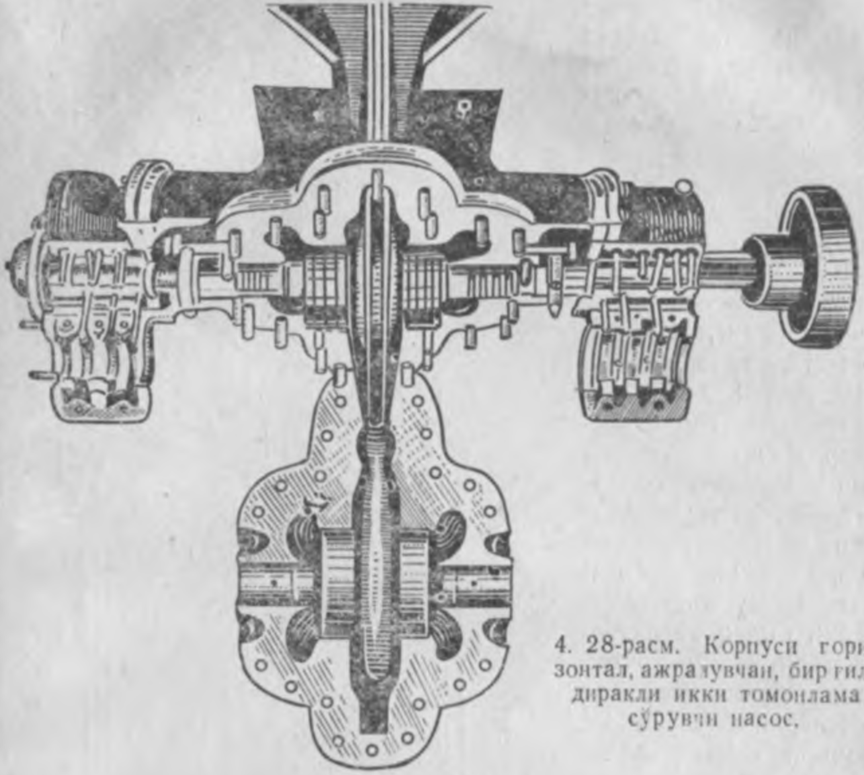
4. 26-расм. Марказдан қочма консолсимон насоснинг қирқими:

1— насос корпуси, 2— иш ғилдираги, 3—стойка, 4—кириш патрубоги, 5—иш вали, 6—иш ғилдираги гайкаси, 7—подшипник, 8—сальник, 9—сув зичлагич ғилдираги, 10—электр двигатели билан бирлаштириладиган эгилувчан муфта.

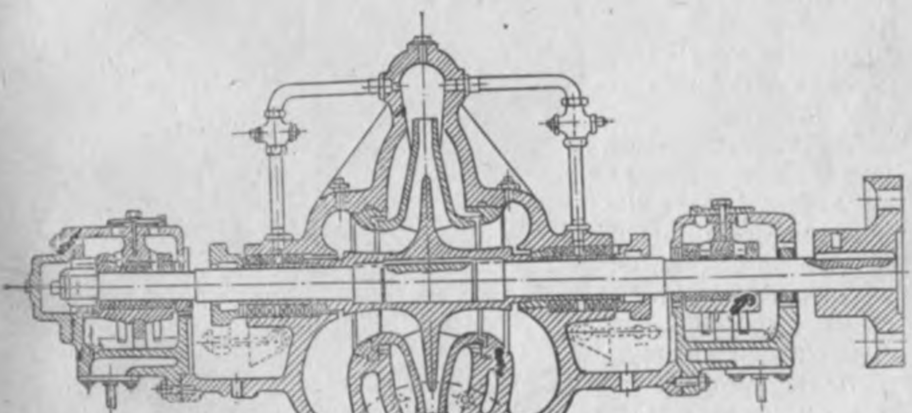
Ўлчамларига қараб консолли насосларнинг ФИК лари $\eta = 0{,}65$ дан $\eta = 0{,}82$ гача (8К-12) ўзгаради, айланиш сонлари эса $n = 2900$ (кичик насослар) ва $n = 1450$ (катта насослар) бўлади. 4.27, 4.28 ва 4.29- расмларда иш ғилдирагига суюқликнинг кириши икки томонлама бўлган НД туридаги бир ғилдиракли горизонтал насос келтирилган.



4. 27-расм. Иш ғилдирагига оқим икки томонлама кирадиган паст босимли бир ғилдиракли горизонтал насос.



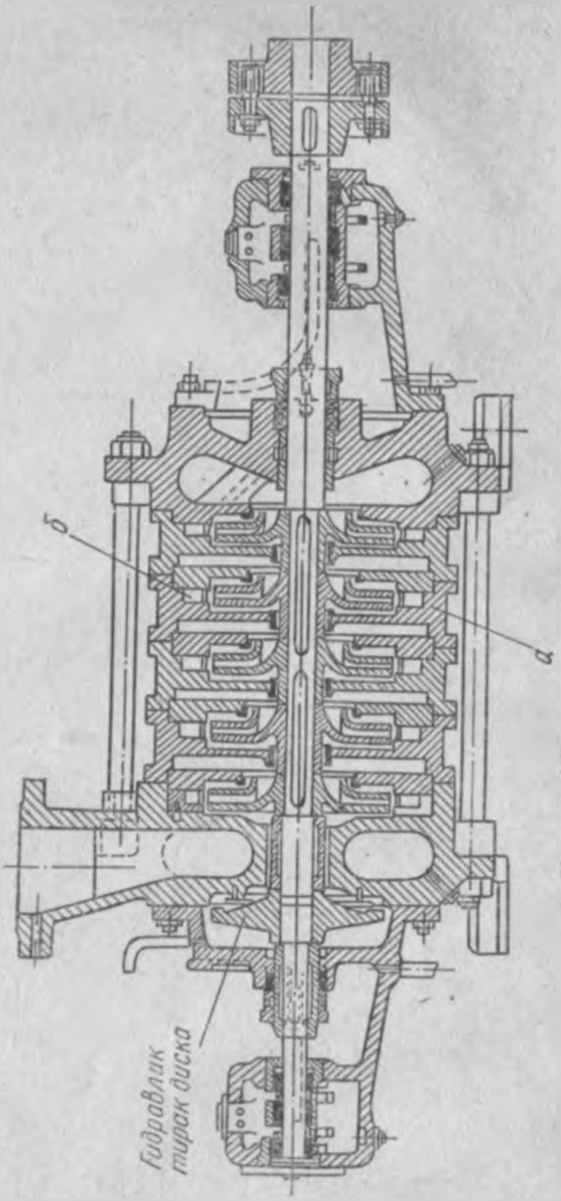
4. 28-расм. Корпуси горизонтал, ажралувчан, бир гилдиракли икки томонлама сўрувчи насос.



4. 29-расм. Икки томонлама сўрувчи марказдан қочма насоснинг вертикал қирқими.

Насоснинг корпуси чуяндан тайёрланган булиб, у горизонтал текислик буйича ажраладиган қилиб ясалган. Насос электр двигатели билан бир плитада жойлашган булиб, муфта ёрдамида бириктирилади. Бундай насосларнинг унумдорлиги 25 дан 1400 л/с гача, босими 19 дан 100 м гача узгаради. Бу насосларда бир томонлама ишлайдиган насосларга нисбатан кавитация камроқ булади ва улар уқий босими яхши мувозанатланганани билан характерланади. Икки томонлама ишлайдиган насосларнинг ФИК юқори булиб, айланиш сонининг кенг оралиғида (n-585 дан n-2950 гача) ишлайди. Шунинг учун НД насослар кенг қулланилади.

Куп поғонали марказдан қочма насослар. Мисол сифатида куп поғонали секцияланган насос келтирилган (4.30-расм). Насоснинг ҳар бир секцияси a корпус ва $б$ диффузордан ташкил топган. Бу насослардан буғ қозонларини сув билан таъминлаш, шахталардан сувни чиқариб юбориш ва ҳоказо ишларда фойдаланилади. Улар 30 дан 300 м³/соат гача унумдорликда босимни 700 м гача етказа олади. Айланишлар сони эса 2950 ёки 1450 га тенг.

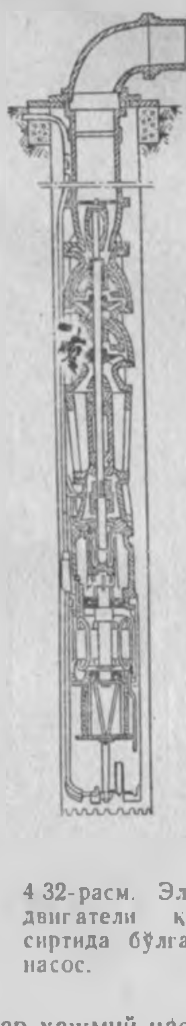


4.30-расм. Куп поғонали марказдан қочма насос.

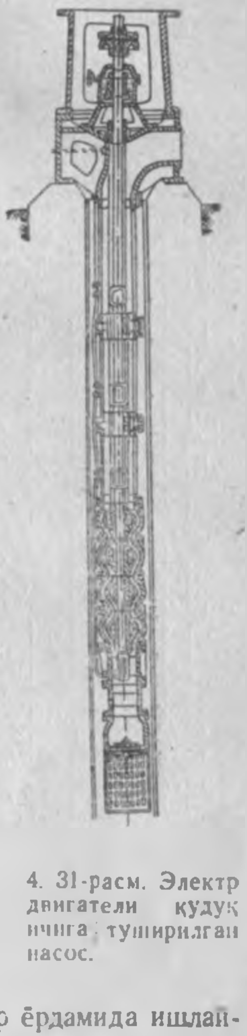
Қудуқлардан сувни суриб олиш учун қулланиладиган вертикал валли насослар 4.31 ва 4.32-расмларда келтирилган. 4.31-расмда электр двигатели қудуқ сиртида булган насос, 4.32-расмда эса электр двигатели қудуққа туширилган насос курсатилган. Бу насос-

лардан артезиан қудуқлардан сув тортиш учун фойдаланилади ва чуқурлик ёки артезиан насослари деб аталади.

Электр двигатели қудуққа туширилган насосларининг афзалликлари уларда узун оралиқ валнинг йуқлигидир. Бу насослар қудуққа тушириладиган ва дистилланган сув ёки мой билан тулдириладиган махсус электр двигатель билан ҳаракатга келтирилади. 4.33-расмда тоза сув учун кулланиладиган ва ватанимиз заводларида тайёрланадиган марказдан қочма насосларнинг $H=f\ (Q)$ графикларининг йиғма майдони келтирилган.



4 32-расм. Электр двигатели қудуқ сиртида бўлган насос.



4. 31-расм. Электр двигатели қудуқ ичига туширилган насос.

87-§. Гидравлик узатмалар.

Узатмаларнинг турлари, тузилиши ва ишлаш принципи.

Суюқлик иштирокида ҳаракат узатадиган механизмларга *гидравлик узатмалар* дейилади.

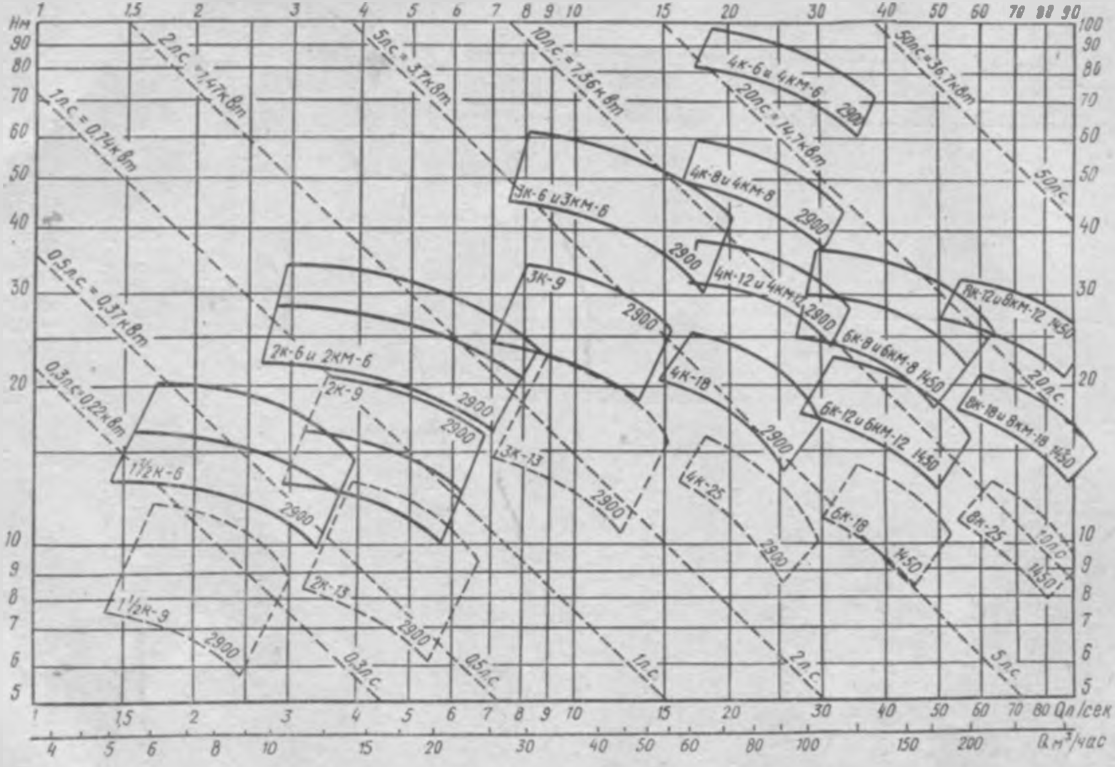
Кулланилиш принципига қараб гидравлик узатмалар ҳажмий ва гидродинамик турларга булинади.

Ҳажмий гидравлик узатмалар ҳажмий насослар ёрдамида ишлайди. Бундай узатмаларда энергия бошқарувчи валдан суюқлик орқали статик босим сифатида узатилиб, гидродвигателни ишга туширади.

Ҳажмий гидравлик узатмаларда бошқарувчи валга энергия статик босим куринишида берилгани сабабли уни купинча гидростатик узатма ҳам дейилади.

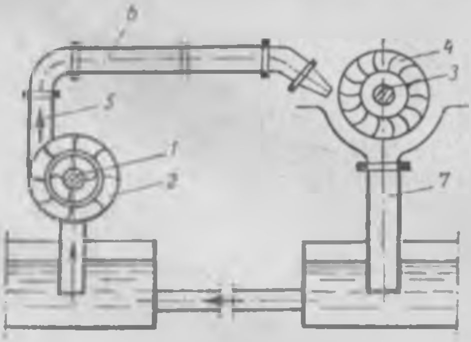
Гидродинамик узатмалар парракли гидромашиналар ёрдамида ишлайди. Бу ерда иш ғилдиракларининг парраклари ёрдамида суюқликка берилган динамик босим энергиясидан фойдаланилади. Гидродинамик узатмалар баъзан турбоузатма деб ҳам аталади. Бунга сабаб уларда марказдан қочма насос ва гидравлик турбиналардан биргаликда фойдаланилади.

Гидродинамик узатмалар бир оқимли ва икки оқимли булиши мумкин. Бир оқимли гидродинамик узатмаларда ҳамма қувват гид-



4. 33- расм. Марказдан қочма насос графикларининг йиғма майдони.

равлик ғилдираклар орқали узатилади. Икки оқимли гидродинамик узатмаларда эса двигатель қувватининг бир қисми гидравлик ғилдираклар орқали, иккинчи қисми эса механик йўл билан узатилади. Гидродинамик узатманинг ҳаракат принципини қуйидаги содда схемада тушунтирамиз (4.34-расм).



4. 34-расм. Гидроузатма:

1—насоснинг бошқарувчи вали, 2—марказдан қочма насос, 3—турбинанинг ҳаракат узатувчи вали, 4—турбина, 5,6, 7—трубалар.

Насос ғилдиракларини айлантириши билан суюқлик оқимига энергия берилади. Қўшимча энергия олган суюқлик турбина ғилдирагига урилади ва олган энергиясини турбинага бериб, иш суюқлиги насосга қайтади. Суюқликнинг бундай ёпиқ ҳаракати насос ва турбина ғилдиракларидаги айлантирувчи моментнинг узатилишини таъминлайди.

Айланиш моментининг узатилиш усулига қараб гидродинамик узатмалар иккига бўлинади:

1) гидромуфталар (4.35-расм);

2) гидротрансформаторлар (4.36-расм).

Машиналарда гидромуфта ва гидротрансформаторлар алоҳида ва турли комбинацияларда қўлланилиши мумкин, яъни гидромуфта ва гидротрансформатор, гидромуфта ҳамда икки ёки учта гидротрансформатор ва бошқалар билан биргаликда ишлатилади.

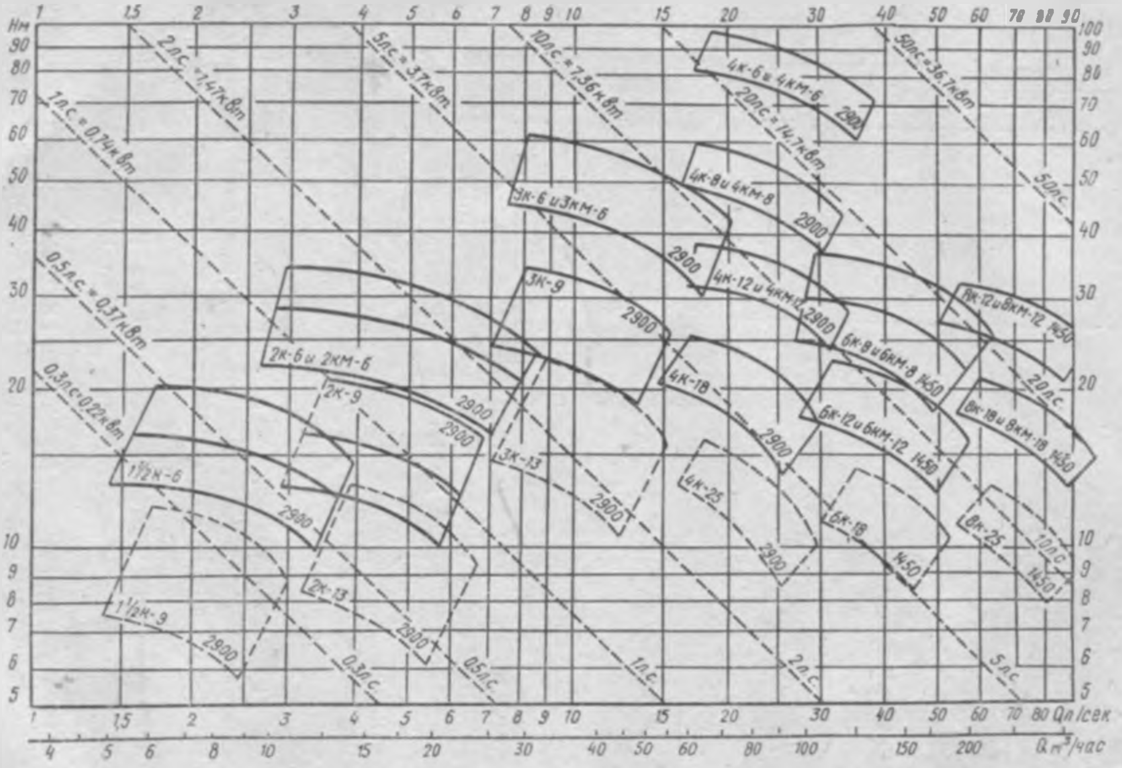
Гидродинамик муфта ёки турбомуфта 4.35-расмда кўрсатилган.

Насос ва турбина ғилдираклари штампланган ярим шар шаклида тайёрланади. Насос ва турбина ғилдиракларидаги кураклар кўпинча ички сиртга радиал жойлаштирилган бўлади.

Насос ғилдирагининг айланиши натижасида марказдан қочма куч суюқликни стрелка йўналишида ҳаракат қилишга мажбур қилади. Суюқлик тур-

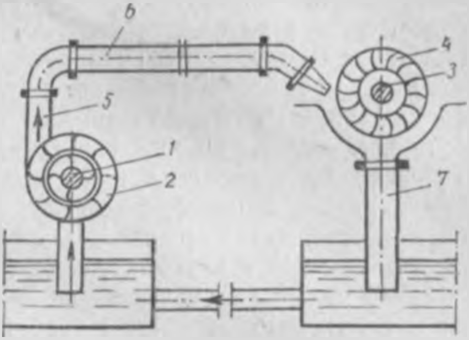
4. 35-расм. Гидромуфта:

1—насос иш ғилдираги, 2—турбина иш ғилдираги, 3—насос ғилдирагининг вали, 4—турбина ғилдирагининг вали, 5, 6—насос ва турбина ғилдиракларининг ярим корпуслари, 7—яримтор.



4. 33- расм. Марказдан қочма насос графикларининг йиғма майдони.

равлик ғилдираклар орқали узатилади. Икки оқимли гидродинамик узатмаларда эса двигатель қувватининг бир қисми гидравлик ғилдираклар орқали, иккинчи қисми эса механик йул билан узатилади. Гидродинамик узатманинг ҳаракат принципини қуйидаги содда схемада тушунтирамиз (4.34-расм).



4. 34-расм. Гидроузатма:

1—насоснинг бошқарувчи вали, 2—марказдан қочма насос, 3—турбинанинг ҳаракат узатувчи вали, 4—турбина, 5,6, 7—трубалар.

Насос ғилдиракларини айлантириши билан суюқлик оқимига энергия берилади. Қушимча энергия олган суюқлик турбина ғилдирагига утади ва олган энергиясини турбинага бериб, иш суюқлиги насосга қайтади. Суюқликнинг бундай ёпиқ ҳаракати насос ва турбина ғилдиракларидаги айлантирувчи моментнинг узатилишини таъминлайди.

Айланиш моментининг узатилиш усулига қараб гидродинамик узатмалар иккига булинади:

1) гидромуфталар (4.35-расм);

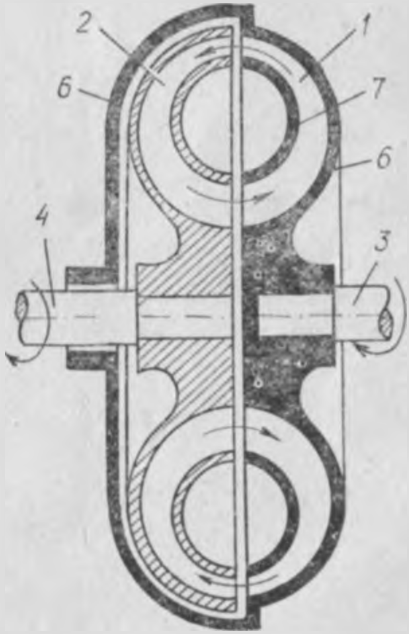
2) гидротрансформаторлар (4.36-расм).

Машиналарда гидромуфта ва гидротрансформаторлар алоҳида ва турли комбинацияларда қулланилиши мумкин, яъни гидромуфта ва гидротрансформатор, гидромуфта ҳамда икки ёки учта гидротрансформатор ва бошқалар билан биргаликда ишлатилади.

Гидродинамик муфта ёки турбомуфта 4.35-расмда курсатилган.

Насос ва турбина ғилдираклари штампланган ярим шар шаклида тайёрланади. Насос ва турбина ғилдиракларидаги кураклар купинча ички сиртга радиал жойлаштирилган булади.

Насос ғилдирагининг айланиши натижасида марказдан қочма куч суюқликни стрелка йуналишида ҳаракат қилишга мажбур қилади. Суюқлик тур-



4. 35-расм. Гидромуфта:

1—насос иш ғилдираги, 2—турбина иш ғилдираги, 3—насос ғилдирагининг вали, 4—турбина ғилдирагининг вали, 5, 6—насос ва турбина ғилдиракларининг ярим корпуслари, 7—яримтор.

бина ғилдирагига ўтгандан сўнг уни ҳаракатга келтириб, камайган энергия билан яна насос ғилдирагига қайтиб келади. Турбина ғилдирагининг ҳаракати эса етакланувчи валга берилади.

Гидромуфталар узатиш сони 1 га тенг бўлган гидроузатмаларда ишлатилади. Агар узатиш сони 1 дан фарқли бўлиши зарур бўлса, у ҳолда ҳар хил ўлчамли насос ва турбина қўлланилади. Турбина ва насосларнинг ўлчамлари ҳар хил бўлгани сабабли йўналтирувчи аппарат қўллаш зарурати туғилади. Бундай қурилмага *гидротрансформатор дейилади* (4.36-расм).

Гидротрансформаторда двигатель ёрдамида ҳаракатга келтирилувчи насос ғилдираги *1* иш суюқлигини турбина ғилдираги *2* га йўналтиради. Энергияни турбинага бериб, суюқлик қўзғалмас курак *3* ли йўналтирувчи аппарат орқали насосга қайтади. Йўналтирувчи аппаратнинг қўзғалмас кураклари насос ва турбина орасидаги суюқликнинг ҳаракат миқдори моментини ўзгартиради. Натижада турбинанинг айланиш моменти ва бурчак тезлиги мос равишда ўзгаради.

4.36-расм. Гидротрансформатор:

1—насос ғилдираги, *2*—турбина ғилдираги, *3*—йўналтирувчи аппарат, *4*—подшипник.

Гидродинамик узатмалар катта энергия сиғимига эга бўлиб, кинетик имкониятлари деярли чекланмаганлиги туфайли улар машинасозлик техникасининг турли соҳаларида кенг қўлланилмоқда.

Бунда двигатель билан куч узатмаси орасида бикр боғланиш йўқлиги сабабли двигатель ва узатма қисмлари зарбга учрамайди. Гидравлик узатмалар машинани турган жойдан силжишида ва тезликни ўзгартириш натижасида ҳосил бўладиган кескин силкинишларни камайтиради, бу эса машинанинг чидамлилигини оширади, хизмат қилиш вақтини узайтиради.

Ҳажмий гидроузатмалар ҳажмий гидромашиналар ёрдамида механик энергияни узатиш ва ўзгартириш учун мўлжалланган. Ҳажмий насос ва гидродвигателдан тузилган қурилма ҳажмий гидроузатманинг принципиал асоси ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда металлга ишлов берадиган деярли ҳамма замонавий станоклар ҳажмий гидроузатма билан таъминланган. Шунингдек, пахта заводларида тола тойловчи гидропресслар ҳам гидроузатмалар ёрдамида ҳаракатга келади.

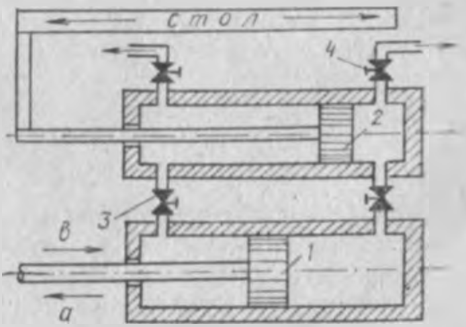
4.37-расмда поршенли гидроузатманинг схемаси — насос поршень *1* нинг илгарилама-қайтма ҳаракатини куч цилиндридаги поршень *2* нинг илгарилама-қайтма ҳаракатига айлантирувчи қурилманинг принципиал схемаси кўрсатилган. Поршень *1* стрелка *a* билан кўрсатилган йўналишда ҳаракат қилганда суюқлик канал *3* бўйлаб келади ва поршень *2* ни босади ва уни *в* стрелка билан кўрсатилган йўналишда силжитади. Поршень *2* нинг бошқа томонидаги цилиндрда бўлган суюқлик канал *4* дан чиқиб кетади. Поршень *1* стрелка *в* йўналиши бўйлаб ҳаракат қилганда поршень *2* ва у билан боғлиқ бўлган стол тескари йўналиш бўйича ҳаракат қилади.

88-§. Гидроузатмаларни ҳисоблаш принциплари

Куракли гидроузатмаларнинг, хусусан, гидромуфта ва гидротрансформаторларнинг вазифаси ҳаракат моментини узатишдан иборат бўлгани учун уларда асосий параметрлар бўлиб моментлар ва айланиш сонлари хизмат қилади.

Етакланувчи вал моменти M_2 нинг етакчи вал моменти M_1 га нисбати трансформация коэффициенти деб аталади.

$$K = \frac{M_2}{M_1}. \qquad (4.31)$$



4. 37-расм. Ҳажмий гидроузатма:

1—насос поршени, *2*—куч цилиндрининг поршени, *3*, *4* -ростлагич жўмраклар.

Гидромуфталарда трансформация коэффициенти 1 га тенг бўлади. Айланишлар сонларининг нисбати узатишлар сони деб аталади:

$$i = \frac{n_2}{n_1}. \qquad (4.32)$$

Гидротрансформаторнинг етакчи валига берилган қувват қуйидагича аниқланади:

$$N_{н} = \frac{\gamma Q H_{н}}{1000 \eta_{н} \cdot \eta_{а}}, \text{квт},$$

бу ерда $H_{н}$ — насос ғилдирагида ҳосил бўлган босим;

$\eta_{а}$ — йўналтирувчи аппаратнинг ФИК; $\eta_{н}$ — насос ғилдирагининг тўлиқ ФИК.

Турбина валида ҳосил бўлган қувват:

$$N_{т} = \frac{\gamma Q H_{н}}{1000} \eta_{т},$$

бу ерда: $\eta_{т}$ — турбина ғилдирагининг тўлиқ ФИК.

Қувватларнинг нисбати гидротрансформаторнинг тўлиқ ФИК ни беради:

$$\eta = \frac{N_{т}}{N_{н}} = \eta_{а} \cdot \eta_{н} \cdot \eta_{т},$$

бу ерда

$$\eta_{н} = \eta_{хн} \cdot \eta_{гн} \cdot \eta_{мн},$$

$$\eta_{т} = \eta_{хт} \cdot \eta_{гт} \cdot \eta_{мт}.$$

Ҳажмий гидроузатмалар ҳажмий насослар билан трубопроводлар биргаликда ишлагандаги каби ҳисобланади.

89-§. Гидроузатмаларнинг қўлланилиш соҳалари

Кўпинча, машиналар орасида механик энергияни узатиш зарурати туғилганда уларнинг характеристикалари мос келмайди, натижада машиналар тежамсиз режимда, зўриқиб ёки тўла юкланмасдан ишлайди. Гидроузатмалардан фойдаланиш йўли билан машиналарнинг характеристикаларини мослаб ишлатишга эришиш мумкин. Лекин бу ҳолда узатма мураккаблашади ва энергия сарфланиши кўпаяди.

Шунинг учун гидравлик узатиш орқали характеристикаларни мослаш билан боғлиқ бўлган қўшимча йўқотишлар унгача бўлган умумий йўқотишларга нисбатан кам бўлса, гидроузатмалардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундан ташқари, айланишлар сонини равон ўзгартириш зарур бўлганда ва куч узатишни автоматлаштиришда гидроузатмалардан фойдаланиш қулайдир.

Гидроузатмалардан двигателларни хавфли зўриқишдан сақлашда ва турли машиналарда айланишлар сонини ўзгартиришда фойдаланилади. Созланмайдиган гидромуфталар буровчи моментларни равон узатиш йўли билан машиналарни хавфли зўриқишдан сақлашда ишлатилади. Созланадиган гидромуфталар эса сақлагич вазифасини бажаришдан ташқари, турли машиналарнинг айланиш сонини созлашга ҳам ёрдам беради.

Улар айниқса ўзгарувчан токда ишлайдиган, созланмайдиган электр двигателларидан ҳаракат олувчи машиналарнинг айланиш сонини ўзгартиришда қўл келади.

Гидротрансформаторлар узгарувчан ток электр двигателлари газ турбиналари, карбюраторли ички ёнув двигателлари ва дизель двигателлари билан уйғунлашган ҳолда ишлайди.

5-боб. Гидравлик двигателлар

Гидравлик двигателлар деб, суюқлик энергиясини механик ҳаракатга айлантириб берадиган қурилмаларга айтилади. Гидродвигателлар ҳажмий ва марказдан қочма гидродвигателларга булинади. Ҳажмий гидродвигателларга куч гидроцилиндрлари мисол була олади ва улар асосан гидроузатмаларнинг асосий қисмларидан бири булиб хизмат қилади. Улар бирор ҳажмий насосдан берилаётган суюқликнинг босими таъсирида ҳаракатга келади. Куч гидроцилиндрлари ҳақида маълумот 2-бобнинг 18-параграфида берилган. Шу параграфда гидродвигателга мисол буладиган гидромультипликаторлар ва гидропресслар ҳақида ҳам тушунча берилган.

Куракли гилдираклар ёрдамида суюқлик энергиясини механик ҳаракатга айлантириб берадиган машиналар турбиналар деб аталади. Турбиналар асосан гидроэлектростанцияларда ва гидроузатмаларда асосий қисм булиб хизмат қилади. Турбиналарнинг гидроузатмаларда қулланилиши ҳақида 4-бобнинг 87-параграфида тухталиб утган эдик.

Қуйидаги бобда биз гидроэлектростанцияларда қулланиладиган турбиналар ҳақида тухталиб утамиз. 5.1-расмда турбинанинг схемаси келтирилган.

Таъминловчи сув сиғими (одатда тугон олдидаги сув омбори) юқори бъеф, қабул қилувчи сув сиғими (тугондан кейинги ҳавза) қуйи бъеф дейилади. Сув юқори бъефдан труба орқали турбина булимига киради ва турбинани айлантириб, суриш трубаси орқали қуйи бъефга тушади.

Турбиналарни ҳисоблаш ва танлаб олишда босим H, кувват N ва фойдали иш коэффициенти асосий параметрлар булиб ҳисобланади. Турбинанинг иш босими қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

$$H = H_{ст} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - h_{12}, \qquad (5.1)$$

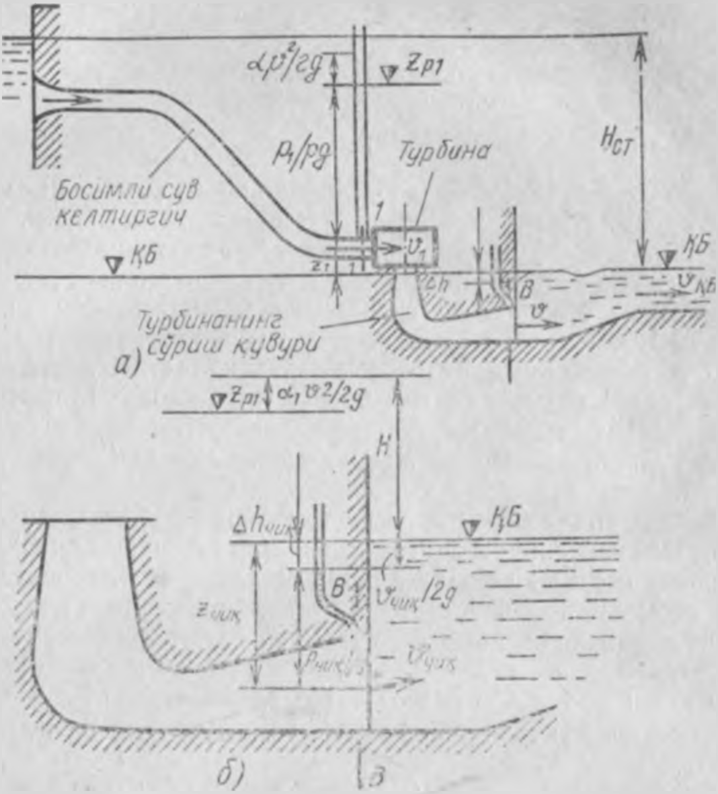
бу ерда $H_{ст} = Z_1 - Z_2$ — таъминловчи ва қабул қилувчи сув сиғимлари сатҳларининг айирмаси; v_1, v_2 — системага кириш ва чиқишдаги тезликлар; h_{12} — сув келтирувчи ва суриш трубалари ҳамда маҳаллий қаршиликларда йуқотилган босим.

Ҳисоблаш ишини осонлаштириш учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$H = H_{ст} - h_{12}. \qquad (5.2).$$

Сув оқимининг қуввати қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади

$$N_c = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102}, \text{ кВт},$$



5.1-расм. Турбинани гидроэлектр станцияда ўрнатиш схемаси.

ёки СИ системасида

$$N_c = \frac{\gamma Q \cdot H_c}{1000}\text{, кВт,} \qquad (5.3)$$

бу ерда Q — оқимнинг сарфи; H_c — оқимнинг босими;

$$H_c = H_{ст} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \qquad (5.4)$$

Гидроэлектростанциянинг қуввати эса қуйидагича ҳисобланади:

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102}\eta_т \cdot \eta_г\text{,}$$

ёки СИ системасида

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000}\eta_т \cdot \eta_г\text{,} \qquad (5.5)$$

бу ерда $\eta_т$ — турбинанинг фойдали иш коэффициенти; $\eta_г$ — генераторнинг фойдали иш коэффициенти.

90-§. Гидротурбиналарнинг ишлаш принципи, босимнинг қиймати, суюқлик оқимининг йўналиши ва конструктив хусусиятларига қараб классификацияланиши

Гидротурбиналар ишлаш принципига қараб актив ва реактив турбиналарга бўлинади.

Актив турбиналар XIX асрда қўлланила бошлаган, бу турбиналарнинг ишлаш принципи гидравлик оқимчаларнинг турбина иш ғилдираги чўмичларига таъсир қилишига асосланган бўлиб, уларни оқимчали турбиналар деб ҳам аташ мумкин. Уларда оқимчанинг кинетик энергияси чўмичга ва у орқали иш ғилдирагига берилади. Актив турбиналарда иш ғилдираги куракларнинг ҳаммаси эмас, балки ишлаётган соплолар нечта бўлишига қараб бир нечтаси оқимча таъсирига бир вақтда учрайди. Бундай турбиналарнинг хусусиятларидан бири шуки, куракка урилган оқимча кураклар орасидаги соҳани батамом тўлдирмайди. Сувнинг иш ғилдираги куракларига кириш ва улардан чиқиш тезликлари деярли бир хил бўлиб, ғилдиракнинг икки томонидаги босимлар (атмосфера босимига) тенгдир. Куракларда сув тезланиш олмагани сабабли реактив принципи бўлмайди. Куракларда босим оқимчанинг куракка бевосита таъсири орқали (унинг куракдаги йўналиши ўзгариб борган ҳолда) ҳосил қилинади.

Реактив турбиналар америкалик инженер Френсис (1849 й.) ва чех профессори Виктор Каплан (1912 й.) номи билан боғлиқ.

Реактив турбиналарда сувнинг асосий потенциал энергияси механик ҳаракатга айлантирилади. Реактив турбиналар сўриш трубаси билан бирга ишлатилади. Сўриш трубаси таъсир этувчи босимни кучайтиришга ёрдам беради ва бу хусусият айниқса кичик босимларда қўлланиладиган турбиналарда муҳимдир. Таъсир этувчи босимни ошириш учун реактив турбиналар билан бирга йўналтирувчи аппарат ҳам ишлатилади.

Йўналтирувчи аппарат ва турбина ғилдираги куракларининг оралиқлари сув билан батамом тўлади ва ғилдиракнинг юқориси ва пастида босимлар турлича бўлади. Реактив турбиналарда сув иш ғилдирагини ўраб турувчи, йўналтирувчи аппаратдан чиқиб, ғилдирак кураклари оралиғи орқали сўриш трубасига ўтади. Бунда йўналтирувчи аппаратдан чиқишдаги ва сўриш трубасига киришдаги босимлар фарқи таъсирида ғилдираклар орасида ҳаракатланаётган сувнинг тезлиги ортиб боради. Сувнинг бундай тезланишли ҳаракати иш ғилдираги куракларида реактив куч ҳосил қилади. Бу куч таъсирида иш ғилдираги айланма ҳаракат қилади.

Йўналтирувчи аппарат куракларининг ҳолатини ўзгартириб, турбинанинг ишлаш режимини ўзгартириш ва ҳатто турбинага келаётган сувни бутунлай тўхтатиб қўйиш мумкин.

Гидротурбиналар босимнинг қийматига қараб юқори босимли, ўртача босимли ва кичик босимли турбиналарга бўлинади:

1) босими 80 м дан кичик ($H<80$ м) турбиналарга кичик босимли турбиналар дейилади. Бундай турбиналарга ўқий ва кичик босимли диагональ, ҳамда радиал-ўқий турбиналар киради;

2) босими 80 м дан 500 м гача (80 м $< H <$ 500 м) булган турбиналарга ўртача босимли турбиналар дейилади ва уларга радиаль-ўқий ҳамда юқори босимли диагональ турбиналар киради;

3) босими 500 м дан юқори ($H >$ 500 м) булган турбиналарга юқори босимли турбиналар дейилади ва уларга актив турбиналар киради. Турбина иш ғилдирагида оқимчанинг қандай йуналишига қараб улар ўқий, диагональ, радиаль-ўқий (актив) турбиналарга булинади.

Ўқий турбиналар иш ғилдирагининг ички ва ташқи диаметрлари тенг булиб, уларда оқимча ғилдирак ўқи йуналишида ҳаракат қилади. Бу турбиналар босим 70 м гача булган ҳолларда қўлланилади.

Диагональ турбиналарда иш гилдираги ташқи ва ички диаметрларининг нисбати 1,1 . . . 2,2 га тенг булиб, оқимча ғилдирак ўқига уткир бурчак остида йуналган булади. Улар босимнинг қиймати 40. . .200 м булган ҳолларда қулланилади.

Радиаль-ўқий турбиналарда оқимча йуналтирувчи аппаратдан ғилдирак ўқига тик йуналишда чиқиб, иш гилдирагида уз йуналишини 90°га ўзгартиради ва ғилдиракдан чиқиб, сўриш трубасига киришда ўқ йуналишида ҳаракат қилади. Бундай турбиналар босим 50... 700 м булган ҳолларда қулланилади.

Оқимчали турбиналарда эса оқимча турбина ғилдирагининг чўмичига энг кўп реактив куч берадиган қилиб йуналтирилган булади. Бу турбиналар босим 400...1700 м булган ҳолларда қулланилади.

Турли турбиналарнинг босими учун юқорида кўрсатилган чегаралар шартли булиб, босимнинг камайиши ёки кўпайиш томонга ўзгариб туриш ҳоллари учраши мумкин.

Турбиналар конструктив белгиларига қараб тўрт турга бўлинади:

1) радиаль-ўқий; 2) пропеллерли; 3) бурилма куракли; 4) чўмичли.

91-§. Гидротурбиналарнинг умумий тузилиши ва ишлаш процесси

Турбиналарнинг тузилиши конструктив турига қараб турлича булади.

Актив турбинага мисол сифатида чўмичли турбинанинг схемасини келтирамиз (5. 2-расм). Чўмичли турбиналар иш ғилдираги атрофига ковш (чўмич) ўрнатилган дискдан иборат. Сув иш ғилдирагига йуналтирувчи аппарат вазифасини бажарувчи ва торайиб борувчи найча шаклида ишланган сопло ёрдамида берилади. Соплода труба орқали келган сувнинг барча энергияси (йуқотилган энергиядан ташқари) кинетик энергияга айланади. Турбинанинг конструктив тузилиши ва қувватига қараб, сопло биттадан тўрттагача булади. Бундай турбинанинг қуввати 50 минг кВт гача етади.

5.2- расмда чўмичли турбинанинг схематик кесими келтирилган.

Бу формула тешиклардан ва найчалардан оқаётган оқимчаларни текширишда келтириб чиқарилган (66-§). Оқимчанинг иш ғилдирагида иш ҳосил қилган моменти қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

$$M = \rho Q\,(0{,}5\,D_1 \cdot v_1 \cos\alpha_1 - 0{,}5\,D_2 v_2 \cos\alpha_2), \tag{5.7}$$

бу ерда v_1, v_2 — сувнинг чўмичга кириш ва чўмичдан чиқишдаги тезлиги; α_1, α_2 — сувнинг чўмичга кириш ва чўмичдан чиқиш бурчаклари. Босим эса қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

$$H = \frac{v_c}{g}(c_1\cos\alpha_1 - c_2\cos\alpha_2).$$

Шундай қилиб, турбина иш ғилдирагини айлантирувчи куч сопло битта бўлганда (5.7) формула ёрдамида ҳисобланади. Соплолар бир нечта бўлганда ғилдиракни айлантирувчи куч тегишлича ортади. Одатда, чўмичлар сони 12...40 тагача бўлиб, иш ғилдираги айланаётганда чўмичлар галма-галдан оқимчанинг таъсир кучини қабул қилади. Натижада иш ғилдирагининг доимий ишлаб туриши таъминланади.

Гидроэлектростанцияларни лойиҳалашда турбиналарни танлаб олиш уларнинг асосий параметрлари (босим, сарф, ФИК, айланишлар сони) ни аниқлаш орқали амалга оширилади. Шунингдек, турбиналар ишлашига қулай шароит ҳосил қилишда турбиналар ҳақида тўлиқ маълумотга эга бўлиш керак. Бу маълумотлар характеристикалар кўринишида берилган бўлиб, турбиналарнинг турлича ишлаш тартибига тегишли барча кўрсаткичларни аниқлашга ёрдам беради.

Характеристикалар, одатда, график кўринишда берилади. Бунда иккита: универсал ва чизиқли характеристикалардан фойдаланилади.

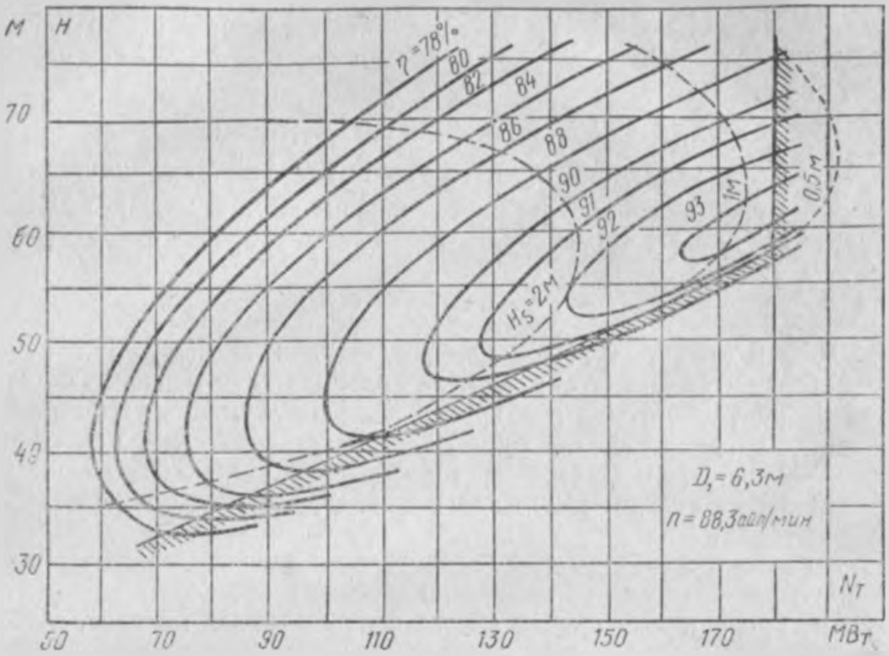
Универсал характеристикалар иккита аниқловчи параметрга эга бўлиб, берилган кўрсаткичнинг иккинчи ихтиёрий ўзгартирувчига боғланиши келтирилади. Масалан, босим—қувват характеристикасида H, N координаталарда берилган D ва n (параметр)лар учун қурилади. У эксплуатацион характеристика деб аталади (5.7-расм).

Бу характеристика қуйидаги боғланиш орқали ифодаланади:

$$\left.\begin{aligned}\eta &= f_2(N,H)\\ H_s &= f_{ns}(N,H)\end{aligned}\right\}\; D = \text{const},\ n = \text{const}\ \text{бўлганда}. \tag{5.8}$$

Бу характеристикаларда (5.7-расм) чегараловчи чизиқлар (штрих) келтирилган бўлиб, пастки чизиқ йўналтирувчи аппаратнинг энг кўп очилишига, юқориги чизиқ - генераторнинг номинал қувватига тўғри келади. 5.8-расмда худди шу усул билан қурилган босим — сарф характеристикаси келтирилган.

Бош универсал характеристика. Турбина хоссаларининг кўрсаткичи сифатида *айлана сарф* характеристикасидан фойдаланилади ва у D_1 ва H нинг ўзгармас қийматлари учун ишлатилади. Бу характеристика, одатда, берилган тур турбинанинг умумий хосса-



5. 7-расм. Босим кувват учун универсал характеристика.

ларини аниқлагани учун, уни $D_1 = 1$ м ва $H = 1$ м учун қурилади (5.8-расм). Ўқлар буйича Q_1 ва n_1 лар қуйилган булиб, ФИК, кавитация коэффициенти σ ва йуналтирувчи аппаратнинг очилиш даражаси a_0 изолиниялари келтирилган.

Бош универсал характеристика моделларда синаш натижасига асосан қурилади. Шунинг учун характеристикада моделнинг улчами (диаметри) курсатилади ва турбина камераси ҳамда суриш трубасини ҳисобга олган ҳолда габарит чизмалари келтирилади. Бош универсал характеристика берилган тур турбиналарнинг барча хоссаларини тулиқ аниқлайди ва унга асосан ушбу турбинанинг бошқа характеристикаларини қуриш мумкин булади.

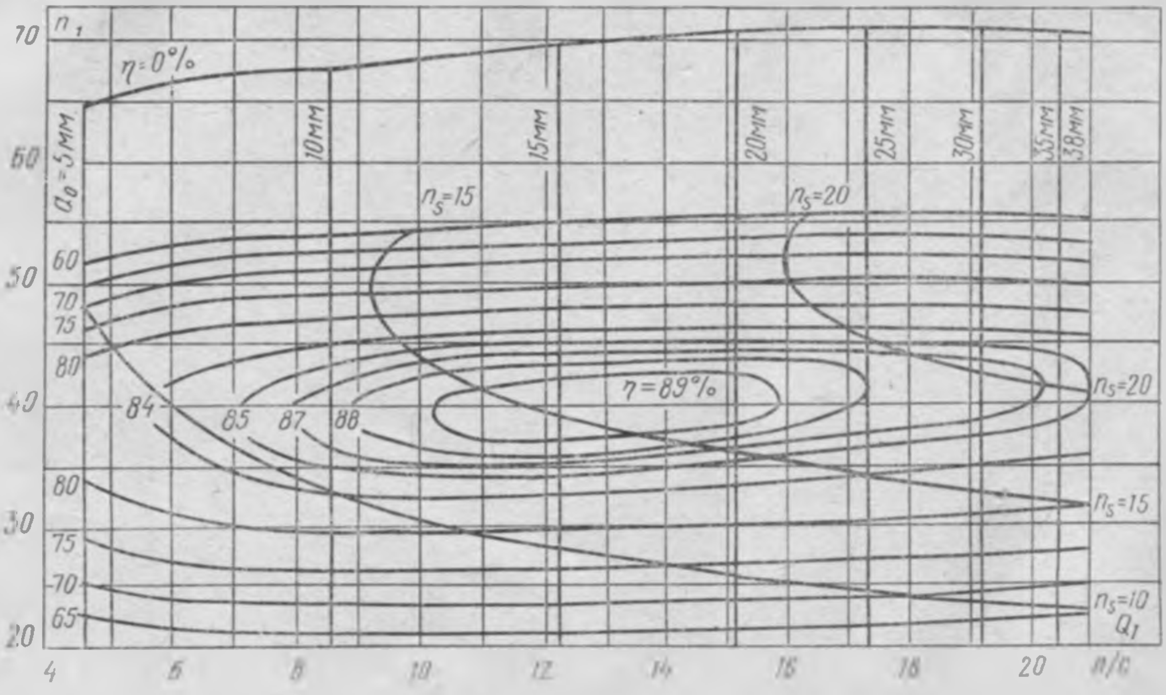
Оқимчанинг турбинага берган моменти формуласи (5.7) дан куриниб турибдики, $\alpha = 90^\circ$ булса, оқимчанинг энергиясидан максимал фойдаланилади. Бу ҳолда турбина иш ғилдирагидан кетаётган оқим энг кичик кинетик энергия запасига эга булиб, момент максимал булади:

$$M = \rho Q \cdot 0{,}5 D_1 c_1 \cos\alpha_1. \quad (5.9)$$

Босим эса бундай ҳисобланади:

$$H = \frac{v_e c_1}{g} \cos\alpha_1. \quad (5.10)$$

Лекин оқимнинг барча энергияси турбинага берилмайди. Энергиянинг бир қисми гидравлик ва механик қаршиликларни енгишга



5.8-расм. Босим — сарф учун универсал характеристика.

сарф булади, бир қисми ишлаб булганда ва турбинадан оқиб тушаётган сувда қолади (йуқотилади).

Шундай қилиб, фойдали босим қуйидаги формула билан топилади:

$$H\eta_т = \frac{v_c}{g}(c_1\cos\alpha_1 - c_2\cos\alpha_2). \qquad (5.11)$$

$\alpha_2 = 90^\circ$ булганда (5.5) қуйидагича ёзилади:

$$H\eta_т = \frac{v_c}{g} c_1\cos\alpha_1. \qquad (5.12)$$

Йуқотилган энергиянинг тулиқ миқдори машинанинг, иншоотнинг ва тармоқнинг сифатига қараб гидроустановкага келтирилган оқим энергиясининг 20...40 % ини ташкил қилади.

Турбинанинг ФИК деб турбина бераётган энергиянинг унга сарфланган энергияга нисбатига айтилади. ФИК ни бош универсал характеристика ёрдамида аниқлаш мумкин.

93- §. Реактив (марказга интилма, ўқий ва диоганаль) турбиналар. Реактив турбиналарнинг иш процесси; характеристикалари ва ФИК

Реактив турбиналарда сув оқими спирал камера орқали йуналтирувчи аппаратга киради. Сунгра турбина камерасига ўтиб, реактив куч ҳосил қилади ва турбина ғилдирагини ҳаракатга келтиради. Иш ғилдирагига келаётган оқим йуналтирувчи аппаратда шакллантирилади. Йуналтирувчи аппарат айланма жойлашган кураклардан иборат панжара булиб, унинг характерли курсаткичи панжаранинг зичлиги ва куракларнинг шаклидан иборат. Шундай қилиб, йуналтирувчи аппарат киришда ва чиқишда диаметрлари p_1 ва p_2 булган ҳамда кураклардан ташкил топган панжара булиб, чиқишда сув тезлиги (c_0) нинг йуналиши куракларнинг чиқишидаги қирраси йуналишига яқин булади.

Кураклар радиал жойлашган йуналтирувчи аппаратга берилган сарф учун тезлик:

$$c_0 = \frac{Q}{\pi D_1 \cdot в \cdot \sin\alpha}, \qquad (5.13)$$

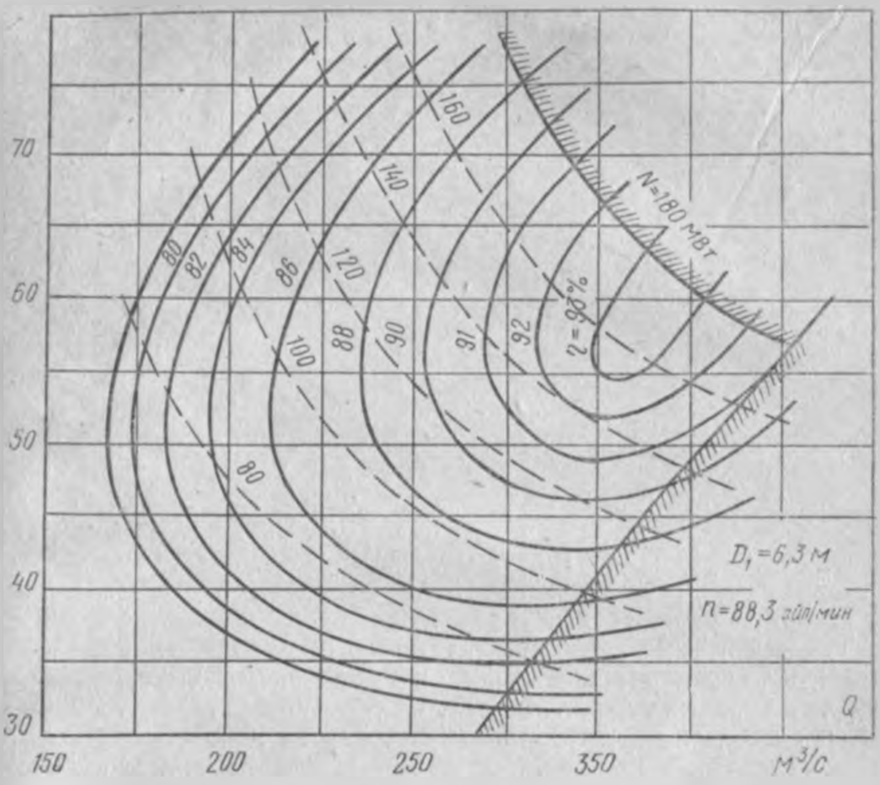
бу ерда $в$ — йуналтирувчи аппаратнинг баландлиги; α — куракнинг чиқиш қиррасининг айланага уринма билан ташкил қилинган бурчаги.

Тезликни радиал ва айланма тезликларга ажратиш мумкин:

$$c_{or} = c_o \sin\alpha,$$
$$c_{or} = c_o \cos\alpha. \qquad (5.14)$$

(5.13) ва (5.14) дан куринадики, сарф радиал тезлик орқали аниқланар экан:

$$Q = c_{or}\pi D_2 . b. \qquad (5.15)$$



5. 9-расм. Чўмичли турбиналарнинг $Coп$ универсал характеристикаси.

Йўналтирувчи аппарат чиқишида айланма тезликнинг мавжудлиги оқимнинг турбина ўқига нисбатан бурилма ҳаракат қилишини кўрсатади. Демак, йўналтирувчи аппарат оқим циркуляциясини ҳосил қилар экан.

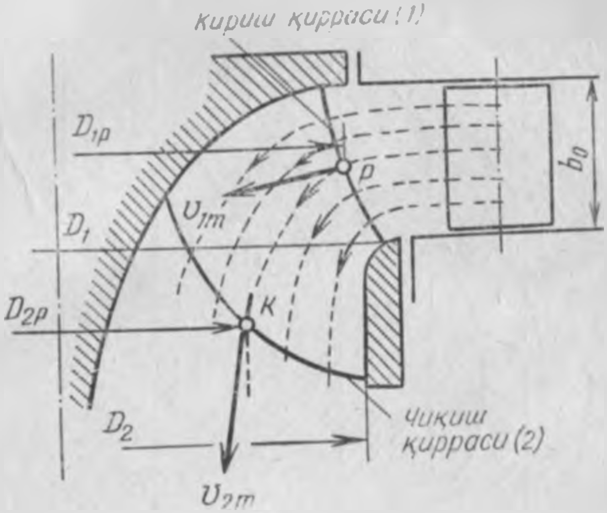
Йўналтирувчи аппарат қанотининг ички қиррасидан иш ғилдираги қанотининг ташқи қиррасига етгунча сув эркин ҳаракат қилади ва бунда унинг айланма тезлиги ортади:

$$c_u = c_{ou} \cdot \frac{0,5D_2}{r},$$

яъни, турбинанинг йўналтирувчи аппарати билан иш ғилдираги орасида йўналтирувчи аппарат ҳосил қилган циркуляция сақланади.

Йўналтирувчи аппаратдан чиққан сувнинг иш ғилдираги кураклари билан таъсирлашуви натижасида суюқлик энергияси иш ғилдираги валида механик энергияга айланади. Иш ғилдираги кураклари орасида ҳаракат қилаётган суюқликнинг абсолют тезлиги нисбий ва кўчирма ҳаракат тезликларининг вектор йиғиндисига тенгдир:

$$\overline{c} = \overline{u} + \overline{w},$$

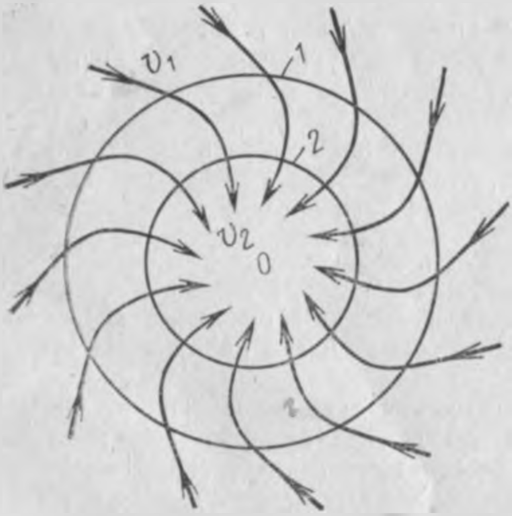


5.10-расм. Радиал-ўқий турбинадаги оқимнинг меридиан кесимида оқим чизиқларининг йўналиши.

бу ерда $\bar{u}$ — кучирма ҳаракат тезлиги; $\bar{w}$ — нисбий ҳаракат тезлиги.

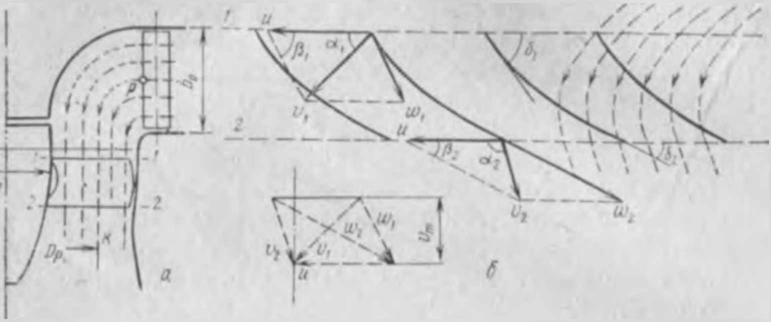
Турбиналарнинг турли конструкцияларини текшириш шуни курсатадики, турли турбиналарнинг иш ғилдираклари турличадир, бир хил турдаги турбиналарда ҳам босимнинг узгаришига қараб иш ғилдиракларининг куриниши узгаради ва шунга қараб оқим чизиқларининг куриниши ҳам узгаради. 5.10-расмда радиал-уқий турбинадаги оқимнинг меридиональ кесимидаги оқим чизиқларининг куриниши келтирилган. Расмдан куриниб турибдики, бу турбиналарнинг иш ғилдираги кураклари орқали утаётганда оқим уз йуналишини узгартириб ва кенгайиб боради. 5.11- расмда эса шу турбинанинг иш ғилдирагидаги абсолют ҳаракатнинг траекторияси келтирилган.

Ўқий турбиналарда иш ғилдирагидаги оқим сиртлари цилиндрик шаклга яқин булиб, оқим чизиқлари деярли параллел булади (5.12- расм).



5. 11-расм. Турбина иш ғилдиракларидаги абсолют ҳаракат траекторияси:

1 — иш ғилдирагининг ташқи қирраси, *2* — иш ғилдирагининг ички қирраси.



5. 12-расм. Ўқий турбиналарда оқим чизиқлари.

Реактив турбина иш ғилдираги орқали ўтаётган оқим унга реактив куч ҳосил қилади. Бу реактив кучнинг моменти қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

$$M = \frac{\rho Q}{2\pi}\left(\Gamma_1 - \Gamma_2\right), \qquad (5.16)$$

бу ерда $\Gamma_1 = \pi D_{1р} c_1 \cos\alpha$ — оқимнинг иш ғилдирагига киришдаги циркуляцияси; $\Gamma_2 = \pi D_{2р} C_2 \cos\alpha$ — чиқишдаги циркуляцияси.

Бу формуладан кўринадики, иш ғилдирагида буровчи момент шундай ҳолда ҳосил бўладики, бунда ғилдирак кураклари ёрдамида оқимга таъсир қилиб, унинг циркуляциясини ўзгартиради. Турбинанинг босими эса қуйидагича ҳисобланади:

$$H\eta_т = \frac{\omega}{2\pi g}\left(\Gamma_1 - \Gamma_2\right), \qquad (5.17)$$

бу ерда ω — иш ғилдирагининг бурчак тезлиги.

Циркуляциянинг миқдорини қуйсак, (5.17) формула гидромашиналарнинг асосий тенгламасига айланади:

$$H\eta_т = \frac{u_1 c_1 \cos\alpha_1 - u_2 c_2 \cos\alpha_2}{g}. \qquad (5.18)$$

Турбиналарни текшириш учун ўхшашлик қонунлари асосида уларнинг моделларини қуриб ва моделда синаш натижаларидан фойдаланиб, қурилиши керак бўлган турбинанинг параметрларини аниқланади. Турбинанинг моделини синаш турбина тайёрловчи заводнинг махсус қурилмаларида бажарилади. Синаш текширилиши керак бўлган турбинанинг иш ғилдирагига мос спирал камера ва сўриш трубаси билан бирга амалга оширилади.

Характеристикани олиш учун турбинанинг бирор очилишидан бошлаб тормозни босиб, сарфни нолдан энг катта қийматгача ўзгартириб берилади. (Турбинанинг очилиши деганда йўналтирувчи аппарат куракларининг очилиш даражасини тушунамиз.)

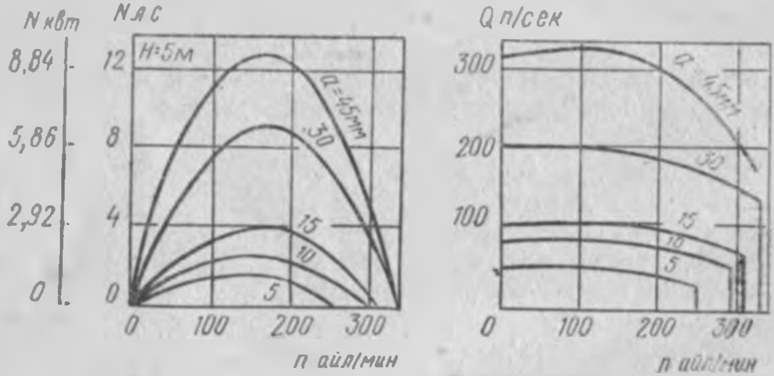
Очилишнинг ҳар бир қийматига тегишли босим, айланишлар сони ва сарф аниқланади. Сўнгра $Q = f_1(n)$; $N = f_2(n)$; $\eta = f_3(n)$ графиклари қурилади ва улар айланишлар характеристикаси деб атала-

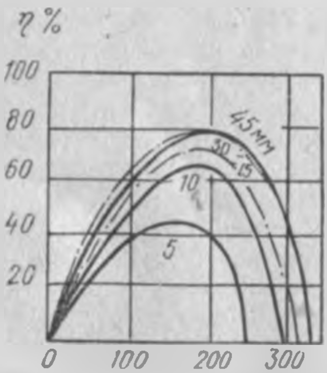
ди. Бундай графикларнинг ҳар хил очилиш учун олинган тўплами бош характеристика деб аталади ва турли режимларда асосий иш параметрларини аниқлашга имкон беради (5.13-расм).

Турли очилишлар a учун айланишлар характеристикаси асосида бош универсал характеристика $\eta;\ a;\ s = f(Q, n)$ тузилади. У ФИК нинг қийматларини 5.13-расм, *в* дан 5.13-расм, *б* га ўтказиш йўли билан қурилади. Бунда абцисса ўқига сарф, ордината ўқига айланишлар сони қуйилади.

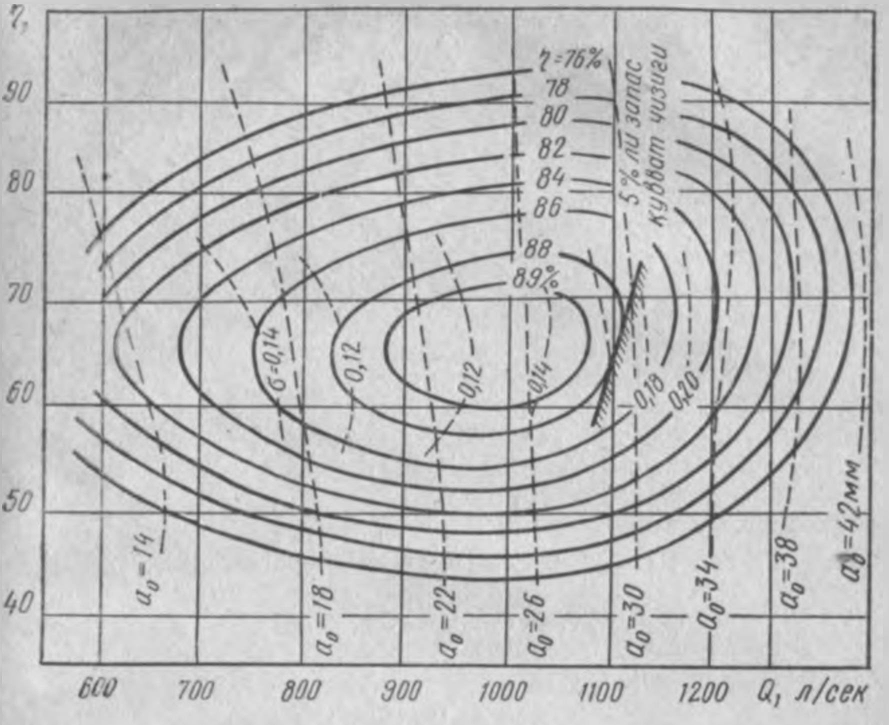
Бош универсал характеристикани моделда аниқланган η ва a нинг қийматлари учун эмас, балки бирлик босим ва диаметрига ҳисобланган қийматлар учун қурилади. (5.14-расм). Бош универсал характеристикага ФИК дан ташқари очилиш a, тезюрарлик коэффициенти ва кавитация коэффициенти σ нинг изолиниялари қурилади. Бу характеристикага қувват изолинияси учун қувватни ҳам қуриш мумкин, лекин берилган ўлчамлардаги турбина учун қувватни сарф, босим ва ФИК орқали топиш мумкин.

Ҳар бир универсал характеристикага синалаётган модель конструкцияси ҳақидаги қуйидаги маълумотлар илова қилинади: турбина тури, спираль камеранинг ва сўриш турбинасининг ўлчамлари ҳамда иш ғилдирагининг диаметрлари.





5. 13-расм. Реактив турбинанинг айланиш характеристикаси.



5. 14-расм. Турбинада бош универсал характеристиканинг валнинг айланиши, тезюрарлик ва кавитацияга боғлиқлиги.

Бош универсал характеристика синалган турбина билан бир турдаги лойиҳаланаётган турбинанинг асосий параметрларини аниқлашга ёрдам беради.

ФИК турбинадан олинган қувватнинг унга келтирилган қувватга нисбати бўлиб, келтирилган қувватнинг бир қисми йўқотилишини билдиради. Қувватнинг йўқотилиши уч хил йўқотишдан ташкил топади: ҳажмий, механик ва гидравлик йўқотишлар.

Ҳажмий йўқотишлар. Турбинага келтирилган сарфнинг ҳаммаси иш ғилдираги орқали ўтмайди, балки унинг бир қисми (ΔQ) айланувчи иш ғилдираги ва унга туташган бошқа қўзғалмас қисмлар орасидаги тирқишлар орқали ўтиб, иш процессида қатнашмайди. Келтирилган сарф Q га тенг бўлса, у ҳолда ҳажмий ФИК қуйидагича ҳисобланади:

$$\eta_{ҳ} = \frac{Q - \Delta Q}{Q} = 1 - \frac{\Delta Q}{Q}. \quad (5.19)$$

Гидравлик йўқотишлар қуйидагилардан ташкил топган: иш ғилдирагига киришдаги урилишга кетган йўқотиш; сув келтирувчи турбиналардаги узунлик бўйича ва маҳаллий қаршиликларга йўқотиш; сўриш турбинасидаги йўқотишлар. Натижада фойдали

босим $H_ф$ сарфланган босим H дан кичик булади. Фойдали босимнинг сарфланган босимга нисбати гидравлик ФИК ни беради:

$$\eta_г = \frac{H_ф}{H}. \tag{5.20}$$

Механик йуқотишлар турбинада ҳосил қилинган қувватнинг генератор валига берилишда турли ишқаланиш кучларини енгиш учун унинг бир қисмининг сарф булишини билдиради. Турбина ҳосил қилган қувват $N_т$ ва генератордан олинган қувват $N_г$ ларнинг фарқи механик йуқотишлар (ΔN) ни беради. Бу йуқотишларни механик ФИК ёрдамида аниқланади:

$$\eta_м = \frac{N_г}{N_т} = \frac{N_т - \Delta N}{N_т} = 1 - \frac{\Delta N}{N_т}. \tag{5.21}$$

Ҳажмий гидравлик ва механик ФИК ларнинг купайтмаси тулиқ ФИК ни беради:

$$\eta = \eta_х \cdot \eta_г \cdot \eta_м. \tag{5.22}$$

Шундай килиб, сарфланган қувват қуйидагича ҳисобланади:

$$N = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{102\eta}, \text{ квт},$$

ёки СИ системасида

$$N = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{1000\eta}, \text{ квт}. \tag{5.23}$$

Бош универсал характеристикада ФИКларнинг изолиниялари келтирилган булиб, турбинанинг яхши ишлаши унинг бошқа параметрлар қаторида ФИК ни ҳам тугри танлаб олишга боғлиқ.

94- §. Кавитация ҳодисаси ва унга қарши курашиш усуллари

Суюқликларда доимо эриган газлар булиб, уларнинг миқдори босимга ва температурага боғлиқдир, босим ортса ёки температура камайса, ортади, аксинча камаяди. Гидравлик системаларда, хусусан, турбиналарда ҳаракат қилаётган суюқлик юқори босимли соҳадан паст босимли соҳага утганида эриган газларнинг бир қисми ажралиб чиқади. Босим туйинган буғ босимидан паст булган соҳаларда суюқлик буғлари ҳам ажралиб чиқади. Бу ажралиб чиққан газ ва буғлар пуфакчалар ҳосил қилади.

Суюқлик юқори босимли соҳага утганда эса ажралган газлар яна эриб кетади, буғлар конденсацияланади. Натижада пуфакчалар йуқолиб, уларнинг урнига атрофдаги суюқлик катта тезлик билан интилади. Суюқлик зарралари пуфакчалар урнидаги бушлиқнинг марказида туқнашади ва гидравлик зарб ҳосил булади.

Ана шу айтилган ҳодисага кавитация ҳодисаси дейилади. Гидравлик зарб натижасида йуқолган пуфакчалар урнида босим

ошиб кетади. Кавитация ҳодисасининг охирида ҳосил бўладиган бу юқори босим атрофдаги заррачаларнинг товуш тебранишларига яқин частотадаги (бикр) тебранишларини вужудга келтиради. Бу тебранишлар металлга берилиб, унинг бузилишига олиб келади. Агар металл мўрт бўлса, бузилиш яна ҳам кучли бўлади.

Одатда, кавитация ҳосил қиладиган соҳалар иш ғилдираги куракларининг чиқиш қирраси, радиал-ўқий ғилдиракнинг ҳалқалари ўқий турбиналар иш ғилдираги камерасининг чиқиш қиррасига яқин ерларда бўлади. Кавитация кўпайган ҳолларда у иш ғилдирагининг барча қисмларини қоплайди ҳамда қисқа вақт ичида ғилдиракни ва унинг атрофидаги деталларни бузади.

Кавитация ҳодисаси деталларни бузишдан ташқари ФИК ни, ғилдиракнинг суюқлик ўтказиш қобилиятини ва турбинанинг қувватини пасайтиради. Кавитация ҳодисаси вақтида характерли қарсиллаш, шовқин ва кескин зарблар ҳосил бўлади. Кавитация ҳодисасига қарши курашиш кавитациянинг олдини олиш ёки уни сусайтириш ҳамда кўпроқ кавитация таъсирида бўладиган деталларнинг мустаҳкамлигини ошириш йўли билан амалга оширилади.

Турбинада кавитация абсолют босим p тўйинган буғ босимига тенг бўлганда ($p = p_t$) бошланади. Шунинг учун турбина иш ғилдирагидан чиқишдаги босим тўйинган буғ босимидан паст бўлмаслиги керак. Чиқишдаги босим тўйинган буғ босимидан кичик бўлиши учун сийракланиш даражаси атмосфера босимига тегишли босим $\left(\frac{p_a}{\gamma}\right)$ билан сўриш турбинасидаги йўқотиш hc ва тўйинган буғ босими $\left(\frac{p_t}{\gamma}\right)$ га тегишли босимларнинг айирмасидан катта бўлиши керак:

$$H \geqslant \frac{p_a}{\gamma} - h_c - \frac{p_t}{\gamma}. \qquad (5.24)$$

Сийракланиш даражасини белгилаш учун қурилманинг кавитация коэффициенти σ_1 дан фойдаланилади:

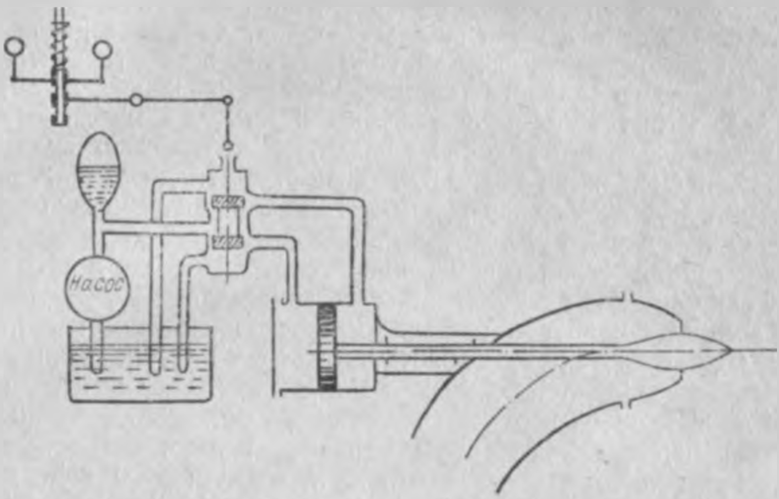
$$\sigma_1 = \frac{\frac{p_a}{\gamma} - h_c - \frac{p_t}{\gamma}}{H}. \qquad (5.25)$$

Турбинада кавитация ҳосил бўлишининг олдини олиш учун турбиналарнинг кавитация коэффициенти деган тушунча киритилади:

$$\sigma = \frac{\frac{p_a}{\gamma} - h_c - \frac{p_t}{\gamma}}{\lambda_r \cdot H} = \frac{\sigma_1}{\lambda_r}.$$

Шундай қилиб, турбинанинг кавитация коэффициенти турбина ғилдирагидаги энг кўп сийракланишнинг турбина босимига нисбатига тенгдир.

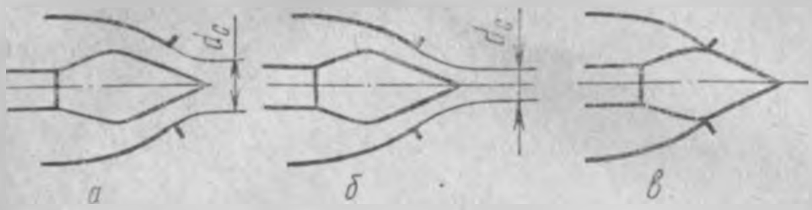
Турбинани эксплуатация қилишда кавитациянинг олдини олиш учун бош универсал характеристикага турбина кавитация коэффициентининг изолиниялари киритилади.



5. 15-расм. Актив турбиналар йўналтирувчи аппаратининг игнасини созлаш.

95- §. Турбиналарни ростлаш принциплари

Турбиналарни тегишли сарф Q ёки қувват N учун ростлаш уларнинг конструктив тузилишига қараб турлича амалга оширилади. Актив турбиналар йўналтирувчи аппарат соплосининг ўқи бўйича силжиб борувчи игна ёрдамида ростланади. Игнанинг бошқарилиши 5.15- расмда ва унинг турли ҳолатлари 5.16- расмда тасвирланган. Агар игна ички энг чекка ҳолатида (5.16- расм, *а*) бўлса, сопло тўлиқ кесими билан ишлаб, энг кўп сарф ўтказади (оқимчанинг диаметри d_c энг катта бўлади). Игнанинг соплодан чиқиш томонига силжиб бориши билан (5.16- расм, *б*) соплонинг ўтказувчи кесими қисқаради ва оқимчанинг диаметри d_c кичрайиб, ўтказилаётган сарф камаяди. Игна соплони бутунлай бекитиб қўйса (5.16- расм, *в*), сарф нолга тенг бўлади. Суюқлик соплодан оқиб чиқаётганда оқимчанинг сиқилиш эффекти содир бўлади ва оқимчанинг диаметри соплонинг диаметридан кичраяди. Одатда, турбина иш ғилдираги чўмичларининг эни (2,8...3,6) d_c узунлиги (2,5...2,8) d_c ва чуқурлиги (0,9...1,0) d_c га тенг бўлади. Сув турбина чўмичларига узун ҳайдаш трубаси орқали келтирилгани учун сопло тез ёпилганда ёки сарф камайганда, гидравлик зарб ҳодисаси вужудга келиб, босим ортиб кетиши мумкин. Чўмичли турбиналарда қувватни вақтинча камайтиришни соплони ёпиш ёки сарфни камайтиришдан бошқача усул билан ҳам амалга оширилиши мумкин. Оқимчага бундай таъсир бевосита сопло кетидан ўрнатилган оқимчани четлатувчи ёки кесувчи дефлектор ёрдамида бажарилади. Четланувчи оқимчанинг йўналишини ўзгартиради, кесувчи эса унинг ҳолатига қараб оқимчанинг бир қисмининг ёки ҳаммасининг йўналишини ўзгартириши мумкин.



5. 16-расм. Актив турбиналар йўналтирувчи аппарати игнасининг ҳолатлари.

Радиал-ўқий, пропеллерли турбиналарни ростлаш йўналтирувчи аппарат ёрдамида амалга оширилади. Йўналтирувчи аппарат кураклари ҳалқаларга вертикал ўқ атрофида айланадиган қилиб ўрнатилган бўлиб, уларни айлантириш, яъни турбинанинг очилишини ўзгартириш билан сарфни ўзгартириш мумкин. Турбинанинг очилиши иккита қўшни курак орасидаги энг қисқа масофа (йўналтирувчи аппарат кураклари орасидан гилдиратиб ўтказиш мумкин бўлган цилиндрнинг максимал диаметри) a ни билдиради (5.17-расм, a). Тўлиқ ёпилиш ҳолати ($a=0$) да куракларнинг четлари (учлари) туташиб, сувнинг турбинага ўтадиган йўли бутунлай бекилади. (5.17-расм, $б$).

Бурилма куракли турбиналарда ростлаш иши ғилдирак куракларн ёрдамида амалга оширилади. Горизонтал ҳолатга келтирувчи куракла сув оқимининг йўлини беркитади ва турбина бутунлай тўхтайди.

5. 17-расм. Реактив турбиналарнинг йўналтирувчи аппарати куракларининг ҳолатлари.

Актив турбиналарда игнанинг ҳолатини ва реактив турбиналарда кураклар ҳолатини ўзгартиришда махсус ростлагич қурилмалардан фойдаланилади.

6- боб. ГИДРАВЛИК КУЧ ҚУРИЛМАЛАРИ

96 - §. Гидроэнергетик ресурслар

Доимий тикланиб турувчи гидроэнергетик ресурслар жаҳон ва мамлакатимиз энергетика балансида жуда катта урин тутади.

Сув энергиясидан механик энергия ҳосил қилиш учун, асосан, дарёларнинг оқар сувлари энергиясидан фойдаланиб келинган.

Дарё сувларининг потенциал энергиясини туплаш мақсадида гидротехник иншоотлар қуриш, бир йула сув сатҳини кутариб сувсиз ерларга сув чиқариш, сув транспортини ривожлантириш, паррандачилик ва балиқчилик хужаликларини ташкил қилиш каби комплекс масалаларни ҳал қилишга ёрдам беради.

Вахш (Тожикистон), Нил (Миср араб республикаси), Колорадо (АҚШ) дарёларида қурилган Нурек, Асуан ва бошка сув омборлари юқорида айтилган барча масалаларни ҳал қилишга имкон берди.

Жаҳонда бир йилда ҳосил қилинаётган 5.300 млрд. кВт - соат электр энергиясидан тахминан 1600 млрд. кВт соатини гидроэлектростанциялар ҳосил қилади. Агар жаҳондаги сув энергияси запасининг фойдаланиш мумкин булган қисми йилига 9807 млрд кВт соат эканлигини назарга олсак, унинг юқорида айтилган фойдаланилаётган қисми 18% га яқин булади. Бу эса барча сув энергияси запаси (44282 млрд кВт соат) нинг 4% ига ҳам бормайди.

Сув энергияси запасининг фойдаланиш мумкин булган қисмини (йилига 9807 млрд кВт соат) иссиқлик электр станцияларида ҳосил қилиш учун йилига 2 млрд тонна кумир ёки суткасига 5 млн тонна нефть керак булар эди.

Ҳозир ишлаб чиқарилаётган электр энергияни (йилига 1600 млрд кВт соат) юқоридагидек таққосласак, йилига тахминан 342,5 млн тонна ёки суткасига 893,5 минг тонна нефть керак булади.

Дунёдаги гидроэнергетика ресурсларининг фойдаланишга иқтисодий қулай қисмининг қитъалар буйича тақсимоти қуйидагича келтирилган:

6.1 - жадвал

Қитъалар	Гидроэнергетика ресурслари, млрд. кВт - соат	Унинг амалда фойдаланилаётган қисми, %
1	2	3
Осиё	2643	7,5
Африка	2020	1 5
Жанубий Америка	1852	5
Шимолий Америка	1273	34.2
Европа	772	53
Австрия	202	14

Энергияга булган талабнинг ортиши шуни курсатадики, яқин келажакда ,яъни 2000 йилга бориб, бутун дунёда бир йилда ҳосил қилинадиган электр энергияси тахминан 20000 млрд. кВт га етади. Бунда гидроэлектр станцияларнинг ҳиссаси 8—10 млрд. кВт соатга тенг булиши кузда тутилади, бу эса дунё гидроэнергетик ресурсларининг 1 3 қисмини ташкил қилади. Бунинг учун дунёда қуввати 1,1 — 1,2 млрд. кВт. га тенг булган гидроэликтр станциялар қуриб ишга тушириш зарур булади.

Гидроэнергетика запасларини тасаввур қилиш учун уни бир йилда ёқиладиган кумир ёки нефть миқдори билан таққослаймиз. Дунёда гидростанция қуриш қийин булмаган ҳамма дарёлар йилига 4.10^{15} ккалория миқдорида энергия бера олади. Бу эса бир йилда ёқиладиган нефть берадиган иссиқлик энергияси миқдоридан тахминан 4 баравар купроқ ва бир йилда ёқилган кумир берадиган энергиядан 2.5 баравар камроқдир. Мамлакатимиз сув энергияси запаси дунёдаги ҳамма запаснинг 15% ни ташкил қилиб, жаҳонда биринчи уринни олади ва купчилик йирик капиталистик мамлакатлардан олдинда туради. Бу қуйидаги жадвалдан яққол куриниб турибди:

6.2- жадвал. Турли мамлакатларнинг сув энергияси ресурслари (сувнинг минимал сарфида)

№№	Мамлакатлар	Энергия ресурслари, млн кВт.
1.	СССР	79,5
2.	АҚШ	25,7
3.	Канада	15,85
4.	Япония	5,6
5.	Норвегия	12,0
6.	Швеция	2,9
7.	Франция	3,4
8.	Италия	2,8
9.	Швейцария	2,4
10.	Испания	2,9
11.	Германия	1,5
12.	Англия	0,6

Мамлакатимизда ҳамма энергетика ресурсларининг тахминан 16%ини сув энергетика ресурслари ташкил қилади.

Назарий ҳисобларга кура, мамлакатимизда мавжуд 1477 та дарёлардан йилига 3942 млрд кВт-соат энергия олиш мумкин, гидростанциялар учун фойдаланиш мумкин буладиган йирик ва уртача дарёлардан Енисей, Лена, Ангара, Обь, Амур, Қолима, Сирдарё, Амударё, Волга, Днепр ва бошқаларнинг энергия потенциали тахминан 2000 млд кВт-соатга тенг булишига қарамай, замонавий техника имкониятлари ёрдамида ҳозирда шу

дарёлардан йилига 1,095 млд. кВт соат электр энергияси олинаётир, холос.

97-§. [illegible] ни электрлаштиришда гидроэлектр станцияларнинг роли

Электрлаштириш табиий энергия ресурсларидан тўғри фойдаланиш, ишлаб чиқариш кучларини самарали жойлаштириш, ишлаб чиқаришни механизациялаштириш ва автоматлаштириш, меҳнат унумдорлигини ошириш имконини беради.

1913 йилда Россия электр энергияси ҳосил қилиш жиҳатидан дунёда 8, Европада 6 ўринда бўлиб, электр станцияларнинг умумий қуввати 1140 кВт эди.

Россияда 1917 йилда умумий қуввати 4200 кВт га тенг бўлган 7 та гидроэлектр станция бор эди.

[illegible] йирик гидроэлектр станциялар қуриш заруплигини ва бу гидроэлектр станцияларнинг мамлакатни электрлаштиришдаги роли биринчи марта В. И. Ленин ташаббуси билан тузилган ва Советларнинг III съездида қабул қилинган Россияни электрлаштириш ГОЭЛРО планида аниқлаб берилган эди.

ГОЭЛРО плани 10—15 йилга мўлжалланган бўлиб, бу даврда ҳамма мавжуд электр станцияларни реконструкция қилиш ҳамда умумий қуввати 1750 кВт га тенг бўлган 30 та электр станция қуриш кўзда тутилган эди. Шулардан 10 таси умумий қуввати 640 минг кВт га тенг бўлган гидроэлектр станциялар эди.

6.3-ж а д в а л. **ГОЭЛРО плани асосида қурилиши кўзда тутилган гидроэлектр станциялар**

№№ ГЭСларнинг номи	Қуввати, кВт
1. Волхов	30 000
2. Қуйи Сибирь	40 000
3. Юқори Сибирь	60 000
4. Днепр	200 000
5. Краснодар	20 000
6. Терек	40 000
7. Кубань	40 000
8. Олтой	40 000
9. Чусов	25 000
10. Туркистон	40 000

1920 йилдан 1928 йилгача умумий қуввати 100 минг кВт га тенг бўлган бир неча гидроэлектр станциялар, жумладан

ГОЭЛРО планида кўзда тутилган ва Совет гидротехникасининг тўнғичи Волхов гидроэлектр станцияси 1926 йилда қурилиб ишга туширилди.

1932 йилга келиб ўша даврда Европада энг йирик ҳисобланган ва қуввати 650 минг кВт га тенг бўлган В. И. Ленин номли Днепр ГЭСи тўла қувват бера бошлади. 1935 йилда мамлакатда умумий қуввати 1,75 минг кВт га тенг бўлган 19 та йирик гидроэлектр станция ишга тушди ва ГОЭЛРО плани ортиғи билан бажарилди.

Улуғ Ватан уруши йилларида мамлакатдаги гидроэлектр станциялар қувватининг 2/3 қисми камайиб кетганига қарамай, урушдан кейин жуда оз фурсатда, яъни 1950 йилгача ҳамма гидроэлектр станциялар тикланиб бир неча янгилари қурилди ва уларнинг қуввати 3,2 млн. кВт га етди. [illegible] электр энергияси ҳосил қилишда дунёда 2- ўринга чиқиб олди. 1963 йилла Волга дарёсида қуввати 2,53 миллион кВт га тенг [illegible] XX съезди номли, 1964 йилда Ангара дарёсида қуввати 3,6 миллион кВт га тенг Братск гидроэлектр станциялари ишга туширилди.

Кейинги йилларда қуввати 5 миллион кВт ли Красноярск, 6 миллион кВт га тенг Саяно-Шушенск электр станциялари ишга тушди. Ҳозирги вақтда ГЭС ларда ҳосил қилинадиган электр энергия мамлакатимизда ҳосил қилинаётган энергиянинг 20% ини ташкил қилади.

98- §. Гидроэлектр станциялар классификацияси

Гидроэлектр станциялар гидротурбиналар ёрдамида сув энергиясини механик энергияга, сўнгра уни генератор ёрдамида электр энергиясига айлантириб берувчи иншоотлар комплексидир.

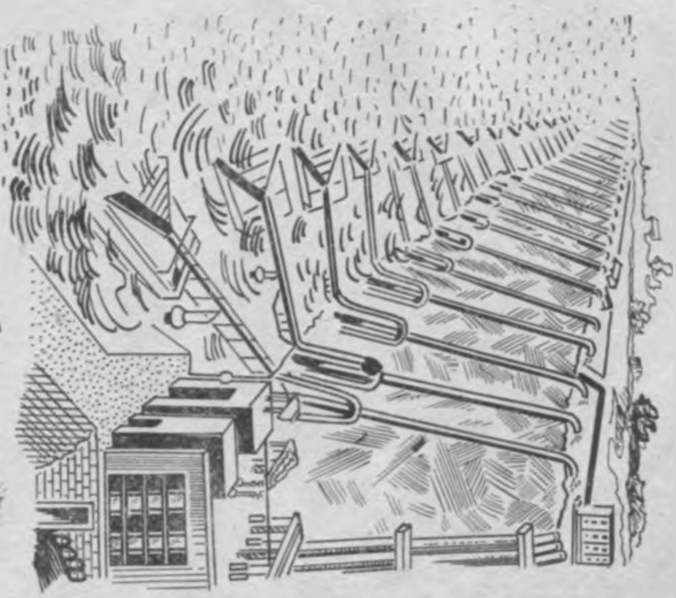
Гидроэлектр станциялар бир неча хил йўл билан классификацияланиши мумкин, жумладан:

оқар сувларнинг кинетик энергиясидан фойдаланишга мўлжалланган тўғонсиз ГЭС лар (6.1- расм, *а, б*);

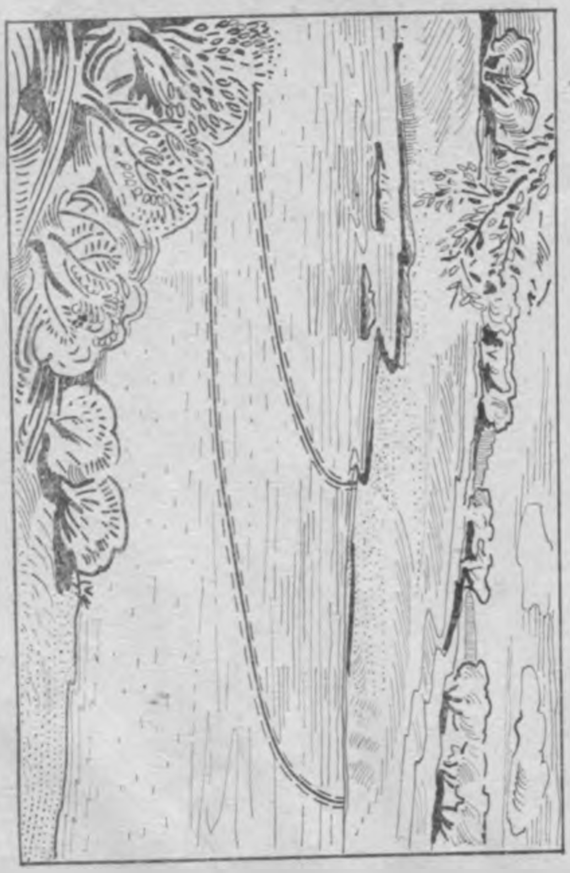
сув босимини бир жойга йиғиш учун дарёнинг бирор жойига қурилган тўғонли ГЭСлар (6.2- расм);

сувни турбинага шохобча канал орқали олиб берадиган шохобчали гидроэлектр станциялар; шохобча каналли ГЭС лар ўз навбатида тўғонли ва тўғонсиз бўлиши мумкин (6.3- расм).

Тўғонсиз электр станциялар. Тўғонсиз электр станцияларнинг бир неча тури мавжуд бўлиб, уларга маржонсимон ГЭС лар мисол бўлади. Бу электр станцияда битта пўлат тросга бир неча дона кичик диаметрли турбиналар муфталар ёрдамида маржонсимон кетма-кет бириктирилади ва оқар сув манбаларига нисбатан кўндаланг ёки маълум қияликда ўрнатилади. Троснинг бир учига электр генератори бириктирилади (6.4, 6.5, 6.6- расм-

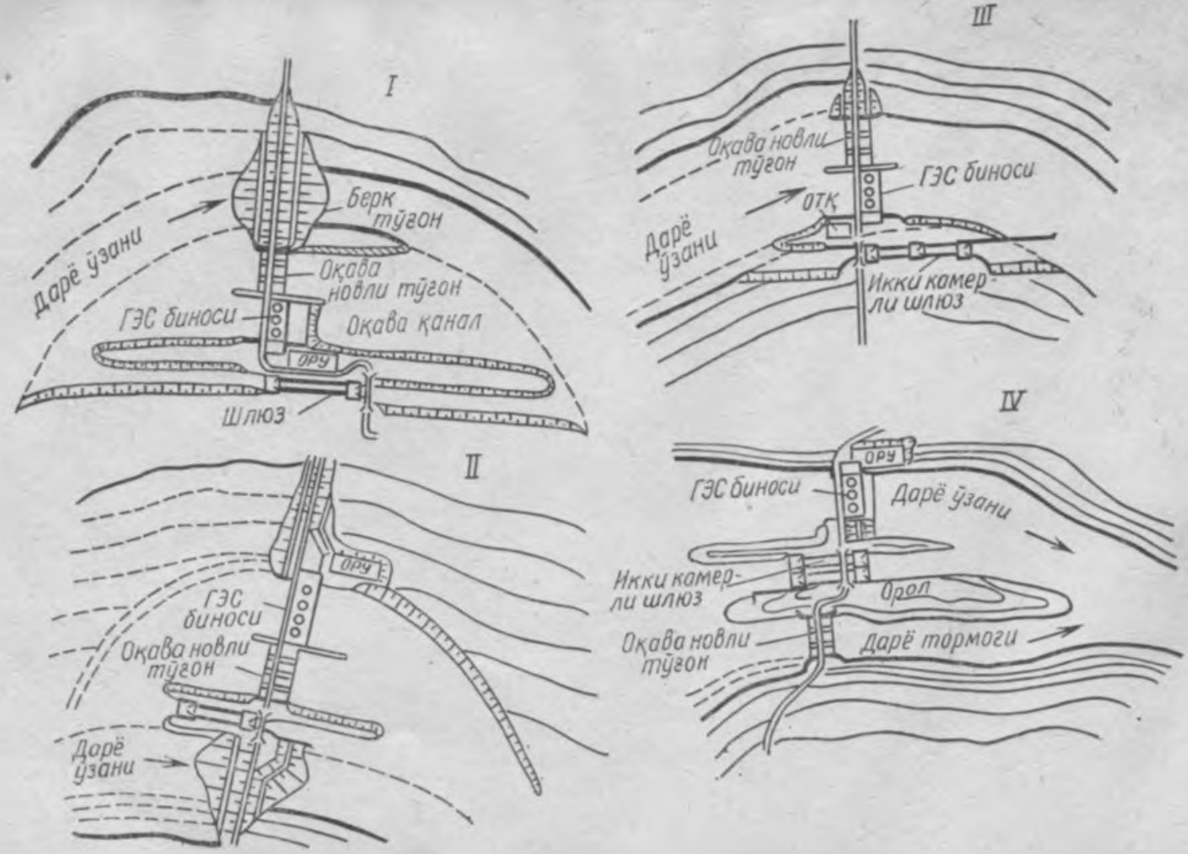


а

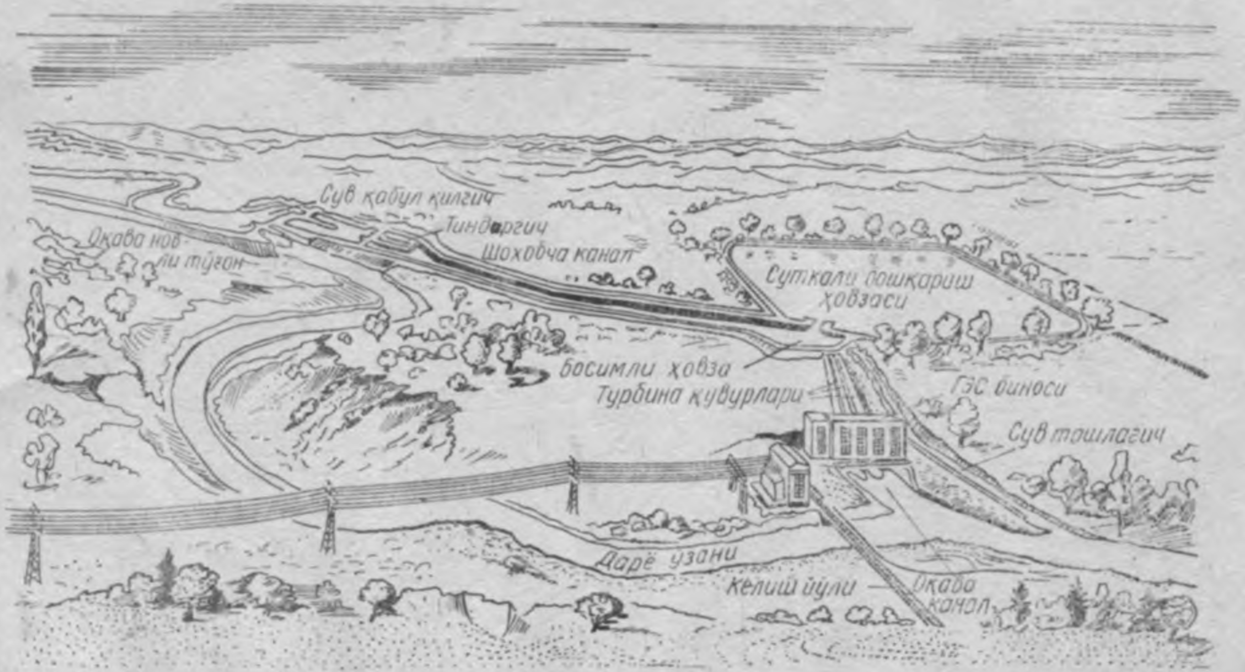


б

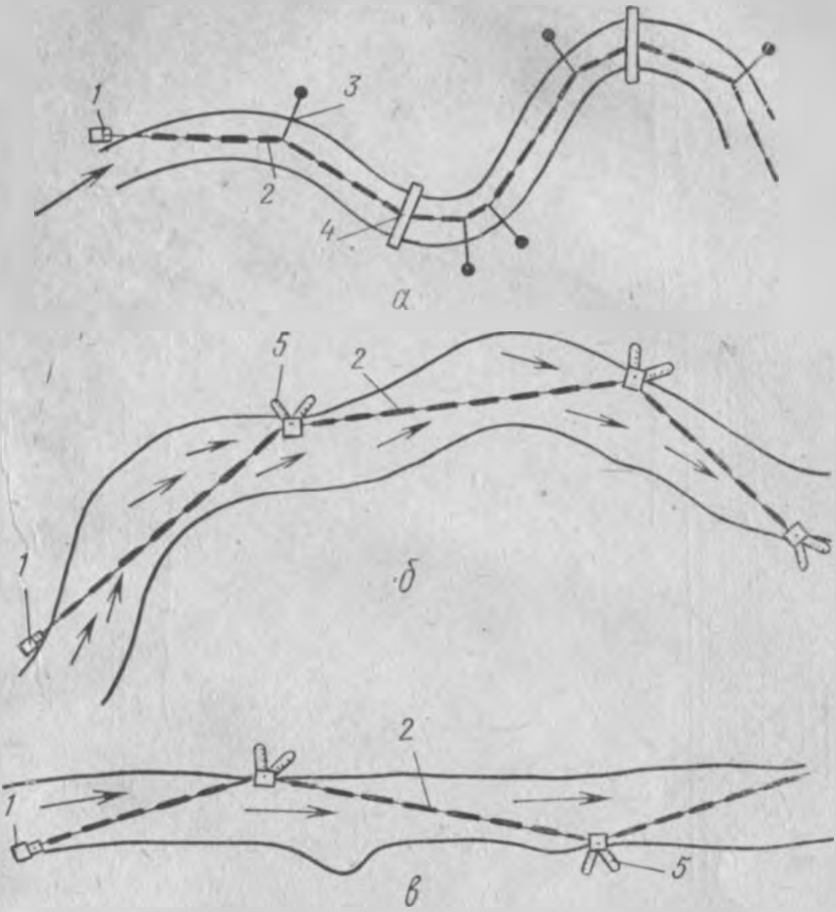
6. 1-расм. Туғонсиз гидроэлектр станция схемаси.



6. 2-расм. Туғонли гидроэлектр станциялар схемаси.



6. 3-р см. Шохобча каналли гидроэлектр станция схемаси.



6. 4-расм. Бир маржонли ГЭСларни дарёларда жойлаштириш усуллари.

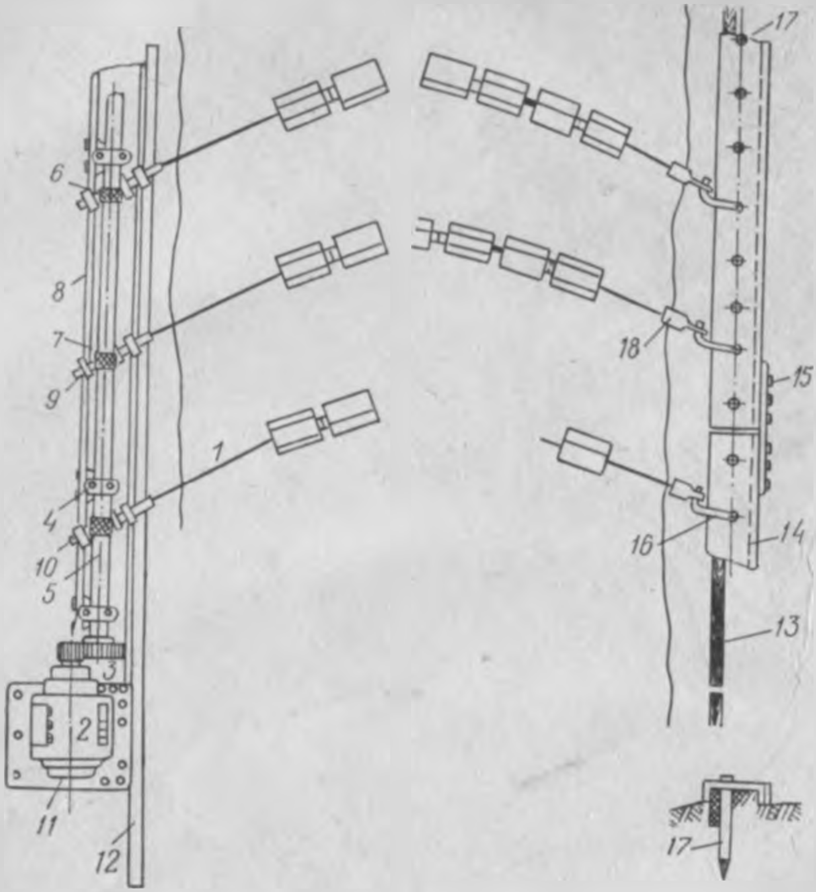
лар). Натижада турбиналар айланганда трос ҳам биргаликда айланиб, электр генераторнинг якорини айлантиради.

Бундай ГЭСлар эни 0,5 метрдан кичик, чуқурлиги 0,3 метрдан кам бўлмаган ва сувнинг тезлиги 1 м/с дан ортиқ бўлган ариқ ёки дарёларга ўрнатилиб, 1...5 кВт гача қувват олишга имкон беради.

Улар сув остига тегмайдиган даражада чўктирилган бўлиб, ҳатто пароход қатнайдиган дарёларга ҳам ўрнатилиши мумкин.

Маржонсимон электр станциялар ўз навбатида бир маржонли (6.4- расм), кўп маржонли (6.5- расм), бўйлама, энлама турбинали электр станцияларга бўлинади. Маржонсимон ГЭСларда қўлланиладиган турбиналарнинг кўриниши 6.6- расмда келтирилган.

Тўғонли гидроэлектр станцияларда сув сатҳи тўғон ёрдамида кўтарилиб, керакли босим ҳосил қилинади.



6.5-расм. Куп маржонли ГЭСларни дареларда жойлаштириш схемаси:

1—трос, *2*—генератор, *3*—тишли механизм, *4*—валнинг таянчи, *5*—вал, *6*—тросни таранглович механизм, *7*—червякли механизм, *8*—фундамент, *9*—тросни таранглович механизмга бириктириш, *10*—троснинг учи, *11*—генератор ўқи, *12*, *13*—дарё четининг қирғоини мустаҳкамловчи қурилма, *14*, *15*, *16*—троснинг иккинчи учини қирғоққа бириктирувчи қурилма, *18*—тросни бириктирувчи қурилма билан боғловчи шарнир.

Туғонни қуришда тош, қум, лой, тупроқ ва бошқалардан фойдаланилади. Туғоннинг сув оқиб ўтадиган кесими бетондан ясалади. ГЭС биносига сув олиб келадиган қурилмалар (каналлар, қувурлар), кўпинча, туннель кўринишида ясалади. Бу қурилмаларнинг узунлиги ҳар хил булади. Масалан, Канададаги Авлиё Лаврентий дарёсининг суви ГЭС га узунлиги 25 км бўлган канал орқали келтирилади.

Электр станцияларни турлича классификациялаш мумкин:

1) электр станциялар биноси тўғонга нисбатан жойлашишига қараб:

а) тўғон ёни электр станцияси (6.7- расм);

б) тўғон ичи электр станцияси (6.8- расм);

в) тўғон орти электр станцияси (6.9- расм).

2. ГЭС лар қувватига қараб:

а) катта қувватли — 250 мВт дан кўп;

б) ўртача қувватли — 250 мВт гача;

в) кам қувватли — 5 мВт гача.

3) сувнинг босимига қараб:

а) юқори босимли (60 метрдан ортиқ);

б) ўрта босимли (25 метрдан 60 метргача);

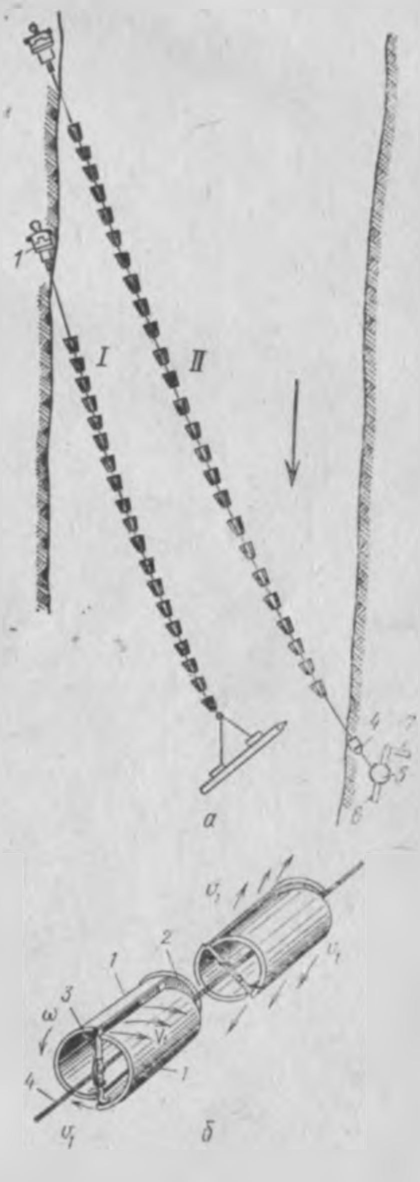
в) паст босимли (3 метрдан 25 метргача).

Шохобчали гидроэлектр станциялар тўғонсиз (яъни сув дарёнинг юқори кесимидан шохобча канал ёрдамида сув омбори орқали турбинага келади, 6.1-расм) ва тўғонлиларга (сув тўғон ёнидан шохобча канал орқали турбинага келадиган) бўлинади (6.3-расм).

99-§. Машина зали тўғон ёнида, тўғон ичида ва тўғон ортида жойлашган электр станцияларнинг хоссалари

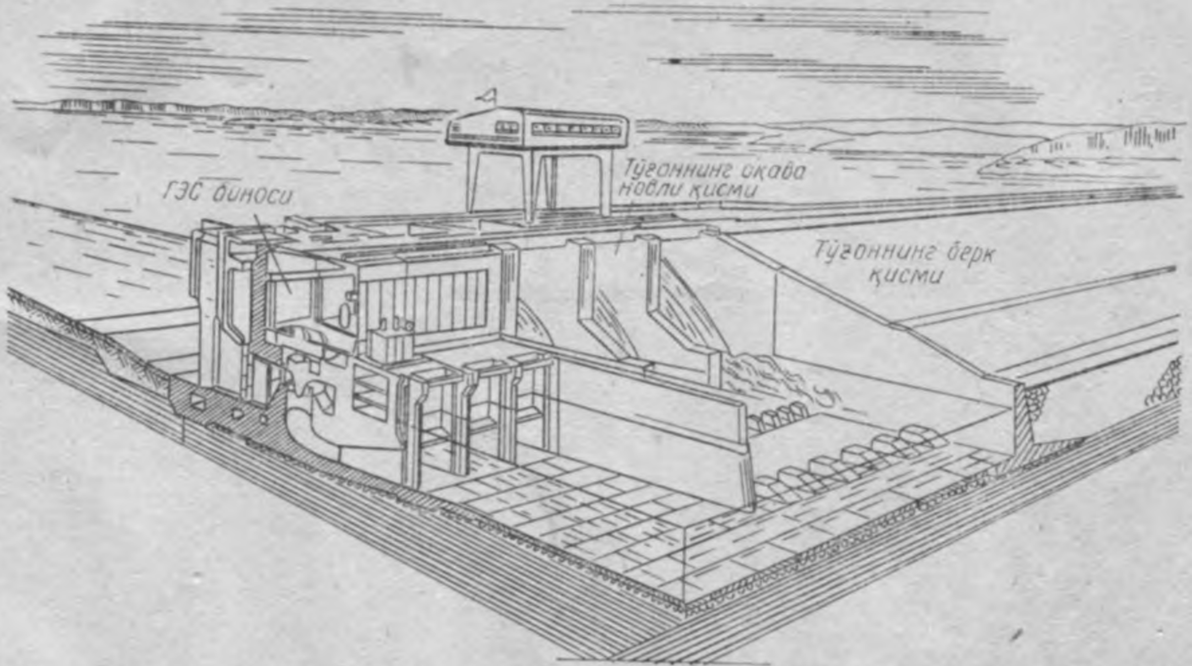
Тўғонли электр станцияларда дарёларни тўсиб сув сатҳини кўтариш усули билан босим оширилади. Гидроэлектр станциялар таркибига тўғондан ташқари гидроагрегатлар, автоматик бошқариладиган ва кузатиш ускуналари ўрнатилган машина зали киради.

Сувнинг босими ва гидроагрегатнинг қувватига қараб, ГЭС биноси, яъни машина за-

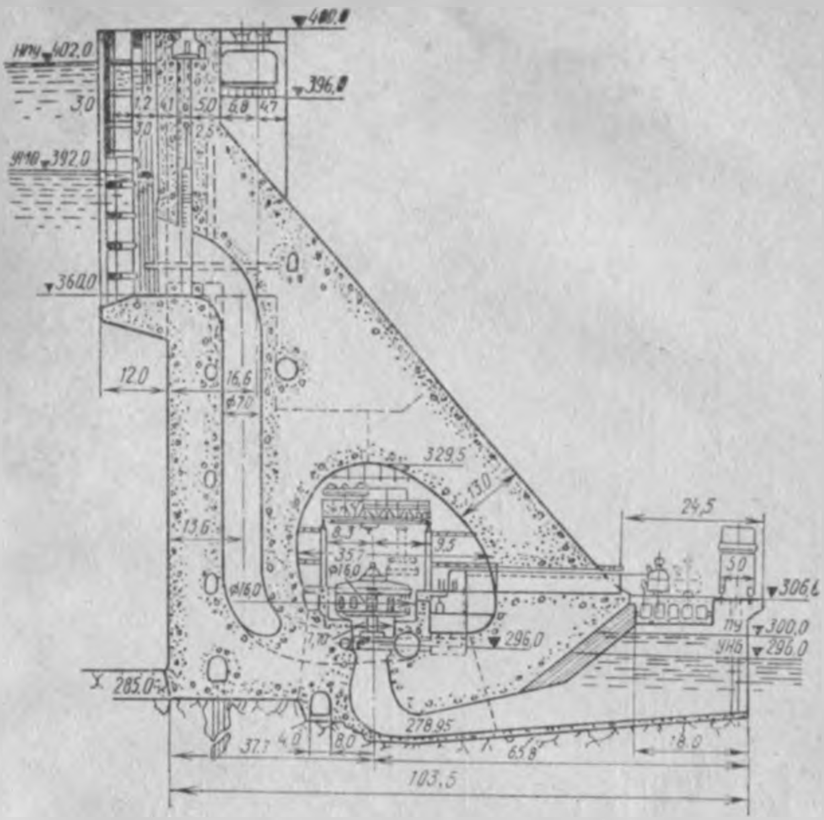


6. 6-расм. *а*—бурчак остида жойлашган маржонсимон ГЭСлар, *б*—маржонсимон ГЭС турбинасининг кўриниши:

1—турбина чўмичлари, *2*—бириктиргич қонқоқ, *3*—трешчетка механизмли бириктиргич, *4*—трос, *5, 6, 7*—тарангловчи механизм қисмлари, *8*—генератор.



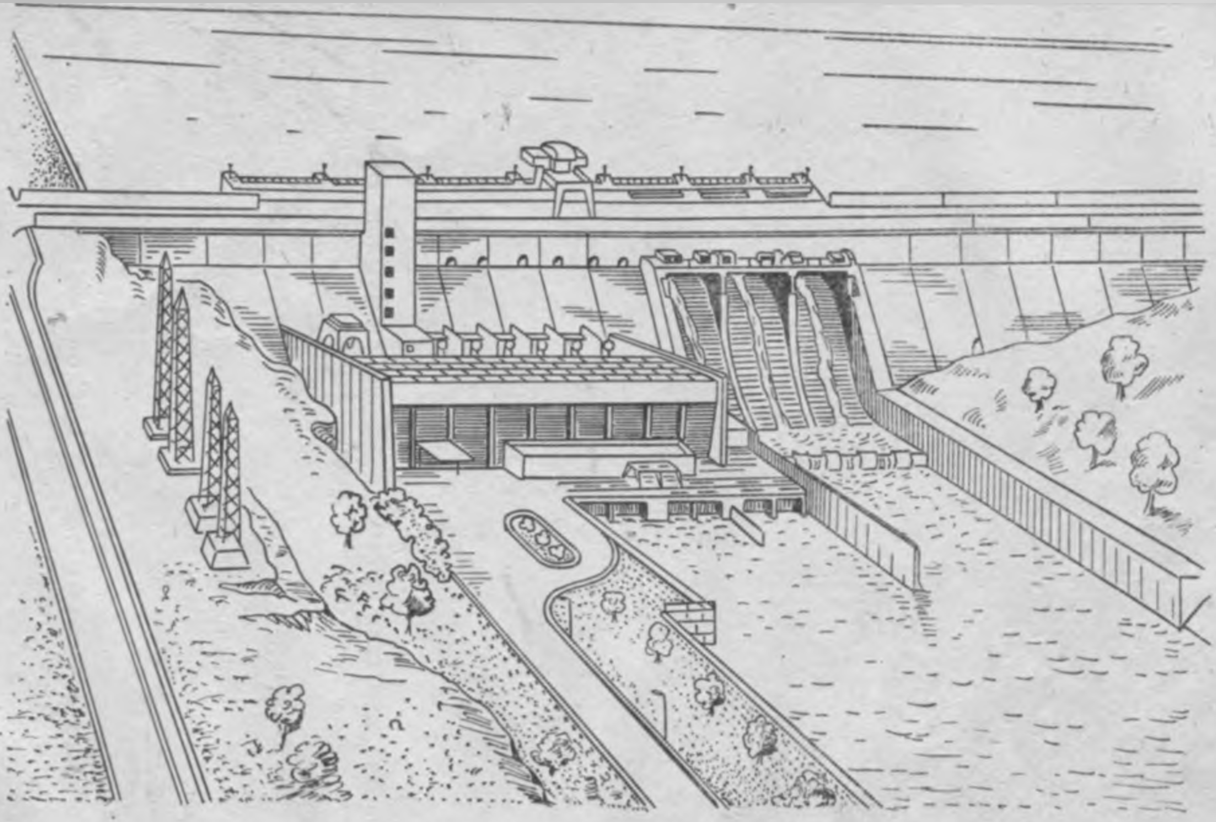
6. 7-расм. Тўғон ёни электр станциясининг схемаси.



6. 8-расм. Тўғон ичи электр станцияси.

ли тўғонга нисбатан турлича жойлашиши мумкин. Бундай электр станцияларда ГЭС биноси ундаги агрегатлар билан биргаликда унинг ўнг ёки чап томонига жойлашган бўлса ёки тўғоннинг ичида қолса, уларни тўғон ёни ёки тўғон ичи ГЭС лари деб атаймиз. Бу ҳолларда ГЭС биноси тўғоннинг таркибида бўлгани учун тўғонга таъсир қилаётган гидростатик кучлар қисман бинога тақсимланади. Шунинг учун тўғон ёни ва тўғон ичи ГЭСлари шундай шароитда қуриладики, қуйи бъефда сувнинг сатҳи ГЭС биносининг маълум қисмигача кўтарилган бўлиши керак, чунки сўриш турбинасининг қуйи бъефидаги учи сув сатҳидан пастда бўлиши зарур. Баъзи ҳолларда ГЭС биноси оқова новининг остида бўлиши ҳам мумкин.

ГЭС биноси юқори бъеф билан спирал камера орқали, қуйи бъеф билан эса сўриш трубаси орқали туташган бўлади. Спирал камерани турбина билан туташтирувчи йўналтирувчи аппарат сувнинг босимини турбина куракларига шундай мослаб бериши керакки, босимнинг мумкин қадар кўпроқ қисми иш ғилдирагини ҳаракатга келтиришга сарф бўлсин. Бундай ГЭСлар,



6.9- расм. Туғон орти электростанцияси.

одатда, кўп сувли секин оқар дарёларда, сув босими 30—40 метрдан ошмайдиган қилиб қурилади. Агар тоғли ерларда ГЭС қуриш керак бўлса, водийнинг торайган жойлари танлаб олинади.

Буларга Волга дарёсида қурилган КПСС XXII съезди ГЭСи мисол булади.

Сувнинг гидростатик босими катта бўладиган ҳолларда ГЭС биносини шундай босим остида қолдириш хавфли бўлгани сабабли ГЭС биноси тўғон ортида жойлаштирилади ва уни тўғон орти ГЭСи деб айтамиз (6.9- расм).

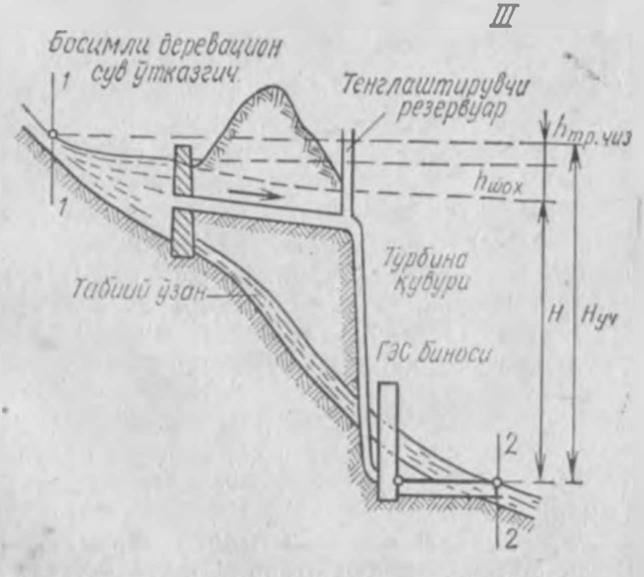
Бундай электр станциялар юқори бъефдан тўғон орқали ажралган бўлиб, сув махсус қувурлардан ўтиб спирал камерага ёки йўналтирувчи аппаратга киради.

Бундай типдаги электростанцияларга Ангара дарёсида қурилган Братск ГЭСи ва тоғ шароитларида қурилган Нурек ГЭСи киради.

100- §. Шохобча каналли электр станциялар

Бундай электр станциялар, одатда, тоғ дарёларига қурилиб, сувнинг гидротурбинани ҳаракатга келтириш учун зарур бўлган босими шохобча каналлар ёрдамида йиғилади (6. 10-расм).

Шохобча канал дарёга унинг фойдаланишга мўлжалланган қисмидан бошлаб қурилади ва дарёнинг ўртача қиялигидан камроқ қиялик билан ўтказилиб, келтирилган сув электр станциянинг машина зали биносига махсус қувурлар орқали туширилади. Бунда гидротурбинани ҳаракатга келтирувчи босим шохобча канал охирининг турбинага нисбатан баландлигига тенг.

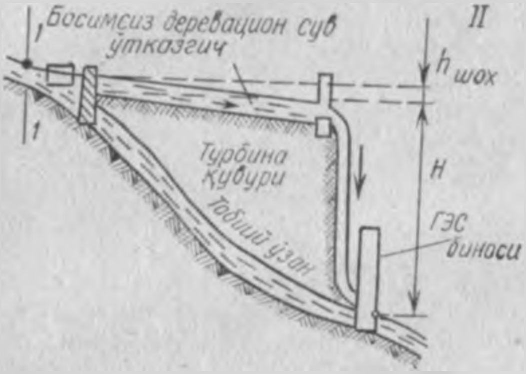


6. 10-расм. Босимли шохобча каналли ГЭСлар.

ишлаб бўлган сув иккинчи марта шохобча каналли ГЭС да фойдаланилади ёки дарёга ташланади.

ГЭС қуриш учун танланган дарёнинг қиялиги қанча катта бўлса, сув босимини ҳосил қилиш шунчалик осон бўлади ва арзонга тушади. Бу ҳолларда тўғон қуришга зарурият қолмайди.

Баъзи ҳолларда шохобча канал дарёга қурилган тўғон олдидан бошланади. Бундай қурилмалар аралаш қурилма дейилади. Бу ҳолда тўғон ёрдамида ҳосил қилинган босим шохобча канални етарли миқдорда сув билан таъминлаш учун хизмат қилади (6.3-расм).



6. 11-расм. Босимсиз шохобча каналли ГЭС-лар.

Шундай қилиб, тўғонли шохобча каналлардан фойдаланиладиган ГЭС ларда босим ҳосил қилишнинг ҳар икки усули ҳам хизмат қилади. Шохобча каналли ГЭС лар икки хил баландликдаги икки дарёда ҳам қурилиши мумкин. Бунга Ингура дарёси билан Эриси дарёси (Кавказда) ўртасидаги туннелга қурилган Ингура ГЭСи яхши мисол бўлади.

Булардан ташқари босимсиз ва босимли шохобча каналли ГЭС лар ҳам бўлади (6.10, 6.11-расмлар).

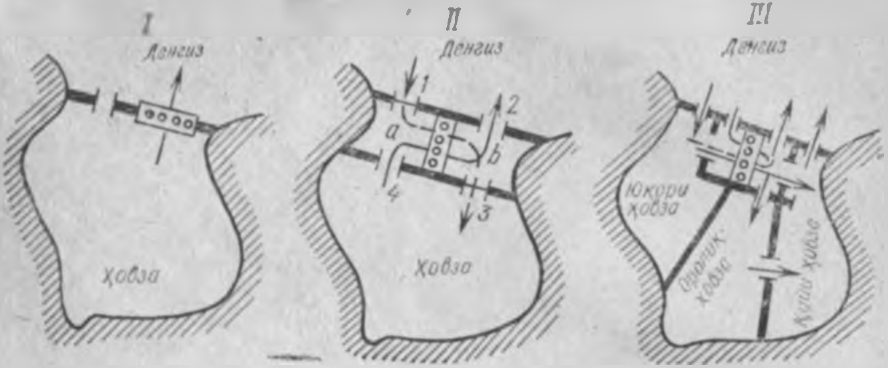
101-§. Сувнинг кўтарилишидан ишлайдиган электр станциялар

Бундай электр станциялар ойнинг Ер атрофида айланишида денгиз сувининг кўтарилиш энергиясидан фойдаланишга асосланган.

Ойнинг тортиш кучи таъсирида денгиз сувининг сатҳи бир неча метр (6—11 м) га кўтарилиб, денгиз қўлтиғи олдига қурилган тўғондаги капсулли турбина (6.12-расм) орқали қўлтиққа қуйилади. Натижада турбина ҳаракатга келиб, электр токи ҳосил бўлади. Сувнинг пасайиши вақтида эса қўлтиқда тўпланган сув денгизга қуйилиб турбинани яна ҳаракатга келтиради.

Бу принципда ишлайдиган электр станциялар ҳақидаги фикрлар кўпдан бери маълум бўлишига қарамасдан яратилган лойиҳалар иқтисодий жиҳатдан етарли асосланмагани учун яқин йилларгача қурилмади.

1966 йилда дунёда биринчи марта Францияда қуввати 240 000 кВт ли шундай электр станция ишга тушди, лекин му-



6. 12-расм. Сув кўтарилишидан ишлайдиган ГЭСнинг денгиз четида жойлаништириш схемаси:

I—турбина бир томонлама ишлайдиган ГЭС, II—турбина икки томонлама ишлайдиган ГЭС: *1*, *3*—денгиздан ҳавзага сув утиш каналлари, *4*, *2*—ҳавзадан денгизга сув утиш каналлари. III—оралиқ ҳавзали ГЭС.

тахассисларнинг фикрича бу станция ҳам замон талабига етарли жавоб бермади. СССРда 1968 йилда Мурманск яқинида қурилган ва қуввати 400 кВт булган экспериментал электр станция ишга туширилиб урганилмоқда.

Бу станция тажрибасидан фойдаланиб, Баренц денгизида Лубовский, Оқ денгизда Беломор ва Мезенский электр станцияларини қуриш кўзда тутилмоқда.

Сувнинг кутарилишидан ишлайдиган электр станциялари даврий (сутканинг маълум қисқа вақтида) ишлагани учун уларни иссиқлик электр станциялари билан биргаликда ишлатиш зарур.

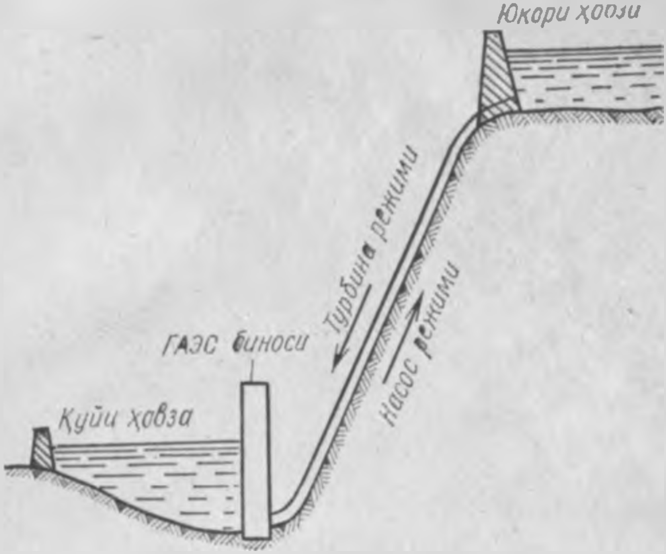
102- §. Гидроаккумуляцион электр станция (ГАЭС)лар

Гидроаккумуляцион электр станциялар сутканинг энергия камроқ ишлатиладиган даврида электр тармоқларидаги ортиқча электр энергияни сувнинг потенциал энергиясига айлантириб, сутканинг энергия танқис даврида қайтадан электр энергиясига айлантириб беришга мосланган электр станциялардир.

Кучли насос станциялари денгиз ёки дарё сувини бирор тепаликда қурилган сув ҳавзасига кўтариб, зарур булган вақтда юқори ҳавзадаги сувни сув қувурлари ёрдамида гидроэлектр станцияларнинг турбиналарига юборади (6.13- расм).

Гидроаккумуляцион электр станцияларда хосил килинган электр токи электр тармоқларига қайтарилади. Бундай электр станцияларнинг фойдали иш коэффициенти 0,66 дан ошмаса ҳам, энергиянинг маълум қисмини сақлаб қолишга ёрдам беради.

СССРда Ленинградда қурилган ГАЭСнинг қуввати 1 миллион кВт га етади. Киев ГАЭСи 2,5 км юқорироқда қуввати 2000000 кВт га тенг булган, Каунас сув омборининг унг қирғо-



6.13-расм. Гидроаккумулятор электр станциясининг жойлашиш схемаси.

ғида қуввати 1600 Мвт га тенг бўлган Койшядар ГАЭС қурилмоқда. Бундай гидроэлектростанциялар ГФР, АҚШ, Англия, Норвегия, Франция, Япония ва ГДР ларда ҳам қурилган.

Ҳозирги кунда жаҳондаги барча ГАЭСларнинг қуввати 15 миллион кВт дан ортиб кетган.

103-§. Гидроэлектр станцияларнинг асосий иншоотлари ва жиҳозлари

Гидроэлектр станциялар яратиш унга хизмат қиладиган иншоотларни қуриш ва жиҳозлаш билан амалга оширилади.

Иншоотларга қуйидагилар киради:

1) **тўғон** — дарё ўзанини тўсиб, керакли босим ҳосил қилиб берувчи гидротехник иншоот;

2) **ГЭС биноси** — сув энергиясини электр энергиясига айлантириб бериш учун зарур бўлган асосий жиҳозларни ўз ичига олувчи гидротехник иншоот. Баъзи ҳолларда (тўғон ичи ёки тўғон ёни ГЭСларида) ГЭС биноси тўғоннинг асосий қисмини ташкил қилиши ёки тўғон вазифасини бажариши ҳам мумкин;

3) **қувурлар** — юқори бъефни ГЭС биноси билан туташтирувчи иншоот. Бундай қувурлар тўғон орти ва шохобча каналли ГЭСларда қўлланилади;

4) **шохобча** каналлар табиат шароитига кўра дарё ўзанида ГЭС биноси қуриб бўлмайдиган ҳолларда, дарё ўзанидан ёки

тўғон ёнидан сув сатҳи қиялигидан камроқ қиялик билан сувни олиб кетиш учун хизмат қиладиган иншоот;

5) **оқова нов** — дарё сувининг бир қисмини ГЭС биноси ташқарисидан юқори бъефдан қуйи бъефга ўтказиб юборишга ва дарё сарфининг ўзгариб туришига қараб, юқори бъеф сатҳини ростлаб туришга хизмат қиладиган иншоот.

Юқорида айтилганлардан ташқари ГЭС иншоотларига фойдаланиб бўлинган сувни қуйи бъефга чиқариб юборувчи новлар, шохобчадан каналлар келиб қуйиладиган ҳовузлар ва бошқалар ҳам кириши мумкин.

Жиҳозларга қуйидагилар киради:

1) **гидротурбиналар** — сув энергиясини механик энергияга айлантириб бериш учун хизмат қиладиган гидромашина;

2) **электр генератори** — гидротурбинада ҳосил қилинган механик ҳаракатни электр энергиясига айлантирувчи машина;

3) **йўналтирувчи аппарат** — сув босимининг йўналишини турбина куракларига мослаб берувчи мослама;

4) **спирал камера** — сувни реактив турбиналарнинг йўналтирувчи аппарати куракларига бир текис етказиб берадиган мослама;

5) **сўриш трубаси** — гидротурбинанинг давомида қурилган ва сийракланиш ҳосил қилиш йўли билан турбинага келтирилган сув босимидан тўлиқ фойдаланиш учун қурилган мослама;

6) **тақсимот шчити** — генератор ҳосил қилган электр энергияни тармоқларга тақсимлаш учун ҳимоя ва бошқариш воситалари ўрнатилган қурилма.

Бундан ташқари, жиҳозларга турбинага келадиган сувни бошқариш ва контрол-ўлчаш асбоблари ҳам киради.

104- §. Тўғоннинг тузилиши

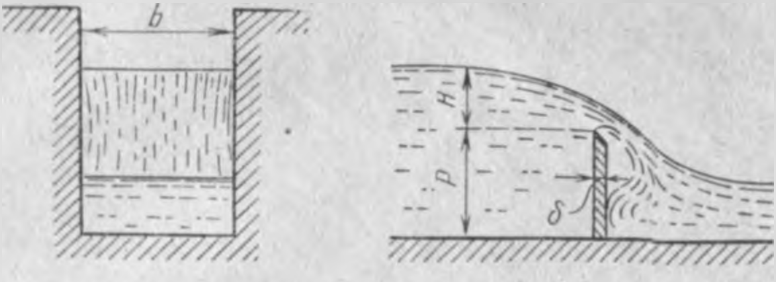
Тўғонларнинг тури ва конструкцияси унга қўйиладиган талаблар, табиий шароит ва ўлчамларига қараб турлича бўлади.

Юқори бъефда сув сатҳини кўтариш учун қурилган тўғонларга сув омбори, сув кўтаргич тўғонлар дейилади.

Гидроузел таркибида бажарадиган вазифасига қараб тўғонлар: сув ўтказмайдиган, оқова новли, станцияли (сув олувчи қурилмалари ва ГЭСга сув берувчи қувурлари бўлган) тўғонларга бўлинади.

Қурилиш материалининг турига қараб тупроқ тўғон, тош тўғон, бетон тўғон, ёғоч тўғонлар бўлади.

Тупроқ тўғонлар қисман ёки бутунлай кам ўтказувчи тупроқдан қурилади. Бу тўғонларнинг юқори сиртида кам ўтказувчи тупроқ сув ўтказмайдиган экран ҳосил қилади. Бунда тўғоннинг ўзагини ўтказувчи тупроқ ёки тошлардан қуриш мумкин. Кейинги ҳолда у тошли-тупроқ тўғон дейилади. Тупроқ тўғон-



6.14-расм. Юпқа остонали оқова нови.

ларнинг тубида, сизиб ўтган сувларни чиқариб юбориш учун, дренажлар қурилади. Тўғоннинг юқори сиртини тўлқин таъсиридан бетон ёки тош қоплама билан ҳимоя қилинади.

Тош тўғоннинг марказий сув ўтказмайдиган қисми (диафрагма) темир-бетон, асфальт, ёғоч, металл, полимер материаллардан қурилади. Агар тўғон замини ўтказувчан ер бўлса, унинг тўғон олдидаги қисми сув ўтказмайдиган материаллардан қурилган ва понур деб аталувчи қопламага эга бўлади.

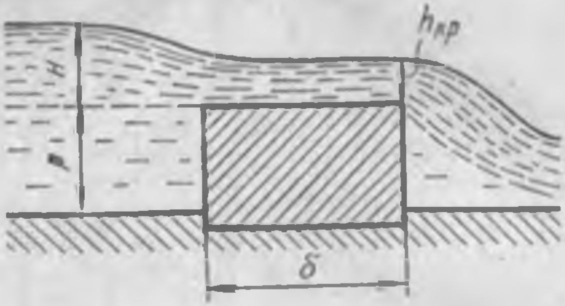
Бетон тўғонлар силжишга бардошлилиги асосида конструктив хусусиятларга қараб учта асосий турга ажралади гравитацион тўғонлар, аркасимон тўғонлар, контрофорсли тўғонлар. Бетон тўғонларда асосий масалалардан бири заминда сувнинг фильтрациясини камайтиришдан иборат. Шунинг учун баланд тўғонлар тубининг юқори чегарасида сизиб ўтишга қарши тўсиқ ўрнатилади. Заминнинг қолган қисмларида босимни камайтириш учун дренажлар қўлланилади. Бу эса тўғоннинг чидамлилигини оширади. Гравитацион ва контрофорсли тўғонлар температура таъсиридан ёриқлар ҳосил бўлишига қарши қисқа секцияларга ажратиб қурилади. Бетоннинг қотиш вақтида чўкишидан ёриқлар ҳосил бўлишига қарши тўғон айрим блоклардан қурилади.

Паст босимли, сувнинг катта сарфларини ўтказувчи, тоғсиз ерларга қурилган оқова новли тўғонлар ичида энг кўп тарқалганлари 6.7- расмда келтирилган.

105- §. Оқова новларининг турлари

Оқова новлар деб, озод сиртли оқимлардаги, устидан суюқлик оқиб ўтадиган сунъий тўсиқларга айтилади.

Оқова новлар гидротехник ва йўл қурилиш ишларида (оқова новли тўғонлар, сув ташлагичлар ва ҳ. к.) кенг қўлланилади ва суюқлик сарфини ўлчашда, гидрогеологик ва гидрометрик текшириш ишларида фойдаланилади. Улар турли белгиларига қараб классификацияланади.



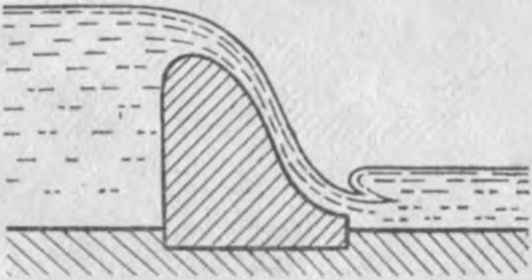
6.15-расм. Кенг остонали оқова нови.

Қуйилиш остонасини шаклларига қараб:

1) юпқа деворли ёки юпқа остонали оқова нов (6.14-расм);

2) кенг остонали оқова нов (6.15-расм). Бундай остонанинг устида параллел оқимчалар ҳосил бўлади;

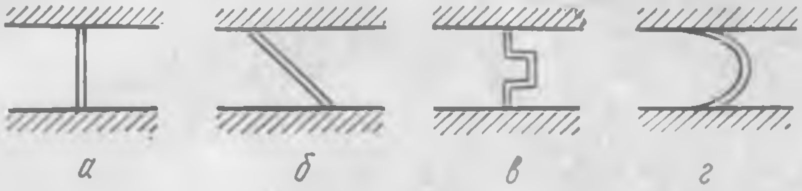
3) амалий профилли оқова нов (6.16-расм), улар юпқа остонадан оқиб тушаётган суюқликнинг қуйи сиртига мос шаклга эга бўлади.



6.16-расм. Амалий профилли оқова нови.

Оқимчанинг қуйи бъеф билан туташиш турига қараб, чўктирилмаган (қуйи бъефдаги сатҳ остона устки сиртидан пастда бўлса 6.14-расм) ва чўктирилган (айтилган сатҳ остона устки сиртидан юқори бўлса, 6.17-расм) оқова новларга бўлинади.

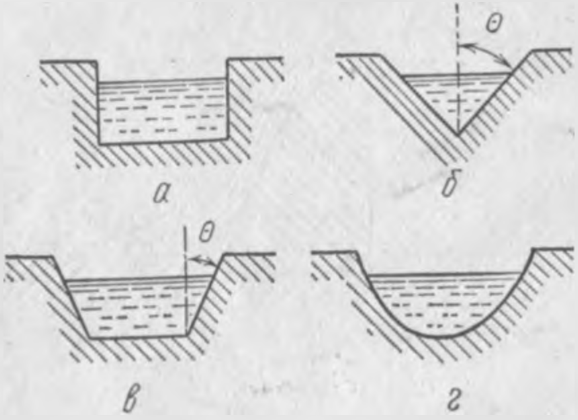
6.17-расм. Чўктирилган остонали оқова новининг схемаси.



6. 18-расм. *а*—тўғри чизиқли оқова нов, *б*—қийшиқ чизиқли оқова нов, *в*—синиқ чизиқли оқова нов, *г*—эгри чизиқли оқова нов.

Остонанинг тепадан кўринишига қараб, тўғри (6.18-расм, *а*), қийшиқ (6.18-расм, *б*), синиқ (6.18-расм, *в*) ёки эгри чизиқли (6.18- расм, *г*) оқова новларга бўлинади.

Оқова нов устки сиртининг кенглиги тушилган оқим кенглигидан кичик бўлса, тушувчи девордаги кесимнинг шаклига қараб тўртбурчак 6.19-расм, *а*), учбурчак (6.19-расм, *б*), трапециодаль (6.19-расм, *в*), пароболик (6.19-расм, *г*) кесимли новларга ажралади.



6. 19-расм. *а*—туртбурчак кесимли, *б*—учбурчак кесимли, *в* — трапециадал кесимли, *г* — параболик кесимли оқова новлар

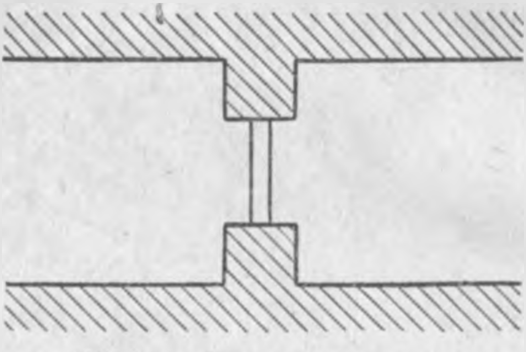
Ниҳоят, оқова нов кенглигининг унинг олдидаги оқим кенглигига нисбатига қараб, сиқилган ёки сиқилмаган новларга ажралади (6.20- расм).

106- §. Капсулли гидравлик куч қурилмасининг хусусиятлари

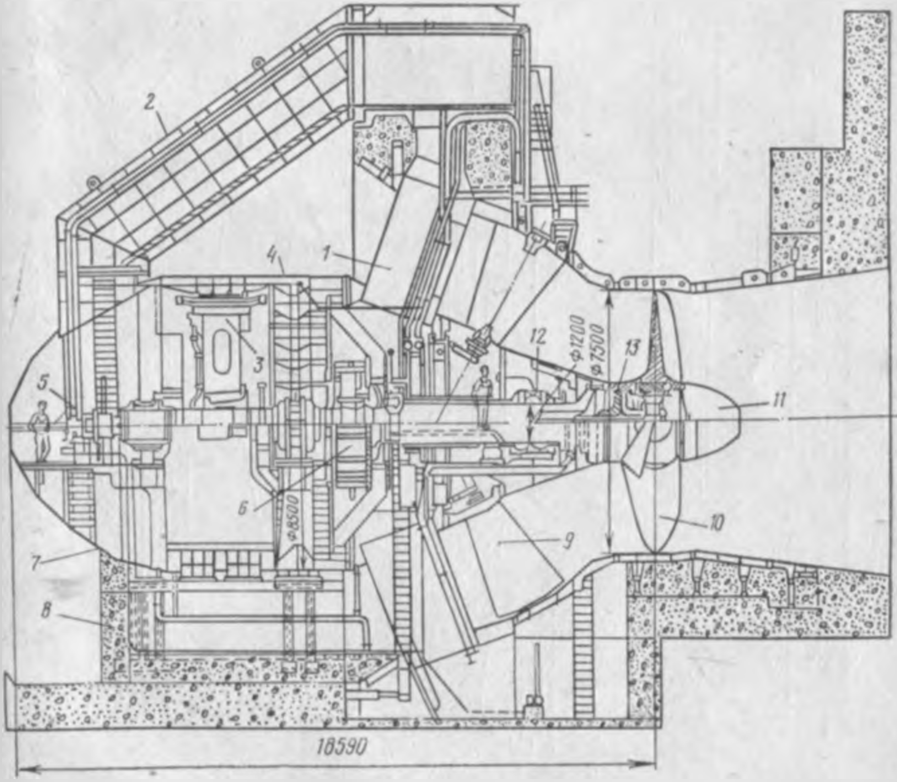
Кейинги вақтларда босим паст бўлган (10...15 м дан кам) ҳолларда горизонтал капсулли гидроагрегатлар кенг қўлланилмоқда. Бундай агрегатларда горизонтал ўқий турбиналардан фойдаланиб (6.21- расм), генератор чўктирилган ёпиқ суйри пўлат капсула ичига жойлаштирилган бўлади ва сувнинг кўтари-

лишидан ишлайдиган екп бошқа паст босимли (масалан, Киев, Канев, Кислогуб ва бошқа) ГЭСларда қўлланилади.

Капсулли агрегатларни қўллаш қуйидагиларга имкон беради:

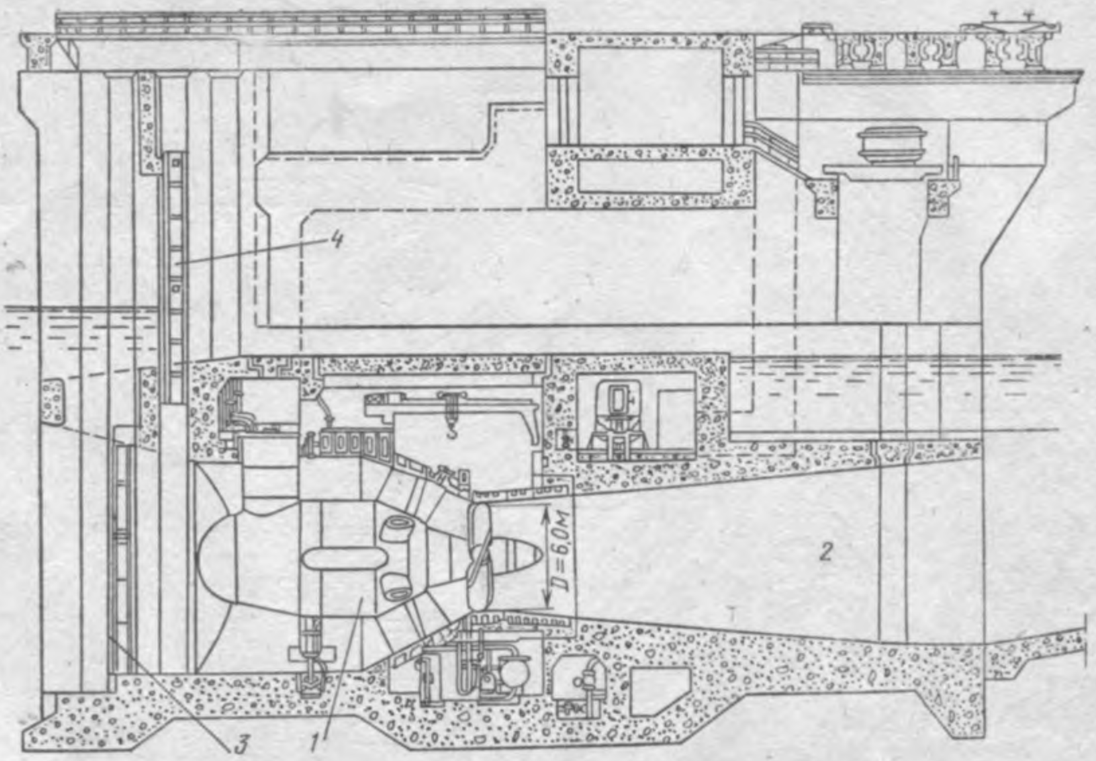


6. 20-расм. Сиқилган оқова нов



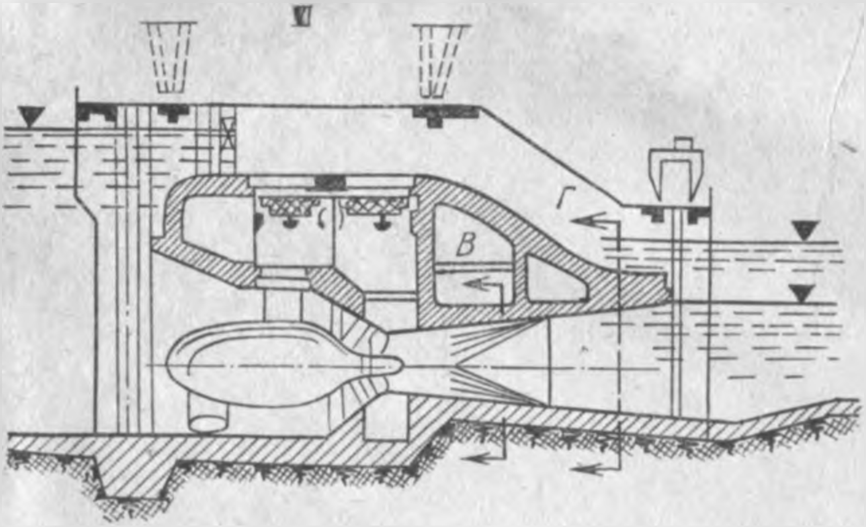
6 21-расм. Кислогуб ГЭСидаги капсулли куч қурилмаси схемаси:

1—турбинанинг иш ғилдираги, 2—турбина подшипниги 3—генератор, 4—мультифликатор, 5—мой насоси, 6—эластик муфта, 7—капсула, 8—фундамент, 9—мой трубаси, 10—обтекатель сиртига иссиқ ҳаво юбориш трубаси.



6. 22- расм. Киев ГЭСидаги капсулли куч қурилмаси:

1 — капсулли агрегат, 2 — сув ўтиш канали, 3—4 — гидроизоляция.



6. 23-расм. Капсулли гидравлик куч қурилмаси бор ГЭС биносидан сув ташлагич сифатида фойдаланиш.

а) ГЭС биносидан сув ташлагич сифатида ҳам фойдаланиш (6.22- расм);

б) ГЭС биносининг темир-бетон қисмларини соддалаштириб, йиғма темир-бетон элементлардан фойдаланиш мумкин;

в) қурилмадан ўтаётган оқимнинг йўлакай бурилишлари энг кам бўлади ва айниқса сўриш трубасида сув бурилишларсиз ҳаракат қилади.

Булар гидравлик йўқотишнинг камайишига ва катта сарфларда турбина ФИК нинг ортишига олиб келади. Натижада турбина шу диаметрли вертикал турбиналарга нисбатан 20...35% ортиқ қувват беради. Натижада горизонтал капсулли агрегатли ГЭС биноси худди шундай вертикал турбинали ГЭС га нисбатан паст босимлардан фойдаланишда 10...25% арзонга тушади.

Капсулли агрегатларнинг хоссаларидан яна бири, куракларнинг очилиши уларнинг бурилиш бурчаги α° га боғлиқ бўлган конуссимон йўналтирувчи аппаратларни қўлланишдан иборат. Йўналтирувчи кураклар капсула ичига жойлашган сервомоторлар ёрдамида бурилади.

Сувнинг кўтарилишидан ишлайдиган ГЭСларда битта ҳавзада сув сатҳи турли ерда турлича бўлишидан фойдаланилганлиги сабабли босимнинг ўзгариш чегараси жуда кичик бўлиб, Оқ денгизда 1 м дан 7 м гача боради. Бундай паст босимлар турбинанинг массив иш ғилдирагини тез айлантира олмайди. Шунинг учун турбина ва генератор валлари, генератор роторининг айланиш сонини турбинага нисбатан 5...10 марта орттириб берадиган махсус механизм (мультипликатор)лар орқали туташти-

рилади. Натижада генераторларни кучайтириш ҳисобига капсула диаметрини камайтириш мумкин бўлади. Мультипликаторлар мураккаб ва қиммат механизмлар бўлгани учун улар фақат бошқа имконият бўлмаганда қўлланилади.

Масалан Мозель (ФРГ) дарёсидаги босими 4—5 м бўлган гидроэлектр станциялар диаметри $D_1=4,6...4,8$ м ли турбина ва 87/750...67/750 айл/мин ли мультипликаторларга эга бўлган ва ҳар бири 3,5...4,6 мВт ли капсулали агрегатлар билан жиҳозлангандир.

[illegible] да турбинасининг диаметри $D_1=3,3$ м бўлган мультипликаторли ва 400 кВт қувватли капсулли агрегат Кислогуб электр станциясида ўрнатилган (6.23- расм).

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЕТ

1. [illegible] янг 1984 йил октябрь Пленуми материаллари. «Узбекистон», Т., 1984 йил.
2. План электрофикации [illegible] (доклад VIII съезду Советов Государственной комиссии по электрофикации России). М., Госполитиздат. 1955 й.
3. Жимерин Д. Г. Проблемы развития энергетики. М. Энергия. 1978 й.
4. Угинчус А. А.— Гидравлика и гидравлические машины. Харьков. 1966 й. Харьковск. Гос. университет.
5. Очеретенко Д. И.—Гидравлические и компрессорные машины. Маш. гиз. М. 1962 й.
6. Юфин А. П.— Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод «Высшая школа» М. 1965 й.
7. Губин Ф. Ф. Гидроэлектростанции. М—Л 1949 й.
8. Кривченко Г. И. — Гидравлические машины. М. Энергия. 1978 й.
9. Осипов П. Е. — Гидравлика и гидравлические машины. Легкая промышленность М. 1965 й.
10. Рабинович Е. З.— Гидравлика. изд. тех-теоретич. литературы. М. 1957 й.
11. Гейер В. Г., Думин В. С., Боруменский А. Г., Зоря А. Н.— Гидравлика и гидропровод «Недра» М. 1970 й.
12. Есьман И. Г. — НАСОСЫ. изд. Нефтяной и Горно-топливной литературы. М. 1954 й.
13. Семидуберский М. С. Насосы, компрессоры вентиляторы. «Высшая школа». М. 1974 й.
14. Гидротехника. Строительство (журнал) № 12 (1965 й.), № 9. (1977 й.)
15. Гидроэлектрические станки. Под редакции Губина Ф. Ф. и Кривченко Г. М. № 1. Энергия. 1980 й.
16. Савин Ю. М. Гидроаккумулирующие электростанции. М—Л. 1968 й.
17. Энергетика Мира (доклады X мировой энергетической конференции). М. Энергия. 1979 й...
18. Авакян А. Б., Шарапов В. А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. Энергия. М. 1958 й.
19. 50 лет Ленинского Плана ГОЭЛРО. под редакцией Непорожного П. С. Энергия. М. 1970 й.
20. Дойников Н. М., Турилов Г. П., Хамутов А. П. Машиношунослик. Т. «Уқитувчи», 1973 й.
21. Черняк О. В. Теплотехника ва Гидравлика асослари. Т. «Укитувчи, 1977 й.

УНДАРИЖА

боб. **Кириш** 4

1-§. Гидравликанинг ривожланиши ҳақида қисқача маълумотлар 4
2-§. Суюқлик механикаси ва гидравлик машиналарни яратишда ватанимиз олимларининг роли 5
3-§. ' халқ хўжалигида гидромашинасозлик, гидротехника ва гидроэнергетиканинг аҳамияти 7
4-§. Партия ва ҳукуматимизнинг халқ хўжалигини ривожлантириш тўғрисидаги қарорлари асосида гидромашинасозлик вазифалари 8
5-§. Суюқликлар тўғрисида асосий тушунчалар 9
6-§. Суюқликларнинг физик хоссалари. Бу хоссаларнинг температура ва босимга боғлиқлиги 9
7-§. Қовушоқлик, суюқликларда ички ишқаланиш ҳақида Ньютон гипотезаси 12
8-§. Қовушоқликни аниқлаш усуллари 14
9-§. Идеал суюқлик ва унинг хусусиятлари 16

-боб. **Гидростатика асослари**

10-§. Тинч турган суюқликка таъсир этувчи кучлар 17
11-§. Гидростатик босим ва унинг хоссалари 18
12-§. Босимни ўлчаш учун техникада ишлатиладиган турли бирликлар 19
13-§. Суюқликлар мувозанатининг дифференциал тенгламаси . 20
14-§. Гидростатиканинг асосий тенгламаси 21
15-§. Босими тенг сиртлар. Эркин сирт 22
16-§. Оғирлик кучи таъсирида тинч турган суюқликлар . . . 23
17-§. Суюқликларда босимнинг узатилиши. Паскаль қонуни . . 23
18-§. Паскаль қонунининг техникада қўлланилиши. Гидростатик машиналар 24
19-§. Абсолют, ортиқча босимлар ва вакуум 29
20-§. Пьезометрик баландлик. Гидростатик босим 30
21-§. Босим ўлчаш асбоблари 31
22-§. Суюқликнинг текис деворга босим кучи 34
23-§. Ортиқча босим марказининг вазиятини топиш 36
24-§. Босим эпюраси 36

25-§. Цилиндрик сиртга таъсир қилувчи босим кучи 37
26-§. Тулиқ босим кучини ва унинг йўналишини аниқлаш . . . 39

3-боб. **Техник гидродинамика асослари**

27-§. Гидродинамиканинг асосий масаласи ва услуби 40
28-§. Суюқликнинг барқарор ва беқарор ҳаракатлари . . . 41
29-§. Оқимчали ҳаракат ҳақида асосий тушунчалар. Оқим чизиги, оқим трубкаси ва оқимча 41
30-§. Ҳаракат кесими ва элементар оқимча учун суюқлик сарфи. 42
31-§. Суюқлик оқими, унинг ҳаракат кесимидаги сарфи ва ўртача тезлиги 44
32-§. Узлуксизлик тенгламаси 45
33-§. Идеал суюқлик оқимчаси учун Бернулли тенгламаси . . . 47
34-§. Бернулли тенгламасининг геометрик, энергетик ва физик хоссалари. Пьезометрик чизиқ 50
35-§. Реал суюқликлар элементар оқимчаси учун Бернулли тенгламаси 52
36-§. Секин ўзгарувчан ҳаракат. Йуқотишни ҳисобга олган ҳолда пьезометрик чизиқни қуриш 55
37-§. Гидравлик йўқотиш ҳақида тушунча. Гидравлик йўқотишнинг икки тури 57
38-§. Тезлик ва сарфни ўлчаш усуллари ҳамда асбоблари . . 58
39-§. Кавитация ҳодисаси 64
40-§. Суюқликнинг ламинар ва турбулент ҳаракати. Рейнольдс сони ва унинг критик қиймати 64
41-§. Гидродинамик ўхшашлик ҳақида тушунча. Гидродинамик ҳодисаларни моделлаш 67
42-§. Текис ва нотекис ҳаракат ҳақида тушунча 70
43-§. Гидравлик қияликлар 70
44-§. Босимли ва босимсиз ҳаракат 72
45-§. Цилиндрик трубада ламинар ҳаракат 72
46-§. Босимнинг камайишига ишқаланишнинг таъсири. Пуазейл формуласи 74
47-§. Турбулент оқимнинг таркиби 76
48-§. Тезлик пульсациялари. Маҳаллий тенглаштирилган тезлик. 77
49-§. Тенглаштирилган тезликларнинг кесим бўйича тақсимланиши. Чегаравий ламинар қабат 78
50-§. Турбулент ҳаракатда гидравлик йўқотишнинг табиати . . 80
51-§. Трубалардаги ҳаракат учун босимнинг пасайишига умумий формула 82
52-§. Ўткинчи зона 83
53-§. Ғадир-будурлик турлари, абсолют, нисбий ва эквивалент ғадир-будурлик ҳақида тушунча 85
54-§. Гидравлик йўқотиш коэффициенти учун формулалар ва уларнинг қўлланилиш соҳалари 86
55-§. Шези формуласи 88
56-§. Н. Н. Павловский формуласи 89

57- §. Трубаларда турбулент ҳаракат ҳақидаги таълимотнинг тараққиёти бўйича совет ва чет эл олимларининг ишлари . . . 89
58- §. Турбулент ҳаракатда босимнинг маҳаллий йўқолиши . . 90
59- §. Оқимнинг кескин кенгайиши (Борд теоремаси) 94
60- §. Трубаларнинг турлари 96
61- §. Узун содда трубаларни ҳисоблаш 97
62- §. Сарф характеристикаси. Пьезометрик чизиқ 101
63- §. Кетма-кет ва параллел уланган мураккаб трубаларни ҳисоблаш ҳақида тушунча 101
64- §. Тармоқланган трубалар ва уларни графоаналитик ҳисоблаш 105
65- §. Сифонларни ҳисоблаш 107
66- §. Суюқлик кичик тешикдан оқаётганда қаршилик, сиқилиш, тезлик ва сарф коэффициентлари 109
67- §. Оқимчанинг сиқилиш турлари. Суюқликнинг найчадан оқиши 112
68- §. Найчаларнинг турлари ва уларнинг гидравлик коэффициентлари 113
69- §. Гидравлик зарб ҳодисаси ва унинг фазаси. Н. Е. Жуковский — гидравлик зарб назариясининг асосчисидир 116
70- §. Н. Е. Жуковский формуласи 118
71- §. Тўғри ва нотўғри гидравлик зарб 119
72- §. Зарб босимини сусайтириш усуллари 120

-боб. **Гидравлик машиналар** 121

73- §. Насосларнинг ишлаш принципи, қўлланилиш соҳаси ва бажарадиган ишга қараб классификацияси 122
74- §. Поршенли насослар. Тузилиши ва ишлаш принципи . . . 123
75- §. Насоснинг босими, унумдорлиги (сўриш миқдори) . . . 126
76- §. Сўриш баландлиги 129
77- §. Насосларда энергия баланси, унинг ФИК ва бошқа параметрлари 130
78- §. Насос конструкцияларининг намуна схемалари 132
79- §. Бошқа тур ҳажмий насослар: шестерняли, коловоротли, винтли, плунжерли, диафрагмали насослар. Уларнинг қўлланиш соҳаси 137
80- §. Марказдан қочма насоснинг тузилиши 144
81- §. Иш ғилдираги назарияси асослари 147
82- §. Насос ишининг асосий кўрсаткичлари 152
83- §. Насосларнинг иш ва универсал характеристикалари . . 154
84- §. Ўқий насосларнинг тузилиши ва характеристикалари . . 155
85- §. Ўқий ва марказдан қочма насосларнинг қўлланилиш соҳалари 157
86- §. Саноатда қўлланиладиган насос қурилмаларига мисоллар. 159
87- §. Гидравлик узатмалар 163
88- §. Гидроузатмаларни ҳисоблаш принциплари 167
89- §. Гидроузатмаларнинг қўлланилиш соҳалари 170

5-боб. **Гидравлик двигателлар** 171

90-§. Гидротурбиналарнинг ишлаш принципи, босимнинг қиймати, суюқлик оқимининг йўналиш ва конструктив хусусиятларига қараб классификацияланиши 173
91-§. Гидротурбиналарнинг умумий тузилиши ва ишлаш процесси 174
92-§. Актив (чўмичли) гидротурбиналар, ишлаш процесси универсал характеристикалари ва ФИК 178
93-§. Реактив (марказга интилма, ўқий ва диогональ) турбиналар. Реактив турбиналарнинг иш процесси; характеристикалари ва ФИК 182
94-§. Кавитация ҳодисаси ва унга қарши курашиш усуллари . 188
95-§. Турбиналарни ростлаш принциплари 190

6-боб. **Гидравлик куч қурилмалари** 192

96-§. Гидроэнергетик ресурслар 192
97-§. ли электрлаштиришда гидроэлектр станцияларнинг роли 194
98-§. Гидроэлектр станциялар классификацияси 195
99-§. Машина зали туғон ёнида, туғон ичида ва тўғон ортида жойлашган электр 201
100-§. Шохобча каналли электр станциялар 205
101-§. Сувнинг кўтарилишидан ишлайдиган электр станциялар . 206
102-§. Гидроаккумуляцион электр станция (ГАЭС)лар 207
103-§. Гидроэлектр станцияларнинг асосий иншоотлари ва жиҳозлари 208
104-§. Тўғоннинг тузилиши 209
105-§. Оқова новларининг турлари 210
106-§. Капсулли гидравлик куч қурилмасининг хусусиятлари . 212

На узбекском языке

Латипов Кудрат
Иргашев Соат

ГИДРАВЛИКА И ГИДРОМАШИНЫ

1е издание

Учебное пособие для пединститутов

Ташкент „Ўқитувчи" 1986

Махсус муҳаррир *С. Йўлдошбеков*
Нашриёт муҳаррири *А. Аҳмедов*
Бадиий муҳаррир *Ф. Неккадамбоев*
Техн. муҳаррир *Т. Скиба*
Корректор *М. Тоирова*

№ 3274

Теришга берилди 10.12.85. Босишга рухсат этилди 15. 09. 86. Р-01758. Формати 60×90 1/16. Тип. қоғози № 3. Кегли 10 шпонсиз. Литературная гарнитураси. Юқори босма усулида босилди. Шартли б.л. 14,0. Шартли кр.-отт. 14,19. Нашр.л. 11,68. Тиражи 3500. Зак. № 330. Баҳоси 60 т.

«Ўқитувчи» нашриёти», 700129. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома № 11—132—85.

Ўзбекистон ССР нашриётлар, полиграфия ва китоб савдоси ишлари Давлат комитети Тошкент «Матбуот» полиграфия ишлаб чиқариш бирлашмасига қарашли 1-босмахона. Тошкент, Ҳамза кўчаси, 21. 1986.

Типография № 1 ТППО «Матбуот» Государственного комитета УзССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Ташкент, ул. Хамзы, 21.

Л 24

Латипов Қ., Эргашев С.
Гидравлика ва гидромашиналар: Уқув юрт. индустриал-педагогика фак. учун ўқув қўлл. — Т.: Ўқитувчи, 1986. 224 б.

1. I Автордош.

Латипов К., Иргашев С. Гидравлика и гидромашины: Учеб. пособие для пед—институтов.

30123+31.56я73

№ 739 — 86
Навоий номли УзССР
Давлат кутубхонаси
Тираж 12500
Карт. тиражи 3500

60 т.

«УҚИТУВЧИ»