

532

Қ14

К О С І Н Т І К

Б І Л І М



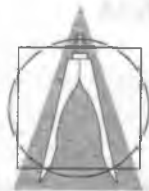
Ә. Қадырбаев, Ә. Қадырбаева

ГИДРАВЛИКА ЖӘНЕ ГИДРОМЕТРИЯ НЕГІЗДЕРІ

532
К14

К Ә С І П Т І К

Б І Л І М



Ә. Қадырбаев, Ә. Қадырбаева

УЗ

ГИДРАВЛИКА ЖӘНЕ ГИДРОМЕТРИЯ НЕГІЗДЕРІ

Оқу құралы

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі
кәсіптік бастауыш және орта білім беру
ұйымдарына ұсынады

КІТАПХАНАСЫ



«Фолиант» баспасы
Астана-2008

ББК 26. 222

Қ 14

Пікір жазған:

Куленов Ш.С. – техника ғылымдарының кандидаты,
профессор

Қ 14 Қадырбаев Ә., Қадырбаева Ә.

Гидравлика және гидрометрия негіздері: *Оқу құралы.*
– Астана: Фолиант, 2008. – 168-бет

ISBN 9965-35-470-7

Бұл оқу құралында сұйықтар және оның физикалық қасиеттері, гидростатиканың жалпы түсінігі, гидравликалық кедергілер, сұйықтың қозғалысы жайлы ұғымдар, сондай-ақ Паскаль, Архимед заңдары мен Бернулли, Эйлер теңдеулері келтірілген. Сонымен қатар су өлшеуші құралдар мен олардың түрлері жайлы мағлұматтар берілген.

Оқу құралы кәсіптік мектеп оқушылары мен колледж студенттеріне арналған.

Қ 1805040700
00(05)-08



ББК 26. 222

ISBN 9965-35-470-7

© Қадырбаев Ә.,
Қадырбаева Ә., 2008
© «Фолиант» баспасы, 2008

КІРІСПЕ

Арнаулы орта білімді қайта құру мемлекетіміздің қазіргі кезеңдегі аса маңызды міндеттерінің бірі болып есептеледі. Мемлекетіміздің әлеуметтік-экономикалық дамуын жеделдету болашақ мамандардың кәсіптік даярлығын түбірімен жақсартуды талап етеді. Олай болса, жоғары және арнаулы орта оқу орындарының студенттеріне арнап жаңа оқулықтар мен көмекші құралдарды және оқу-әдістемелік әдебиеттерді түсінікті, ғылыми тұрғыда жазу өте маңызды іс.

Осыған орай, арнаулы орта оқу орындарының болашақ инженер мамандарға арналған «Гидравлика» және «Гидрометрия» пәндерінен оқу құралы ретінде ұсынып отырмыз.

Бұл оқу құралы жоғарыда аталған пәндерді оқыту жоспары мен мемлекеттік стандарттық бағдарламасы бойынша, қазіргі кезде жүргізілетін теориялық, практикалық дәрістеме бойынша құрастырылып жазылған.

Бірінші бөлімде гидравликаның негізгі тараулары қамтылған. Олар: сұйықтар және оның физикалық қасиеттері, гидростатика (сұйықтық тепе-теңдігінің дифференциалды теңдеуі, Паскаль, Архимед заңдары), гидродинамика негіздерінде Бернулли теңдеулері, сұйықтық үзілмеушілік заңдары, Эйлер теңдеуі. Гидравликалық кедергілер, сұйықтық тегеурінді құбырдағы қозғалысы, сұйықтың ашық арнадағы қозғалыстары берілген.

Екінші бөлімде гидрометриядан деңгей өлшеуші, гидрологиялық постылардың жұмыс тәртібі туралы және негізгі өзен суын өлшеуші құрал-саймандардан мағлұмат берілді. Осы оқу құралының екінші тарауы соңында гидравликаның негізгі бөлімдерінен оқушы қауымға түсініктеме және бақылау сұрақтары келтірілген.

І БӨЛІМ. ГИДРАВЛИКА

1-тарау. ГИДРАВЛИКАНЫҢ ЗЕРТТЕУ ОБЪЕКТІСІ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІ

1.1. Сұйықтық туралы жалпы түсінік

Әр түрлі сұйықтардың табиғи жағдайы мен олардың қолдану шараларын қарастырған кезде қозғалу заңдылығымен қоса сұйықтың күш әсері мен жер бетіне немесе басқа заттардың бетіне тигізетін механикалық әсерін зерттейді. Осындай күрделі мәселелерді зерттеу кезінде бұл ілім ғылым ретінде қалыптасты да, оны гидромеханика гидравлика деп атайды.

Гидравлика деген сөз гректің су және құбырша деген сөзінен шыққан. Гидравлика әр түрлі сұйықтың тепе-теңдік жағдайы мен оның қозғалу (ағу) заңдылығын зерттейді де, осы заңның практикада түрлі инженерлік-техникалық есептеулер кезінде қолдану тәсілдері беріледі. Гидравлика мынадай негізгі бөлімдерден тұрады: гидростатика, кинематика және гидродинамика.

Гидростатика сұйықтың тыныштықта тұрғандағы тепе-теңдігі мен қатты дененің сұйыққа түгелімен немесе жартылай батқан кездегі сипатын зерттейді. *Кинематика* сұйық қозғалысының (ағынының) геометриялық көрсеткіші мен уақыт ішіндегі (жылдамдығы мен үдеуі) жағдайын зерттейді. *Гидродинамика* сұйық қозғалысының заңдылығын және оған түсетін барлық күш әсерімен бірге зерттейді.

Гидравлика мына пәндермен тығыз байланысты: физика, жоғарғы математика, теориялық механика, материалдар кедергісі ғылымдары, сонымен қатар сұйықтық ғылымы турбина жобалаудың, сұйық сорғыштың, басқа

да гидравликалық машиналардың, сумен қамтамасыз етудің, жер суландырудың және жер құрғату сияқты ғылым салаларының негізгі базасы болады. Барлық техника саласында гидравликалық қондырғылар пайдаланылады, олар да осы гидравлика заңын қолданады.

Гидравликаның зерттеу объектісі – сұйық, табиғатта сұйықтың 4 агрегатты күйі қатты, сұйық, газ түрінде және плазмалы болып бөлінеді. Сұйықтың негізгі қасиеттеріне өте төменгі температура мен жоғары қысым кезінде, қатты дене қасиетінде болатындығын (мұз), ал өте жоғары температура мен ең төменгі қысым кезінде газ түріндегі қасиетіне айнала алатындығын (бу) жатқызуға болады.

Сұйық дегеніміз – физикалық дене, оның бөлшектері өте қозғалғыш келеді де, аққыш және сыртқы күш әсерінен өзінің формасын өзгерте алатын қасиеті бар. Сұйықтар сығылатын (газ түрлі) және қысылмайтын немесе өте аз сығылатын (тамшылы) болып бөлінеді.

Сұйық қозғалысының заңдылығын зерттеуді жеңілдету үшін идеалды (қиялды) және реалды (нақтылы) сұйықтар деп екіге бөлінеді.

Идеалды (қиялды) – тұтқырсыз сұйық, бұл сұйықта үйкеліс күші мен жанама кернеу күші болмайды да, сыртқы күш әсерінен оның көлемі өзгермейді.

Реалды (нақтылы) – тұтқырлы сұйық, табиғатта кездесетін сұйық қысымымен температураның әсерінен көлемі өте аз өзгереді. Сондықтан гидравликада нақтылы сұйықты абсолютті сығылмайтын дене ретінде зерттейді.

Реалды сұйық Ньютондық және Бингемдік болып бөлінеді. Ньютон сұйығындағы қозғалысты сұйық бір қабатының екінші қабатына қарағандағы жанама кернеу (ішкі үйкеліс) оның жылжу жылдамдығына пропорционалды болады. Егер сұйық тыныштықта тұрса, бұл кернеу күші нөлге тең болады. Ньютон сұйығына су, май, бензин, керосин, глицерин, ауа газдары, т.б. жатады.

Бингем сұйығының ағысы өте баяу болады, Ньютон сұйығынан айырмасы – тыныштықта тұрған кезіндегі

бұл сұйықта жанама күші (ішкі үйкеліс) болады, әрі мұның шамасы сұйықтың түріне байланысты. Бингем сұйығына битум, балшықты лай, колоидтар, т.б. жатады. Ал мұнай өнімдері қатуға жақындаған температурадағы сұйыққа әсерін тигізетін ішкі және сыртқы күштер деп бөлінеді. Ішкі күш сұйықтың ішіндегі бөлшектердің байланыстығы, ал сыртқы күштерге сұйық бетіне түсетін күш және көлем болып келеді. Сұйық бетіне түсетін күштер (сығу, созу, үйкеліс күші, қысым) сұйықтың белгілі көлеміне бағытталған.

Көлемдік күштер (салмақ күші, инерциялық күш, электромагниттік күш) сұйық денесінің барлық көлеміне бірдей тарайды.

1.2. Сұйықтың негізгі физикалық қасиеттері

Сұйық денесінің массасының көлеміне қатынасын сұйық тығыздығы деп атайды.

$$\rho = M/V, \text{ кг/м}^3 \quad (1.1)$$

мұндағы, ρ – тығыздық, M – масса (кг), V – көлем (м^3). Сұйық тығыздығын ареометрмен өлшейді.

Біртекті сұйықтың меншікті салмағы деп сұйықтың салмағының көлеміне қатынасын айтады.

$$\gamma = G/V \text{ немесе } \gamma = \rho g, \text{ кг/м}^3 \quad (1.2)$$

мұндағы, G – сұйықтың салмағы, γ – меншікті салмақ, сұйықтың меншікті салмағының өлшем бірлігі 1 Н/м^3 , H дегеніміз – Ньютон күш бірлігі.

Температураның әсерінен сұйық көлемінің өзгеруі.

Температураның өсіп, өзгеруіне қарай, сұйықтың көлемінің өзгеруін көлемдік ұлғаю коэффициенті β_i арқылы бейнелейді.

$$\beta_i = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dt}, 1 \text{ град} \quad (1.3)$$

Қысымның әсерінен сұйық көлемінің өзгеруі.

Сұйық көлемінің қысымның әсерінен өзгеруін көлемдік сығылу коэффициенті β_c дейді.

$$\beta_c = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP} \text{ немесе } \beta_c = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dP}, \text{ см}^2/\text{кг} \quad (1.4)$$

Серпімділік модулі. Сұйықтың көлемінің сығылу коэффициентіне кері шаманы *серпінділік модулі* деп атайды, K таңбасымен белгілейді.

$$K = 1/\beta_c \text{ немесе } K = \rho \cdot dP/d\rho \quad (1.5)$$

Орташа есеппен практикалық жағдайда судың серпімділік модулі $K = 20,6 \cdot 10^8$, кг/мс², мұнай өнімдерінікі $K = 13,25 \cdot 10^8$ кг/мс².

Тұтқырлық. Әр түрлі жылдамдықпен аққан сұйықтың қос қабатының арасында болатын үйкеліс кедергіні тұтқырлық деп атайды немесе сұйықтың жанама кернеуге қарсы тұру қасиетін айтады, кейде сұйықтың ішкі үйкелісі деп те атайды. Сұйықтағы ішкі үйкеліс күштің барлығын тұңғыш рет айтқан И. Ньютон. Ол 1687 жылы келтірілген болжамын ішкі үйкеліс күші сұйықтың екі қабатының жанасу бетінің ауданы мен салыстырмалы жылдамдықтарына тура пропорционал болып өседі деп жорамалдаған. Ньютонның бұл болжамының дұрыстығын орыс ғалымы Н.П. Петровтың «Машинадағы үйкеліс және жоғалатын (майланатын) майдың әсері» деген жұмысы арқылы дәлелдеген. Тура бағытталған цилиндрлік құбыр бойымен баяу жылжыған сұйықтарды зерттеу арқылы мына формуламен тапқан:

$$T = \pm \mu \cdot \frac{du}{dn}, \quad (1.6)$$

немесе

$$\tau = \frac{T}{S} = \pm \mu \cdot \frac{du}{dn} \quad (1.7)$$

Мұндағы, T – үйкеліс күші; μ – сұйықтың қасиетін сипаттайтын тұтқырлықтың динамикалық коэффициенті; S – қабаттың жанасу бетінің ауданы; $\frac{du}{dn}$ – вертикаль бойынша есептелген жылдамдықтың градиенті; τ – су қабаттарының жанама үйкелу күшінің кернеуі. Практикалық есептерде көбінесе, тұтқырлықтың динамикалық коэффициенті мен сұйықтың тығыздығының қатынасына тең, сондықтан тұтқырлықтың кинематикалық коэффициенті қолданылады:

$$\nu = \mu/\rho, (1.8)$$

мұндағы, ν – тұтқырлықтың кинематикалық коэффициенті.

Беттік керілу (капиллярлылық). Жіңішке түтіктермен сұйықтың көтерілуі, төмен түсуі, оның капиллярлық қасиетіне байланысты. Сұйықтың капиллярлы түтіктермен көтерілуі, түтік қабырғасына жұғатын сұйықтарға, ал төмен түсуі түтік қабырғасына жұқпайтын сұйықтарға тән. Мысалы, шыныдан жасалған түтікке жұғатын су осы түтіктің бойымен жоғары көтеріледі де, бұл түтікке жұқпайтын сынап меншікті салмақ әсерінен төмен түседі. Сұйықтың капиллярлығы беттік керілу күшіне байланысты.

Гидравликалық үдерістердің көбінде, беттік керілу күшін өте аз шама болғандықтан қарастырмайды. Бірақ, капиллярлықтың жер астындығы немесе топырақ кеуектеріндегі судың қозғалысына тигізетін әсері өте зор. Сондықтан сұйықтың гидравликалық есептеулерінде капиллярлылық қасиетін есепке алу өте қажет.

Бақылау сұрақтары

1. Гидравлика дегеніміз не және оның негізгі мақсаты?
2. Сұйықтар дегеніміз не және олардың түрлері.
3. Идеалды және реалды сұйықтарды қалай түсінесіз?

4. Сұйықтың негізгі физикалық қасиетіне анықтама беріңіз: меншікті салмаққа, меншікті көлемге, температурада ұлғаюына, сығылғыштығына, тұтқырлығына (меншікті үйкеліс күшіне, кинематикалық тұтқырлық коэффициентіне).

5. Вискозиметр не үшін қажет?

Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3

Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3
Қызыл оқушының жауындауы: 1. 3

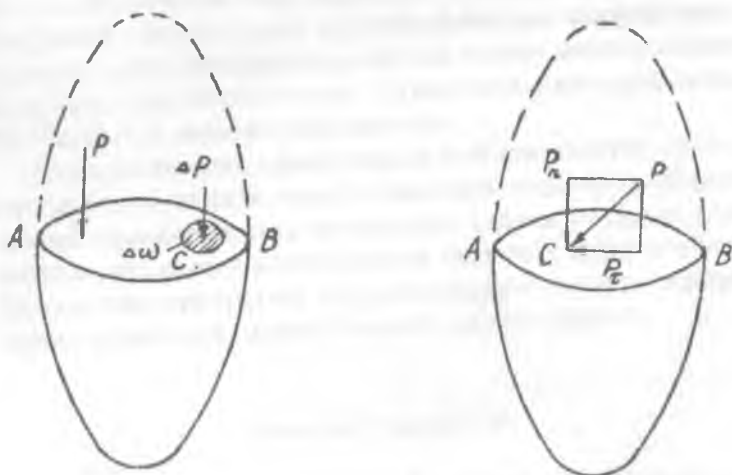


2-тарау. ГИДРОСТАТИКА

2.1. Гидростатикалық қысым

Гидростатика – гидравликаның негізгі бір бөлімі, ол сұйықтың тепе-теңдігі мен қатты дененің түгелімен немесе жартылай батқан кездегі сипатын зерттейді. Тыныштықта тұрған сұйықтың жанама күш – кернеуі нөлге тең болады да, оған нормалы күш – кернеуі әсерін тигізеді (оның салмақ күші).

Гидростатиканың негізі болып, сол нүктедегі сұйықтың тыныштық күйіндегі гидростатикалық қысымы есептеледі, ол P таңбасымен белгіленеді. Тыныштықтағы сұйықтың гидростатикалық қысымын P скалярлық шама деп атайды, ол сол нүктедегі кернеу модуліне тең $P = (\delta)$ болады.



2.1, 2.2-сурет

Мысалы, 2.1, 2.2-суреттердегі қарапайым тамшыны алайық, оны ортасынан кесіп оған элементарлы нүктедегі $\Delta \omega$ ауданша өте кішкене күш әсерін тигізеді. ΔP , онда гидростатикалық қысым сұйықтың сол нүктесінде:

$$P = \lim \frac{\Delta P}{\Delta \omega} \quad (2.9)$$

немесе

$$P = \lim \frac{dP}{d\omega} \quad (2.10)$$

онда гидростатикалық қысым ішкі күшке айналады.

Егер, $\rho = \text{const}$ болғанда, тепе-теңдік күйіндегі сұйықтың қай нүктесі болса да сыртқы күшті былай табады:

$$P = \rho \int (x dx + Y dy + Z dz) \quad (2.11)$$

мұндағы, x, y, z – сыртқы күштің тигізетін әсерінен белгілі координатадағы үдеу күшінің кескіні. Егер сұйық өзінің салмағымен тепе-теңдік жағдайында болса, оның проекцияда өзінің салмақ күшіне тең болса,

$$x = 0; y = 0; z = -z \quad (2.12),$$

онда былай жазылады:

$$\rho + z = \text{const} \text{ немесе } p/g + z = \text{const}, \quad (2.13).$$

А нүктесінің сұйық ішіндегі координатасы, немесе су бетінен А нүктесіне дейінгі тереңдік қысымының бірлік энергиясы. Сұйықтың А нүктесіндегі салмақ күшінің әсерінен тепе-теңдік күйіндегі гидростатикалық қысымы немесе гидростатиканың негізгі теңдеуі:

$$P_{acc} = P_0 + \gamma h, \quad (2.14)$$

мұндағы, P_0 – сырттан түсетін қысым; γ – артық қысым; h – тереңдік өлшемі. Бұл формула тыныштықтағы тұрған

сұйықтың тепе-теңдік күйіндегі қысым тереңдігі артқан сайын, бөлініп таралу заңдылығын көрсететін гидростатиканың негізгі теңдеуі деп атайды.

Қысым өлшемдері: Н/м^2 ; кгс/см^2 немесе $1 \text{ кгс/см}^2 = 1 \text{ атм} = 98066,5 \text{ Н/м}^2$, өте жоғары қысым меганьютонмен (МН/м^2) есептелінеді. Кейде мына өлшем де қолданылады: $1 \text{ бар} = 105 \text{ Н/м}^2$.

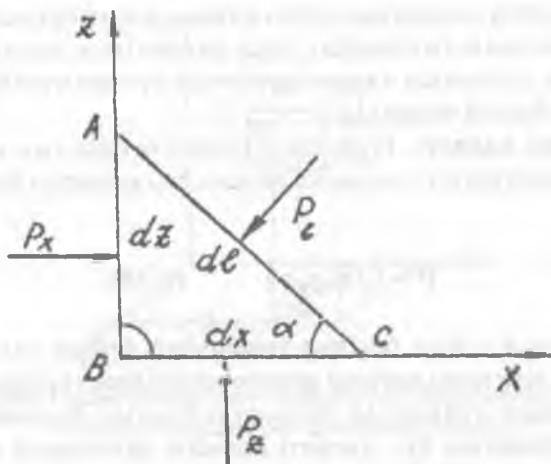
2.1.1. Гидростатикалық қысымның қасиеттері

Гидростатикалық қысым негізгі үш қасиетімен сипатталады.

Бірінші қасиеті. Сұйық бетіне түсетін гидростатикалық қысым әр уақытта ішкі нормамен $A - B$ бетіне бағытталған (2.3-сурет).

Тыныштықта тұрған сұйық гидростатикалық қысым H нүктесіне көлбеу бұрышпен түседі, ол кезде түсетін күш екі құраушыға ажыратылады: нормалы P_n және жанама P_t $A - B$ бетіне. Жанама құраушы күш, бұл тең әсерлі үйкеліс күші берілген C нүктесі айналасында болады, бірақ сұйық тыныштықта тұрғандықтан үйкеліс күші болмайды, яғни $P_t = 0$. Демек, гидростатикалық қысым күші P , C нүктесіне түсетін тек қана P_n бағытында болады, яғни $A - B$ бетіне нормалы түседі. Сонымен гидростатикалық қысым күші әр уақытта сығушы, яғни сұйықтың ішіне қарай бағытталған.

Екінші қасиеті. Сұйықтың гидростатикалық қысымы қай нүктесіне болсын барлық бағытта бірдей таралады. Гидростатикалық қысымның бұл қасиетін дәлелдеу үшін, тыныштықта тұрған сұйықтың тік бұрышты ұшбұрышты призмалы түрін бөліп алып $A - B - C$. Призма қабырғасына (1.3-сурет) сұйықтың сырттан тигізетін әсерін мына гидростатикалық қысыммен алмастырамыз:



2.3-сурет. Гидростатикалық қысым қасиетін дәлелдеуге арналған сызба

Тік қабырғаға $A - B$; P_x горизонталды қабырғаға $B - C$. P және көлбеу қабырғаға $A - C$; P_e .

Призмаға бұлардан басқа да салмақ күш әсері түседі, dG призmanın салмағына тең: $\gamma dz dx / 2$. Сұйықтың тыныштық күйінде тепе-теңдік болуынан барлық күштердің проекциядағы суммасы барлық бағыттағы түсуі нөлге тең, яғни

$$\begin{aligned} \sum x = 0 \quad P_x dz - P_e d_e \sin \alpha &= 0 \\ \sum z = 0 \quad P_e dx - P_e \cos \alpha - \gamma dz dx / 2 &= 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Табамыз:

$$P_x = P_e + \gamma dz / 2 \quad (2.16)$$

Егер призmanın қырлары (қабырғалары) шексіз кеми берсе, ақырында ол нүктеге айналады, гидростатикалық қысым сол нүктеге түседі де әр түрлі бағытта болады, яғни $P_x = P_z = P_e$ (1.17). Сондықтан көлбеу жазыққа түсетін қысым P_e шама жағынан тік қабырғаға түскен P_z және горизонталды қабырғаға түскен P_x күшке тең бола-

ды да, көлбеу жазықтың ойша алына салған бұрышы ешқандай әсерін тигізбейді, бұл қасиетінің дәлелденуі бойынша сұйықтың қандай нүктесіне түскен күш барлық бағытқа бірдей тарайды.

Үшінші қасиеті. Нүктедегі гидростатикалық қысым оның кеңістіктегі координатасына байланысты болады, яғни:

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

Нүктенің сұйық бетінен тереңдеген сайын гидростатикалық қысымы артады немесе керісінше тереңдігі кеміген сайын сұйықтың гидростатикалық қысымы кемиді. Сұйықтың бұл қасиеті арнайы дәлелдеуді қажет етпейді.

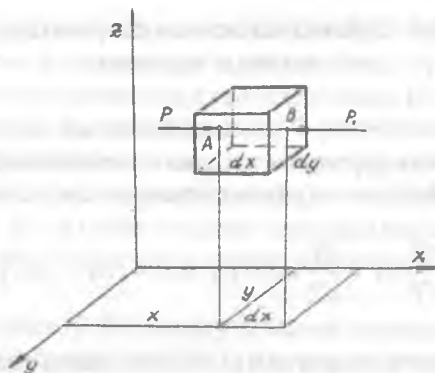
2.2. Сұйықтың тепе-теңдігінің дифференциалды теңдеуі (Эйлер теңдеуі)

Тыныштық қалпындағы сұйықта қысымның таралу заңын анықтау үшін салыстырмалы тыныштықтағы сұйықтың жалпы тепе-теңдік жағдайын қарастырамыз. Ол тыныштықта тұрған сұйықтың ішіндегі шексіз өте кішкене шамадағы параллелепипедті алып, оның қабырғаларын dx , dy , dz деп белгілеп, (2.4-сурет) параллелепипедтің сыртқы қабырғасына түсетін сұйықтың әсерін гидростатикалық қысыммен алмастырамыз. Қаралап отырған параллелепипед мына сыртқы күштердің әсерімен тепе-теңдік жағдайда болады:

а) параллелепипедтің қабырғаларына перпендикуляр болып бағытталған айналадағы сұйықтың жазықтық күші деп аталатын қысым күші;

ә) сұйықтың әр бөлшегіне әсер ететін масса немесе көлемдік күштер.

Онда параллелепипедтің сол жақ қабырғасына түсетін сұйықтың қысым күші A нүктесіне түсетін гидростатикалық күшті қабырға ауданының көбейтіндісіне тең болады:



2.4-сурет. Сұйықтың тепе-теңдігінің дифференциалды теңдеуін шығаруға арналған сызба

$$P = p \cdot dy \cdot dz \quad (2.19),$$

ал оң жақ қабырғаға түсетін қысым күші:

$$P = -(P + \frac{dP}{dX} \cdot dx) dy dz \quad (2.20)$$

Сол жақ қабырғаға түсетін қысым күші OX осімен бағытталғаны болып, ол - оң жақтағы қабырғаға түскен күш, керісінше бағытталған, сондықтан оның таңбасы - теріс. OX осіндегі көлем күшінің проекциясы осындағы dx, dy, dz - параллелепипедтің массасы параллелепипедке түсетін барлық күштердің X осіндегі проекциясының жинаған және осы суммасын нөлге теңеп табамыз:

$$P dy \cdot dz - (P + \frac{dP}{dX} \cdot dx) dy dz + \rho dx dy dX = 0 \quad (2.21)$$

$$\text{Бұдан: } X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

Осы теңдеу сияқты y және z шамаларын табады. Онда:

$$Y - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx} = 0 \quad \text{және} \quad Z - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dZ} = 0 \quad (2.22)$$

Сұйықтың тепе-теңдік дифференциалды теңдеуін 1755 жылы Л.Эйлер есептеп шығарған.

2.3. Сұйықтың жазықтық бетінің тепе-теңдік қысымы

Негізгі мәліметтер P қысым шамасын табу үшін оның координаттағы үш дербес қолданысының теңдеуін тиісті dx, dy, dz , көбейтіп олардың қосындысын былай жазады:

$$\frac{dP}{dX} dx + \frac{dP}{dY} dy + \frac{dP}{dZ} dz = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \quad (2.23)$$

Шығарылған теңдеудің (1.24) сол жағы толық дифференциал dP , неге десеңіз гидростатикалық қысым да, ол координатаның функциясы x, y, z яғни:

$$dP = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \quad (2.24)$$

Бұл формуланы гидростатикалық қысымның дифференциалды түріндегі негізгі теңдеуі деп атайды.

Теңдеудің (1.23) оң жағы да, (жақша ішіндегі) толық дифференциалды потенциалды функциядағы $\Pi(x, y, z)$, бұлардың дербес туындылардың координаталары x, y, z тиісті бірлік массалық күштердің $x \cdot 1, y \cdot 1, z \cdot 1$ проекциясына тең. Онда (1.23) теңдеуді былай жазуға болады:

$$dP = \rho \left(\frac{d\Pi}{dX} dx + \frac{d\Pi}{dY} dy + \frac{d\Pi}{dZ} dz \right) \quad (2.23)$$

немесе

$$dP = \rho d\Pi \quad (2.24)$$

Теңдеу (2.24) интегралды табамыз:

$$P = \rho \Pi + c,$$

мұндағы, c – ойша алына салған тұрақты интеграл саны.

Жазық беттің тепе-теңдік қысымының теңдеуі үшін $P = \text{const}, P \neq 0$ болған жағдайда, $dP = 0$, онда:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0, \quad (2.25).$$

Бұл теңдеуді сұйықтың жазық бетінің тепе-теңдік немесе тұрақты қысымы деп атайды. Енді бұл теңдеудің жиі кездесетін жағдайын қарастырамыз. Бұл теңдеудің үш жағдайдағы қасиеті бар.

Бірінші жағдайда – тыныштықта тұрған сұйыққа бір ғана сыртқы күштің әсері тиеді, ал салмақ күші онда $X = 0, Y = 0, Z = g$ (ерікті құлау үдеуінің бағыты Z осінің оң шамасымен бағыттас болмай, керісінше болғандықтан (-)).

Бұл жағдайда (2.25) теңдеуін былай жазамыз: $-gdz = 0$ немесе $z = c = \text{const}$, яғни жазықтың тепе-теңдік қысымын табамыз, олар өте көп горизанталды жазықтан тұрады. Әрбір C шамасына сәйкес жазықтықты алып, ол жазықтағы нүктеге белгілі тұрақты қысымның шамасы болып есептелінеді.

Ерікті жазықтық – сұйықтың жазықтық беті мен газ тәрізді ортадағы шекарасы. Сұйықтың ерікті жазықтық бетіне тұрақты қысым түсіп тұрады, ол атмосфералық қысымға тең болады.

Теңдеу (2.23) сұйықтың салмақ күші әсеріндегісін былай жазады:

$$dP = -\rho g dz.$$

Мұны интегралданғаннан кейін және ρg бөліп:

$$\frac{P}{\rho g} + z = c = \text{const} \quad (2.26)$$

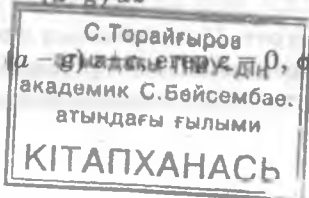
Бұл теңдеуді *гидростатиканың негізгі теңдеуі* деп атайды.

Егер сұйық жабық ыдыстың ішінде болса және ол тік қозғалыстағы үдеуін a деп белгілеп, оның массалы күшінің үдеуінің проекциясы мынаған тең:

$X = 0, Y = 0, Z = a - g$, онда теңдеу (2.23) былай өрнектеледі:

$$dP = (a-g) dz$$

мұны интегралдап, $P = \rho (a-g)z + C$, онда $P = P_0 = C$ болады.



Егер сұйық бетінен төмендегі нүктенің тереңдігі $h = -z$ болса, онда:

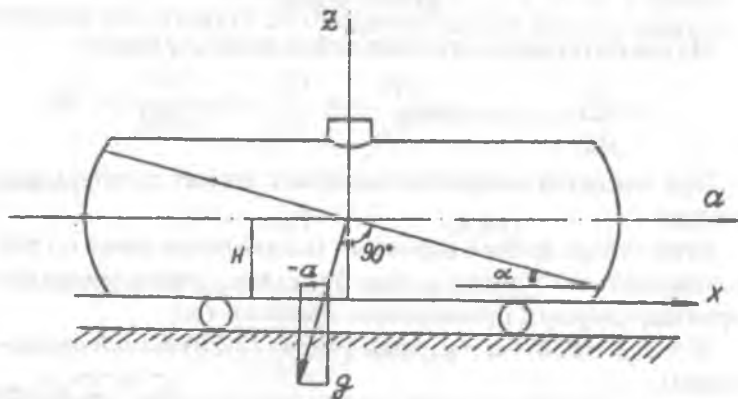
$$P = P_0 + (g - a) \cdot h \quad (2.27).$$

Ыдыстағы сұйықтың төмен қарай қозғалысының үдеуі немесе оның үдеуінің a бәсеңдеуімен инерция күші q дененің еркін құлау үдеуінің әсерін кемітеді және тыныштықта тұрған ыдыстағы сұйыққа қарағанда оның қысымы кем болады. Егер $a = q$, онда сұйық салмақсыз болады, яғни сұйықтың барлық нүктелерінде $P = P_0$.

Ыдыстағы сұйықтың төмен қарай қозғалысының кемуі, ал жоғары қарай – үдеу шамасы a теріс белгіде (минус) болады да, сұйықтағы қысым қозғалмайтын резервуардағы сұйыққа қарағанда артық болады, яғни:

$$P = P_0 + \rho (g + a)h, \quad (2.28).$$

Екінші жағдайда – сұйықтың жазықтық бетінің тепе-теңдік қысыммен келбеу жағдайда болуы. Мысалы, теміржол цистернасындағы бензиннің еркін жазық беті оның қозғалысының үдеуін a белгілейміз (2.5-сурет).



2.5-сурет. Цистернаның бір қалыпты тік үдеулі қозғалысы мен сұйықтың салыстырмалы тыныштықтағы күш әсері

Бұл жағдайда сұйықтың бірлік массасы салмақ күшінің әсерінде болады, $Z = -1g$ және горизанталды үдеудегі инерциясы күші $X = -1 : a$ (цистерна a үдеуімен жылжыса, ондағы сұйыққа сондай шамадағы инерция күші үдеуімен a керісінше әсер етеді).

Теңдеудегі массалық күштің құраушылары мына мағынада болады:

$X = -a; y = 0, Z = -g$, онда еркін жазықтың бетінің теңдеуі былай жазамыз:

$$-adx - gdz = 0 \quad \text{немесе} \quad \frac{dz}{dx} = -\frac{a}{g} = \text{const} \quad (2.29)$$

Теңдеуді интегралдағаннан кейін: $-ax - gz = c$

Егер $x = 0, z = H; c = -gH$, онда

$$z = H - \frac{a}{g} \cdot x \quad (2.30)$$

Жоғарыдағы айтылғанға қарағанда, цистернадағы бензиннің еркін жазықтық беті мына көлбеу бұрышпен өлшенеді:

$$\alpha = \arctg \left(-\frac{a}{g} \right)$$

Онда теңдеу (2.23) былай жазылады:

$$dP = -\rho(adx + gdz)$$

Бұл теңдеуді интегралдағаннан кейін, цистернадағы бензиннің қай нүктесіндегі қысымның бөлінуін мына формуламен табады:

$P = -\rho ax - \rho gx = c$, егер $x = 0, z = 0, C = P_0 = \rho gH$, онда

$$P = \rho H - ax - \rho gz = \rho [g(H - Z) - ax] \quad (2.31)$$

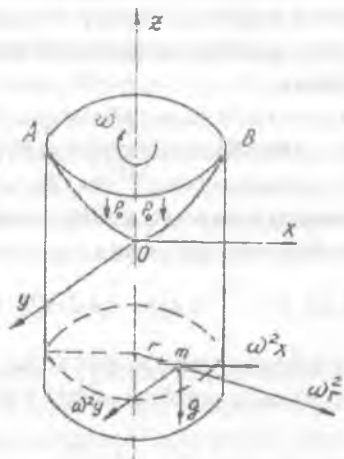
Бұл формуладан (2.31) көрінгендей, ең жоғарғы қысым $Z = 0$ нүктесінде x максималды кері шамасы болады.

Үшінші жағдай. Бұл жағдайда сұйықтың ашық цилиндрлі ыдыста өзінің осінен тұрақты тыныштық жыл-

дамдықпен ω айналады (2.6-сурет) күші, $G \pm 1g$ әсерін тигізеді, Z осінен параллел болып және ортадан тепкіш күш

$$F = 1 \frac{v^2}{r} = \left(\frac{\omega}{r} \right)^2 = \omega \cdot r$$

бұл z осіне перпендикуляр болып түседі.



2.6-сурет. Беті ашық ыдыстың өз осімен тік айналғандағы сұйықтың беті

Тең әсерлі массалы күштердің X, Y, Z проекциясының x, y, z , осіне түсуін анықтаймыз:

$$X = \omega^2 \cdot r \cdot \cos(r, \wedge x) = \omega^2 r \frac{x}{r} = \omega^2 x;$$

$$Y = \omega^2 \cdot r \cdot \cos(r, \wedge y) = \omega^2 r \frac{y}{r} = \omega^2 y \quad (2.32)$$

$$Z = -g$$

Осы шамаларды 2.23 теңдеуге қойып табамыз:

$$dP = \rho (\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz)$$

осы теңдеуді интегралдап табамыз:

$$P = \rho \left(\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} - g z \right) + c \quad \text{немесе}$$

$$P = \rho \left(\frac{\omega^2 \cdot r^2}{2} - gx \right) + c$$

мұндағы, $r^2 = x^2 + y^2$ болады.

Егер $x = y = z = 0$, $P = 0$, және $C = 0$, онда

$$P = \rho \left(\frac{\omega^2 \cdot r^2}{2} - gx \right) \quad (2.33)$$

болады.

Бұл теңдеуден (2.33) байқағанымыз: ыдыстың айналу кезінде ең жоғарғы қысым оның түбіндегі нүктеде және ыдыстың жақтау қабырғасында болады. Еркін жазықтық теңдеуін ($P = 0$), былай табады:

$$Z = \frac{\omega^2 r^2}{2g},$$

яғни $P \neq 0$. Суреттегі қисық сызық $A - O - B$ парабола, ал сұйықтың еркін жазықтағы айналып тұрған параболоид.

2.4. Гидростатиканың негізгі заңының геометриялық және физикалық сипаттамасы

Гидростатиканың негізгі заңын (2.26) толық қарастыралық. Ондағы $\rho g = \gamma$ алмастырылып және интегралдаудың тұрақтысын былай табамыз:

$$C = \frac{P}{\gamma} + z_0$$

егер $P = P_0$ және $Z = Z_0$, онда гидростатикалық негізгі теңдеуін A және B нүктелері үшін:

$$Z + \frac{P}{\gamma} = z_0 + \frac{P_0}{\gamma} \text{ немесе } P = P_0 + \gamma(z - z_0), \quad (2.35)$$

Сұйық бетінен төмен орналасқан A нүктесі үшін негізгі гидростатикалық теңдеуі былай жазылады. $P = P_0 + \gamma h$, (2.35) мұндағы, P – толық немесе абсолютті қысым $- P_{abs}$; γ – салмақты қысым, бірлік аудандардағы h – тереңдігі, Z және Z_0 – оймен алына салған салыстырмалы $0 - 0$ жазықтықтан A және B нүктесіне дейінгі геометриялық биіктік, оны *салыстыру жазықтығы* деп атайды; P/γ және P_0/γ – биіктік, A және B нүктелеріндегі гидростатикалық қысым. Z және P_0/γ шамасын гидравликада геометриялық және пьезометрлік биіктік немесе геометриялық және пьезометрлік тегеурін деп атайды. Геометриялық және пьезометрлік екі биіктіктің қосындысын толық *гидростатикалық биіктік* деп атайды:

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} = Z_0 + \frac{P_0}{\gamma} = const \quad (2.36)$$

Бұл теңдеу бойынша тепе-теңдік қалпындағы біртекті сұйықтың барлық нүктелерінде геометриялық және пьезометрлік биіктіктердің қосындысы тұрақты шама болып саналады. Гидростатиканың негізгі теңдеуінің (2.28) графигі есептеу жазықтығын H биіктігімен параллель болып жүргізілген көлденең жазықтық ($0-0$) болып бейнеленеді.

Осы есептеу жазықтығынан H биіктігінде жатқан көлденең жазықтықты *тегеурін жазықтығы* деп атайды. Егер сұйықтың еркін бетіндегі қысым атмосфера қысымына тең болса, тегеурін жазықтығы сұйықтың еркін бетімен бірдей болады.

Физикалық тұрғыдан қарағанда гидростатиканың негізгі теңдеулерінің мүшелерінің ($H = Z_0 + P_0/\rho g$) қосындысы мен g үдеуінің көбейтіндісіне тепе-теңдік қалпындағы сұйықтың меншікті потенциалды энергиясы деп есептейді. *Меншікті потенциалды энергия* деп потенциалды энергияның сұйық массасына қатынасын айтады. Мысалы, gz – сұйықтың жер жағдайындағы биіктігінің меншікті энергиясы; ал $g \cdot P/\gamma = P/\gamma = p/\rho$ – сұйықтың қысымының *меншікті энергиясы* деп атайды.

Теңдеу (2.35) гидростатикалық қысым P сұйықтың қай нүктесінде және қандай тереңдігінде болсын, еркін бетіне түскен сыртқы қысым P_0 байланысты болады, яғни тыныштықта тұрған сұйықтың еркін бетіне сырттан түсетін қысым күшінің әсері, сұйықтың ішіндегі қай нүктесі болсын ешбір өзгеріссіз тартылып беріледі. Міне, бұл – тәжірибе түрінде табылған Паскаль заңының негізгі тұжырымдамасы.

2.5. Гидростатикалық қысымды өлшеу құралдары

Қысымның мынадай түрлері ажыратылады: барометрлік, абсолютті, манометрлік және вакуумметрлік. Барометрлік қысым (кейде атмосфералық) P_0 белгілейді, бұл теңіз бетінің қандай биіктігіне және ауа райының жағдайымен тығыз байланысты болады. Нормалы барометрлік қысым 760 мм сынап бағанасына тең, яғни $101\,325\text{ Н/м}^2$. Биіктігі өскен сайын қысым кему береді: мысалы, теңіз деңгейінен 1000 м биіктікте нормалы қысымның 10 0/0-ге, 2000 м биіктікте 20 0/0-ге кемиді. Абсолюттік қысым $P_{\text{абс}}$ гидростатиканың негізгі теңдеуі арқылы табылады:

$$P_{\text{абс}} = P_0 + \rho gh$$

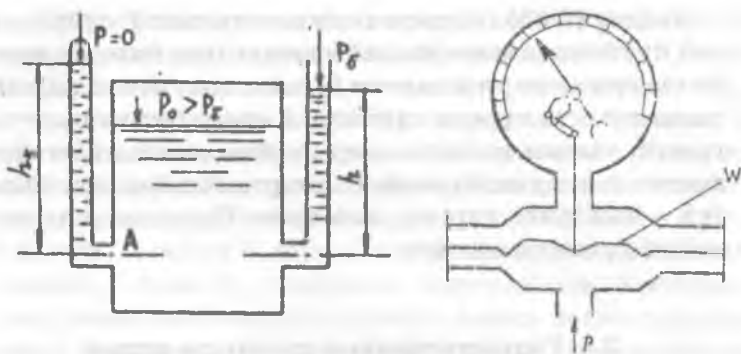
Егер сұйықтың ашық бетіне тіке ғана барометрлік қысым түссе, онда

$$P_0 = P_0 \text{ және } P_{\text{абс}} = P_0 + \rho gh, P = P_{\text{абс}} - P_0 = \rho gh \quad (2.37).$$

Бұл формуланы манометрлік немесе артық қысым дейді, егер $P_{\text{абс}} > P_0$, немесе $P_{\text{абс}} < P_0$, шама вакуумметрлік қысым деп аталады да, $P_{\text{вак}} = P_0 - P_A$ (2.38) болады.

Манометрлік қысымды сұйық немесе серіппелі манометрмен өлшейді.

Ыдыстағы сұйықтың қысымын сұйықты манометрмен өлшейді, кейде мұндай аспапты *пьезометр* деп атайды (2.7-сурет).



2.7-сурет. Сұйықты манометр

Сынапты манометр (2.8-сурет) қысымды өлшеу кезінде жиі қолданылады. Сұйық ішіндегі екі нүктенің қысым айырмашылығын табу үшін (мысалы екі ыдыстағы немесе бір құбыршаның) түтік (ішіндегі тек әр түрлі нүктедегі) арқылы, дифференциалды манометр қолданылады.

Серіппелі манометрлер мембраналы және түтікшелі болып бөлінеді. Мембраналық манометрдің негізгі бөлшегі ирек-ирек (V) мембрана. Қысым өлшеу кезінде, барометрлік қысымнан артық болса, V мембрана майысады да, көрсеткіш межелік (шкала) қозғалады. Түтік манометрдің жұмыс істеу тәртібі негізгі бөлшегі – түтік (R), қысым артқанда түтік жазылыңқырайды да нұсқар (стрелка) жылжиды (2.8-сурет).



2.8-сурет. Пластинкалы манометр

Вакуметрлік қысымды вакуметрмен өлшейді. Өте көп тараған түрлері: сұйықты және серіппелі түрлері. Сұйықты вакуметр – түтікшесінен тұрады, ол вакуметрлік қысым өлшегіш ыдыспен жалғасқан (S), ал басқа бөлігі (түтікшенің) ыдыстағы тығыздығы белгілі сұйықпен жалғасқан.

T – түтікшесіндегі, K – нүктесіндегі гидростатикалық негізгі теңдеуін жазамыз:

$$P_{\sigma} = P_a + \rho g h_{\text{вак}},$$

бұдан $P_{\text{вак}} = P_a - P_{\sigma} = \rho g h$ немесе $h_{\text{вак}} = \frac{P_a - P}{\gamma}$ (2.39)

Сонымен сұйықтың тығыздығымен $h_{\text{вак}}$ білсек, онда $P_{\text{вак}}$ табуға болады. Серіппелі вакуметрдің жұмыс істеуі серіппелі манометрмен бірдей.

2.6. Сұйықтың гидростатикалық қысым күшінің жазық және қисық бетке түсуін анықтау

Гидростатиканың негізгі теңдеуін пайдалана отырып, сұйықтың көлбеу жазықтың қабырғасына кейбір бұрышпен (α) түскен гидростатикалық қысымның күшін толық табу. Қаралып отырған учаскедегі ω көлеміне сұйық жақтан келіп түсетін қысым күшін есептеп шығарамыз. O_x сызық бойымен қабырға жазықтығымен жалғасып сұйықтың ашық бетімен кездеседі де, y осімен α бұрышында болады. Шексіз аз ғана элементарлы көлемге түскен қысым күші:

$$d\omega = p \cdot d\omega = (P_0 + \gamma h) d\gamma = P_0 d\omega + \gamma h d\omega \quad (2.40),$$

мұндағы, P_0 – сұйықтың ашық бетіне түсетін қысым; $\gamma = \rho g$ – меншікті салмақ; ω – элементарлы ауданшаның h теңдіктегі орналасуы.

Гидростатикалық толық қысым күшін анықтау үшін (2.26) формуласымен барлық ω ауданы бойынша интегралдап табамыз:

$$P = P_0 \int_{\omega} d\omega + \gamma \int_{\omega} h d\omega = P_0 S + \gamma \sin \alpha \int_s y ds \quad (2.41)$$

мұндағы, y – ауданша көлемінің центр координатасы, $h = y \sin \alpha$ интеграл $\int_{\omega} = y d\omega$, ω – жазықтың ауданының ОХ осіндегі статикалық моменті бойынша сол ауданның ауырлық ортасы координатасының көбейтіндісіне тең болады (с нүктесі) $\int_{\omega} y d\omega = y_c \cdot \omega$.

Онда:

$$P = P_0 \cdot \gamma \sin \alpha \cdot Y_c \cdot \omega = P_0 \omega + \gamma h_c \cdot \omega \quad (2.42),$$

мұндағы, $h_c = \sin \alpha \cdot y_c$, S – ауданының ауырлық центрінің (ортасының) тереңдік координатасының шамасы немесе $P = (P_0 + \gamma h_c) \cdot \omega = P_c \cdot \omega$.

Бұл формуланың тұжырымы былай: жазық бетке сұйықтың әсер ететін толық қысым күші осы ауданның (ω) гидростатикалық қысым күші мен ауырлық ортасының көбейтіндісіне тең болады да, оны *тең әсерлі күш P* (равнодействующие) деп атайды.

Егер қысым P_0 атмосфералық болса, онда көлбеу жазықтықтың қабырғасына сұйықтың артық қысым күшін былай табады:

$$P_{\text{арт}} = h_c \cdot \gamma \cdot \omega = P_{\text{арт}} \cdot \omega \quad (2.43).$$

Енді қысым орталығының орналасу жағдайын табамыз. Қорытынды артық күштің сұйыққа түсетін нүктесін (Д) теориялық механикада қолданылатын теңдеу бойынша, тең әсерлі қысым күшінің () моменті ОХ осі арқылы есептелген моменттердің қосындысына тең болады деген ережесін қолданамыз:

$$P_{\text{арт}} \cdot y_d = \int_s y d \cdot P_{\text{арт}}$$

мұндағы, Y_d , $P_{\text{арт}}$ – күшінің түсетін координатасы, $P_{\text{арт}}$ және $dP_{\text{арт}}$ таңбаларының Y_c және Y алмастырамыз да, Y_d табамыз:

$$Y_d = \frac{\gamma \sin \alpha \int_{\omega} y^2 d\omega}{\gamma \cdot \sin \alpha \cdot y_c \cdot \omega} = \frac{Y_x}{Y_c \cdot \omega} \quad (2.44)$$

мұндағы $Y_x = \int_{\omega} y^2 d\omega$ — Ox осі бойынша ω ауданының момент инерциясын еске ала отырып, былайша өрнектейміз: $Y_x = Y_{x_0} + Y_c^2 \cdot \omega$, мұндағы, Y_{x_0} — орталық осі бойындағы ω ауданының момент инерциясы Ox осіне параллель болып түседі:

$$Y_x = Y_{x_0} + \frac{Y_c}{V_c \cdot \omega} = Y_{x_0} + \frac{Y_c}{S} \quad (2.45)$$

мұндағы, $S = Y_c \cdot \omega$ — жазық фигураның статикалық моменті.

Егер де P_0 атмосфералық қысымға тең және ол қабырғаның екі жағынан бірдей әсер ететін болса, онда D нүктесі орталық қысым күші болады. Тік жазықтық қабырғадағы, егер $\sin \alpha = 1$, $h_x = h_c + \frac{y}{h \cdot \omega}$ болады.

Мысалы, тік бұрышты жазық қабырғаға түсетін гидростатикалық қысым күші:

$$P = \gamma h c \cdot \omega = \gamma \frac{H}{2} \cdot \omega \cdot n = \frac{1}{2} \gamma \gamma H^2 \quad (2.46)$$

Формула (2.43) арқылы ортақ қысымды табамыз:

$$Y_x = \frac{H}{2} + \frac{\gamma H^3 / 12}{H / 2 \gamma H} = \frac{2}{3} H \quad (2.47)$$

Яғни, тік бұрышты жазық қабырғаға түсетін орталық қысым сұйықтың ашық бетінен $\frac{2}{3} H$ төмендегі деңгейде орналасады.

Сұйықтың жазық қабырға бетіне түсетін гидростатикалық қысымын сызу арқылы анықтауға болады, ол гидростатикалық қысымның сұйық бетінен төмен қарай тереңдігінің өзгеруіне байланысты қысым эпюрасын сызумен табады. Қысым эпюрасынан сұйық жақтағы қабырға тиістіре тұрғызады да, тыныштықта тұрған сұйықтың нормалы бағытталғанын естен шығармау керек. Мысалы, жайдақ тік қабырғалы ыдыстағы қысым бірінші дәрежелі теңдеу заңдылығымен таралады:

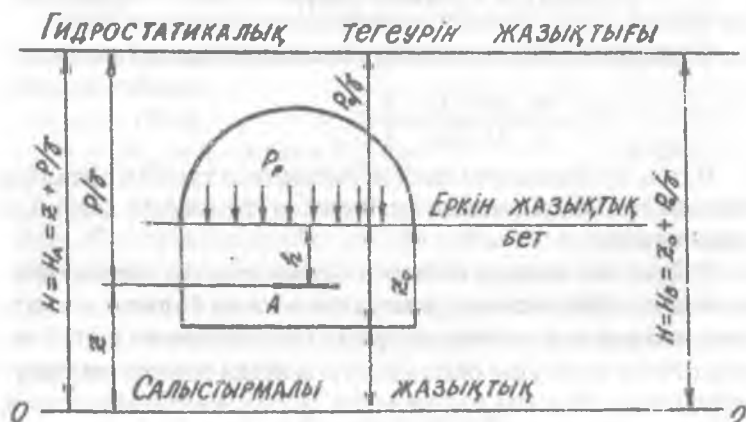
$$P = P_0 + \gamma h i_1 \quad (2.48)$$

егер, тереңдікті $h_1 = 0$ болғанда, $P = P_0 + h_1$ болса, онда $P = P_0 + \gamma H$

Қысым эпюрасы трапеция түрінде болады (2.9-сурет). Егер $P_0 = P_A$ болғанда, қысымның бөлініп таралуы бірінші дәрежелі теңдеу заңдылығымен табылады: $P = \gamma h_1$; егер $h_1 = 0$, онда $P = 0$, $h_1 = H$; онда $P = \gamma H$.

Қысым эпюрасы үшбұрыш түрінде (2.10-сурет) болады да, көлбеу сызықтың шамасы γ -ға байланысты болады, судың эпюрасы $\gamma_c = 9600 \text{ Н/м}^3$ -ден артық, гидростатикалық қысымның түрі тең қабырғалы үшбұрышты, бұрыш $P = 45^\circ$ -қа тең. Меншікті салмағы ауыр сұйықтардың, мысалы сынаптың қысым эпюрасының көлбеу сызығы жатағанда болады, яғни $\beta < 45^\circ$, ал жеңіл сұйықтардың (сумен салыстырғанда мысалы, бензин, спирт) көлбеу сызығы тіктеу болады, яғни $\beta > 45^\circ$.

Гидростатикалық қысымның бірінші қасиетін еске ала отырып, көлбеу жайпақ қабырғаның қысым эпюрасын тұрғызамыз (2.9-сурет). Егер қабырғаға екі жағынан сұйық қысымы түссе, оны бірінші төсілмен тұрғызамыз және көлбеу беттік жазықтықпен де.



2.9-сурет

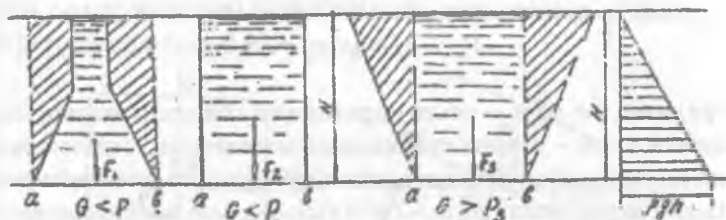
Егер қабырға қисық-қисық болған жағдайда осы төсіл қолданылады (2.9-сурет).

Тік қабырғалы ыдыстың горизанталды табанының ауданына түсетін сұйық қысымын мына формуламен табады:

$$P = \gamma \cdot \omega \cdot h \quad (1.49).$$

Қысым эпюрасы цилиндрдің табан ауданы ω мен H биіктігіне, ал қысым күші цилиндрдің ауданындағы сұйық салмағына тең болады.

Бұдан мынаны ойға түюге болады, артық гидростатикалық қысым күшінің ыдыс табанына түсуі сұйықтың қасиетіне, ыдыстың табанының ауданы мен ыдыстағы тереңдігіне байланысты болады, оның көлемі мен формасына байланысты болмайды. Сұйықтың бұл қасиетін *гидростатикалық парадокс* деп атайды.



2.10-сурет. Гидростатикалық парадоксқа арналған сызба

Сұйықтың қисық (доғалы) бетіне түсетін гидростатикалық қысым әсерлерін практикада көп пайдаланады (құбыр қабырғаларына, резервуарларға, гидротехникалық жапқыштар (затвор), т.б.).

Қисық бетті цилиндрлі формадағы $A - B$ доғасына түсетін сұйықтың гидростатикалық қысымын табу үшін сұйықтағы $d\omega$ элементарлы көлемшесінің сұйықтың ашық бетінен U тереңдігіндегі жағдайын қарастырамыз. $d\omega$ көлемшенің өте кіші болуынан, оның жіңішке сызықша ретінде горизонтқа көлбеу бұрышта α болуын қарастырамыз. Бөлініп алынған көлемшеге түсетін гидростатикалық қысымды былай табамыз:

$$dP = \gamma \cdot y \cdot d\omega.$$

dP қысым күшін екі құраушы күшке бөлеміз, горизонталды dP_x және тік dP_y , оларды $d\omega \sin \alpha = d\omega_y$ және $d\omega \cos \alpha = d\omega_x$ теңдестіреміз.

Алмастырған соң былай жазады:

$$\begin{aligned} dP_x &= dP \sin \alpha = \gamma y d\omega \sin \alpha = \gamma y d\omega_y \\ dP_y &= dP \cos \alpha = \gamma y d\omega \cos \alpha = \gamma y d\omega_x \end{aligned} \quad (2.50)$$

мұндағы, $d\omega_y$ және $d\omega_x$, $O - x$ және $O - y$ жазықтық осіне элементарлы көлемшенің $d\omega$ проекциясының перпендикуляр түсуі.

Бұл формуланы (2.50) барлық көлемі бойынша интегралдасақ:

$$P_x = \gamma \int \omega_y y d\omega_y = \gamma h_c \omega_y$$

мұндағы, $\int \omega_y y d\omega_y$ – осіне қарағандағы барлық жазықтың бетінің $y - O - x$ -тағы статикалық моментінің ω проекциясы, ол көлемнің орталық салмақ координатасының көбейтіндісіне тең болады: h_c – орталық салмақ координатасы.

Қисық бетке түсіп тұрған сұйықтың горизанталды құраушы күші гидростатикалық қысым тік проекциясының қысым күшіне тең болады, яғни горизанталды құраушы қысым күшін табу үшін қисық бетті денені тік жазықтықта проекциялап, оған түскен қысым күшін жазық қабырғаға түскендей есептеп шығару керек.

Онда вертикалды құраушысы:

$$P_y = \gamma \int \omega_x y d\omega_x = \gamma \int \omega_x dV = \gamma V, \quad (2.51)$$

мұндағы, V – дененің барлық қисық бетке түсетін көлемдік қысымы, яғни сұйықтың вертикалды құраушы гидростатикалық қысым күші – қисық беттегі сұйықтың көлемдік салмағына тең.

Тең өсерлі шама күші – көлденең және тік құраушы геометриялық суммаларға тең болады:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \quad (2.52)$$

Бұл күштердің бағытын:

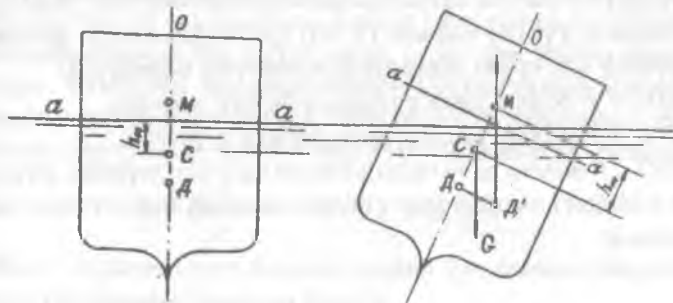
$$\beta = \arctg \frac{P_y}{P_x} \quad (2.53)$$

Теңдеуімен есептейміз.

Тең әсерлі күштің түсетін нүктесі оларды құраушы күштердің (P_x және P_y) қиылысқан жерінде болады.

2.7. Архимед заңы. Дененің жүзу теориясының негізі

Сұйыққа батқан дұрыс пішіндегі дененің биіктігі H және оның жоғарғы және төменгі табанының ауданы ω 2.11-суретте көрсетілген.



2.11-сурет. Дененің жүзу заңдылығы

Мұнда, тек салмақ күшімен гидростатикалық қысымның жоғарғы және төменгі табанына түсуі, мұндағы жан-жағынан тигізетін күш әсерін қарастырмаймыз, себебі олар бір-бірімен тең.

Дененің жоғарғы бетінен түсетін гидростатикалық қысым күшін: $P_1 = P_0 + \gamma \omega H_1$, осы сияқты күштің төменгі табанына түсуін: $P_2 = P_0 + \gamma \omega H_2$ сияқты формулалармен анықтаймыз.

Дененің салмақ күші формуласы:

$$G = \gamma_0 (H_2 - H_1) \omega = \gamma_0 H \cdot \omega,$$

мұндағы, γ_0 – дененің меншікті салмағы. Осыдан кейін тең әсерлі күштің теңдеуін былай жазады:

$$P - G = 0 \quad (2.54).$$

Мұнда, $P = P_2 - P_1$ Архимед күші (көтеруші) тік жоғары бағытталғанда, ол дененің орталық қысым нүктесіне түсіп, оны орталық су ығыстырғыштық деп атайды.

$$P = \gamma \omega (H_2 - H_1) = \gamma \cdot \omega \cdot H = \gamma \cdot V \quad (2.55),$$

мұндағы, V – дененің көлемі.

Сұйыққа батырылған денеге жоғары көтергіш күш P әрекет етеді де, ол ығыстырылып шығарылатын сұйықтың салмағына тең болады. Бұл *Архимед заңы* деп аталады.

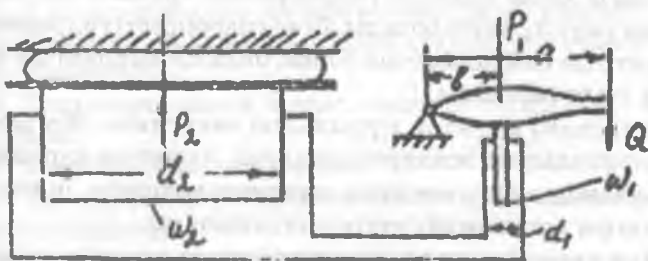
(2.55) Формула сұйыққа батқан дененің қай формада болсадағы түріне сәйкес (2.55) формула қатты дененің жүзуінің үш түрлі жағдайын сипаттап көрсетеді:

- а) $G > P$ болса, дене сұйыққа батып кетеді;
- ә) $G = P$ болса, дене судың ішінде жүзеді;
- б) $G < P$ болса, дене судың бетіне қалқып жүреді. Бұлардың ішіндегі екінші мен үшінші жағдай практикада көп кездеседі.

2.8. Гидравликалық машиналарға гидростатиканың заңдарын қолдану принципі

Қарапайым гидравликалық машиналардың, гидропресс, гидроаккумуляторлар және гидрокөтергіштердің жұмыс істеу принципі гидростатиканың заңдарына негізделген.

Әр түрлі бұйымдарды өңдеу, жасау кезіндегі қажетті өте жоғары сығу күшін – гидропресті пайдалану арқылы жүргізіледі (металдарды соғу, қалыптау, престеу). Оның негізгі құрамы – екі бір-бірімен жалғасқан кіші диаметрлі d_1 және үлкен диаметрлі d_2 поршеньді цилиндрлер.



2.12-сурет. Гидропресс

Бірінші поршень қозғалмайтын тобықшалы-тіреуішті иіңтірек нөлге жалғасқан. Екінші поршень (плунжер) платформасымен бір тұтас дене, оған престейтін денені қояды. Иіңтірек қолмен немесе қозғалтқыш арқылы жұмыс істейді. Иіңтіректің тепе-теңдігін қарастыра отырып нөл нүктесінде момент теңдеуін құрамыз да, табамыз:

$$P_1 = Q \frac{a}{b}, \quad (2.56)$$

Кіші поршеньдегі қысым үлкен поршеньге беріліп, үлкен поршеньдегі қысым күшін:

$$P_2 Q \frac{a}{b} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2, \quad (2.57)$$

арқылы есептейміз.

P_1 шамаларын алмастырғаннан кейін, $\omega_1 = \frac{\pi d^2}{4}$
 $\omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$ табамыз:

$$P_2 = Q \frac{a}{b} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2$$

Немесе қимылдаушы бөлшектерінің үйкелістен энергиясының жоғалуын есептегенде, пайдалы өсер коэффициенті (ПӨК) $\eta = 0,80, \dots, 0,85$, онда

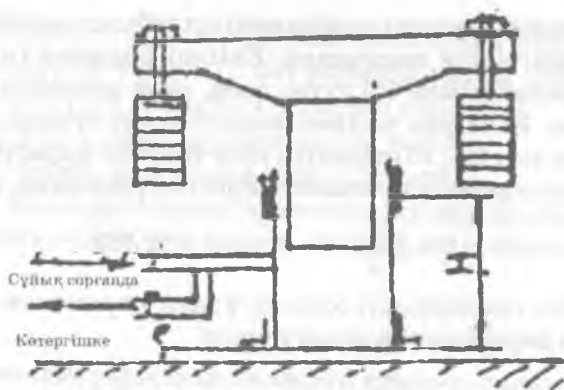
$$P_2 = Q \frac{a}{b} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \cdot \eta \quad (2.58)$$

табамыз.

Соңғы кезде шыққан гидропрестер арқылы өте жоғары сығу күшін алуға болады. Егер гидропресті гидрокөтергіш ретінде пайдаланатын болса, онда қимылдайтын тақтаны алып тастайды.

Гидроаккумулятор құрылымы энергияны бір жерге шоғырландырып жинауға арналған, қажетіне қарай оны пайдаланады. Оны өте ауыр жүктерді көтеруге, шлюздің қақпағын ашып-жабу үшін қолданылады.

Жүк көтергіш гидроаккумулятордың негізгі құрамы – тіке цилиндр, оның ішіндегі ұзын плунжер өте үлкен салмақты жүкпен жалғасқан (2.13-сурет).



2.13-сурет. Гидроаккумулятор

Гидроаккумуляторларға сұйық сорғышпен сұйықты айдамалау арқылы плунжердегі жүкті жоғары H биіктігіне көтереді. Гидроаккумулятордағы сығылған сұйық қысымы бәсеңдеу дәрежесіне байланысты болмайды да, гидравликалық машинаның төменгі құбырымен жалғасып, тұрақты жұмыс істеуін қажет етеді.

Бақылау сұрақтары

1. Гидростатика анықтамасы.
2. Гидростатикалық қысымды қалай түсінесіз, ол қалай пайда болады және оның түрлерін атаңыз.

3. Гидростатикалық қысым өлшем бірлігі қандай?
4. Гидростатикалық қысымның үш қасиетіне анықтама беріп түсіндіріңіз.
5. Гидростатиканың негізгі теңдеуін түсіндіріңіз және жазыңыз.
6. Паскаль заңы дегеніміз не?
7. Қысымды өлшеуге арналған аспаптарды және тәсілдерін айтып түсіндіріңіз.
8. Архимед заңы дегеніміз не?
9. Сұйыққа батырылған дененің үш жағдайын түсіндіріңіз.
10. Гидравликалық преске Паскаль заңын қолдануын түсіндіріңіз.
11. Жазық қабырғаға түсетін гидростатикалық қысымды қалай анықтайды?
12. Жазық қабырғаға түсетін қысым эпюрасын түсіндіріп жазыңыз.
13. Цилиндрлі бетке түсетін гидростатикалық қысымды қалай анықтайды?
14. Құбыр қабырғасының қалыңдығын қалай анықтайды?

3-тарау. ГИДРОДИНАМИКА

3.1. Гидродинамика түсінігі және оны зерттеу әдістері

Гидродинамика дегеніміз – сұйық қозғалысының заңдылығын және сұйықтың қатты денемен ағу кезіндегі байланысын, сұйық ішіндегі қысымды зерттейтін гидравликаның негізгі бір бөлімі. Осыған байланысты сұйық механикасының ішкі және сыртқы есептері деген ұғым енгізіледі.

Ішкі есептеріне құбырдағы, ашық арықтағы сұйық қозғалысытары, т.б. жатады.

Сыртқы есептеулеріне сұйықтың қатты денені айналып ағу түрлері жатады.

Гидравлика саласы сұйық кинематиканы динамикамен бірге қарастырады да, оның айырмашылығын, түрлерін зерттеумен қатар сұйық кинематикалық сипаттамаларына түскен күштерді есептемегендегі сұйық қозғалысын, ал сұйық динамикасы сұйық қозғалысына түсетін күштердің байланыстылық заңдылығын зерттейді.

Гидравликалық сұйықты үздіксіз орта ретінде қарайды да, оның барлық кеңістіктігінде толық толтырады.

Көбінесе гидродинамикалық есептерді шешкен кезде сұйықтың қозғалуы, оған түсетін сыртқы күштермен қатар салмақ күші, сыртқы қысым, т.б. күштер белгілі болады. Сұйық қозғалысын түсіндіретін белгісіз факторларға ішкі гидродинамикалық қысым және кейбір кеңістіктегі әрбір нүктедегі сұйық жылдамдығының ағуы жатады. Гидравликалық қысым әр нүктеде оның координатының функциясы болып табылады, сонымен қатар уақыт аралығында өзгеруінен, ол уақыт функциясы t болады.

Сұйық қозғалысының заңдылығын зерттеудің қиындығы, оның табиғатында және ең қиыны ондағы жанама кернеу күшті есептеу, ол бөлек сұйық, яғни үйкеліс күшін ескермей, сонан кейін жасалған теңдеуге өзгеріс енгізу арқылы, нақтылы сұйықтың үйкеліс күшінің өсерін еске алу (h_0).

Сұйық қозғалысын зерттеудің екі әдісі бар, олар: Ж. Лагранж бен Л.Эйлер әдістері.

Ж. Лагранж әдісі – сұйықтың әрбір бөлшектерінің қозғалысын зерттеу, яғни оның қозғалысының траекториясы. Бұл тәсілдің өте қиындығы – көп тарампағандығы, соның кесірінен практикада көп қолданылмайды.

Л.Эйлер әдісінің ерекшелігі – белгілі уақыттағы барлық сұйық қозғалысының кеңістіктегі, әр түрлі нүктедегі жағдайын зерттеу. Ал артықшылығы – кеңістіктегі қай нүктеде де болсын, қай уақытта да сұйық қозғалысының жылдамдығын табуға болады, яғни жылдамдық белдеуін тұрғызу бейнеленеді де, сұйық қозғалысының жылдамдығын табуға болады, яғни жылдамдық поясын тұрғызу бейнеленеді де, сұйық қозғалысын зерттеген кезде бұл тәсіл кеңінен қолданылады.

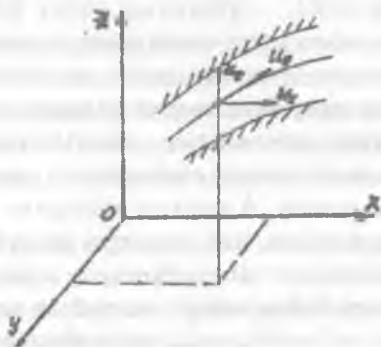
Эйлер тәсілінің кемшілігі – жылдамдық ауқымын қарастырған кезде әрбір сұйық бөлшектерінің траекториясын тексермейді.

Сұйық қозғалысының түрлері

Сұйықтың ағынын зерттеу үшін қажетті кинематикалық үлгіні таңдап алу керек. Мұндағы сұйық ағынының табиғи заңдылығын зерттеудің қиындығын, оның ағу табиғатында және ондағы бөлшек арасындағы үйкеліс кедергісінің өсерінен жанама кернеу күшті есептеудің қиындығында. Бұл мәселені шешу үшін Л.Эйлер әдісін пайдаланамыз. Ол үшін, сұйық бөлшектерінің үйкеліс күшін ескермей (идеалды сұйық) теңдеу құру, арқылы есептеп, содан кейін осы теңдеуді тұтқырлық реалды сұйыққа ыңғайлап, ондағы үйкеліс кедергісінің өсерін еске алады.

Сұйық қозғалысын зерттеу үшін Эйлер әдісімен танысамыз. Қимылсыз координата жүйесін таңдап алып, оны

сұйық қозғалысының жылдамдығына жатқызамыз. Ағын ішіндегі нүктедегі жылдам (мгновенный) шама құратын жылдамдық координата осіндегі нүктенің орналасуына байланысты болады (3.14-сурет), яғни нүктенің орналасу координаты x, y, z және уақыт ішіндегі (t) жағдайына байланысты. Қаралып отырған M нүктесіндегі сұйық ағынның жергілікті жылдамдығын құраушы U_x, U_y, U_z .



3.14-сурет. Координата жүйесіндегі жергілікті жылдамдық

Бұлардың функционалды жылдамдығын былай жазамыз:

$$\left. \begin{aligned} U_x &= f_1(x, y, z, t) \\ U_y &= f_2(x, y, z, t) \\ U_z &= f_3(x, y, z, t) \end{aligned} \right\} \quad (3.59)$$

Осы функциялардың нақтылы жағдайдағы ағын шамасын білсек, онда кез келген уақыттағы сұйық ағынның бөлініп таралуын білуге болады. Лагранж әдісін пайдалансақ онда, белгіленген нүктенің сұйықпен бірге жылжу кезіндегі координатасын x, y, z белгілеп, оның кинематикасын зерттейміз. Ол үшін, ағын ішіндегі нүктені қимылсыз координата жүйесімен белгілеп, олардың координатасын x_0, y_0, z_0 деп, уақыт кезеңінен $t_0 = 0$. Сонда, сұйық ішіндегі белгіленіп алынған нүктенің траекториядағы қимыл-қозғалысы бір-бірінен айырмашы-

лығы бастапқы координаталарының тұрған шамасына байланысты. Әрбір қаралып отырған нүктенің координатасы үшін олардың функционалды тәуелділігі бар:

$$\begin{aligned} X &= \varphi_1(x_0, y_0, z_0, t) \\ Y &= \varphi_2(x_0, y_0, z_0, t) \\ Z &= \varphi_0(x_0, y_0, z_0, t) \end{aligned} \quad (3.60)$$

Осы нүктелердің жылжу жылдамдығы ағынның жергілікті жылдамдығымен сәйкес келеді:

$$\begin{aligned} U_x &= \frac{dx}{dt} = \frac{d\varphi_1(x_0, y_0, z_0, t)}{dt}, \\ U_y &= \frac{dy}{dt} = \frac{d\varphi_2(x_0, y_0, z_0, t)}{dt}, \\ U_z &= \frac{dz}{dt} = \frac{d\varphi_0(x_0, y_0, z_0, t)}{dt}, \end{aligned} \quad (3.61)$$

Лагранж әдісі бойынша сұйықтың және нүктелердің t уақыт ішіндегі кеңістіктегі өз траекториясымен ағып өтуін сипаттайды да, сұйықтағы нүктенің осыдан t уақыт бұрын қай жерде болғанын және t уақыттан кейін қай жерде болатынын да анықтауға болады. Сұйық ішіндегі барлық нүктелердің траекторияларын анықтайтын теңдеулерді жазу өте қиын болғандықтан, Лагранж әдісін гидродинамикада тіптен пайдаланбайды.

Көбінесе, Эйлер әдісін қолданады. Сұйық қозғалысының түрлерін қарастырамыз, олар сұйық ағынының қалыптасқан (тұрақты) және қалыптаспаған (тұрақсыз) болып бөлінеді.

Қалыптасқан қозғалыс деп ағынның қай нүктесіндегі болсын, сұйықтың тереңдігі, жылдамдығы және қысым уақыт аралығындағы өзгермеуін айтады, яғни $U_1 = f_1(x, y, z)$ және $P = f_2(x, y, z)$, $h = (x, y, z)$ уақытқа байланысты болмайды.

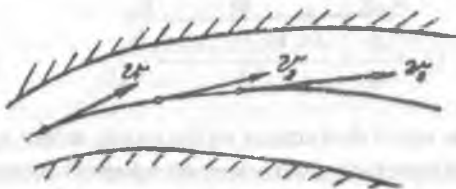
Мысалы, тұрақты қозғалысқа бензин багінен аққан жанармайды жатқызуға болады, егер оның деңгейі өзгермей аққан кездегі күйі, сонымен қатар тоғандағы су қоз-

ғалысы, сондықтан оның геометриялық көрсеткіштері көлденең қимасы мен тереңдігі тұрақты болуы керек.

Қалыптаспаған сұйық ағыны деп ағынның кеңістіктегі қай нүктесінде болсадағы сұйықтың жылдамдығы мен қысым уақыт аралығында өзгеріп отыратын қозғалысын айтады.

Кейбір, жалпы жағдайда қалыптасқан ағынның тереңдегі қысым және жылдамдығының координатасы уақытына байланысты болады.

Қалыптаспаған қозғалыста ағыс сызығы уақыт ішінде өзгеріп отырады. Ағынның барлық нүктелерінде бір сәтте жүргізілген жылдамдық векторлары орталық сызыққа жанама болып бағытталуын қисық сызықты ағыс сызығы деп атайды (3.15-сурет).



3.15-сурет. Ағын нүктелерінде бір сәтте жүргізілген жанама вектор жылдамдығы

Егер ағын қозғалысы белгіленген нүктелердегі ағынның жылдамдығы бағыты уақыт аралығында өзгереді.

Ағыс ішіндегі нүктенің x, y, z координатасының құраушы жергілікті жылдамдығы координата осінің бойымен U_x, U_y, U_z болады. Ағыс сызығы бойымен ауысқандағы арақашықтығын ds деп, нүктелерінің координатасын $x+dx, y+dy$ және $z + dz$ болса:

$$\frac{u_x}{d_x} = \frac{u_y}{d_y} = \frac{u_z}{d_z}$$

бұл теңдеу *ағыс сызығының теңдеуі* деп аталады.

Қозғалыстағы сұйық ағыны тұйық контур жүргізіп, ондағы шексіз элементарлы кішкене алаңшаның жазықтықпен шектелген жеріндегі нүктелеріне ток сызығын

жүргізсек, түтікті көрінбейтін жазықтық *ток түтігі* деп атайды.

Ток түтігі мен шектелген сұйық бөлшектерінің массасын элементарлы сұйық ағыншасы деп атайды. Барлық элементарлы сұйық ағыншаларының әр түрлі жылдамдықта болып ағуын сұйық тасқыны (ағыны) дейді.

Сұйық ағыншасы үшке бөлінеді:

а) еркін ағыс деп үш жағынан ағын арнасына тірелген, ашық бетті су қозғалысын айтады. Мұндағы ағын тек салмақ күштерінің жанама (τ) әсерінен қозғалады;

ә) тегеурінді ағын деп жан-жағынан арнаға тірелген ағысты қысымды айтады. Ағынның қозғалысы қысым күшінің әсерінен болады (құбырдағы ағын);

б) арнасыз ағын деп жан-жағы газбен немесе сұйықпен қоршалған ортада ағуын айтады. Кейде оны гидравликалық ағынша деп те атайды.

3.2. Сұйық тасқынының гидравликалық элементтері

Сұйық шығыны және орташа жылдамдығы.

Сұйық қозғалысының гидравликалық көрсеткіштеріне траектория туралы ұғымнан басқа ток сызықтары, элементарлы ағыншалар, тасқын, ағынның көлденең қимасы, тоғанның ылғалданған периметрі, гидравликалық радиус, сұйықтың шығыны мен орташа жылдамдығы жатады.

Көлденең қимасы (ω) деп ағын бағыты мен барлық ток сызықтарында перпендикулярлы көлденең қима ауданын айтады. Мысалы, дөңгелек құбырдың диаметрі d суға толы барлық қимасының дөңгелек ауданында тең болады, яғни

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$$

Ағын қимасының ауданы мен жылдамдығының көбейтіндісін сұйықтың немесе газдың элементарлы шығыны деп атайды.

$$\Delta Q = U \cdot \Delta \omega, \text{ м}^3/\text{сек} \quad (3.62),$$

мұндағы, U – сұйықтың жергілікті жылдамдығы, м/с;
 $\Delta \omega$ – элементарлы көлем.

Белгілі уақыт ішінде сұйық қимасынан ағып өтетін сұйық массасын:

$$\Delta m = \rho \cdot \Delta \omega \cdot v \quad (3.63)$$

формуласымен есептейді.

Ал қима ауданы ω ағыншалардың қимасының жиынтығына тең болады:

$$\omega = \Sigma \Delta \omega = \int_{\omega} d\omega \quad (3.64)$$

Сұйықтың шығыны (Q) деп барлық элементарлы ағыншалардың жиынтығын айтады:

$$Q = \Sigma \Delta Q = \Sigma U \cdot \Delta \omega = \int_{\omega} U \cdot d\omega \quad (3.65)$$

Сұйықтың массалық шығыны (m) – олардың әрбір элементарлы ағыншалардың массалық шығынының жиынтығына тең болады:

$$m = \Sigma \Delta m = \Sigma \rho U \cdot \Delta \omega = \int_{\omega} \rho U d\omega \quad (3.66)$$

Ылғалданған периметр (χ) – сұйықтың көлденең қимасының периметрінің қатты қабырғамен жұғысқан жері. Мысалы, дөңгелек құбырдың толық қимасымен сұйықтың аққан кездегі ылғалданған периметрі құбырдың шеңберінің ұзындығына тең, яғни $\chi = \pi d$.

Гидравликалық радиус (R) – құбырдың көлденең қимасының ауданының, ылғалданған периметрінің қатынасына тең:

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (3.67)$$

Мысалы, құбырдағы сұйықтың толық қимасымен аққандағы гидравликалық радиус, оның диаметрінің төрттен біріне тең:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}$$

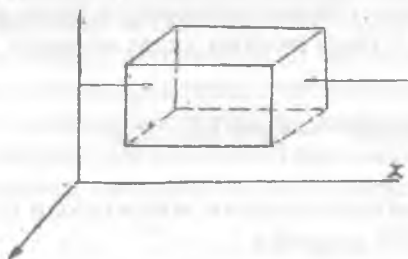
Сұйық ағынның орташа жылдамдығы сұйық шығыны қима ауданының қатынасына тең болады:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \int_{\omega} U \cdot \frac{d\omega}{\omega}$$

бұдан $Q = v \cdot \omega$ (3.67¹)

3.3. Сұйықтың үздіксіздік-дифференциалды теңдеуі

Үздіксіз ағындар деп ағысы үзілмей, арна кеңістігін толық толтырып ағатын ағындарды айтады. Бұл жағдайда қозғалыстағы сығылмайтын сұйық шамасының сандық (не үлкейтіп, не кішірейтпейді) уақыт аралығында өзгермейді. Элементарлы параллелепипедтің қырынан (жанына) ағып өтетін сұйық массасын қарастырамыз. (3.16-сурет).



3.16-сурет. Сұйықтың үздіксіздік-дифференциалды теңдеуін дәлелдеу

Параллелепипедтің сол жақ қырынан ағып кіретін сұйықтың жылдамдығын ρU_x , ал оң жақ қырынан ағып шығатын жылдамдығын

$$\rho U_x + \frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x) dx$$

деп белгілейді.

Ағын ішінен x, y, z координатты нүктені таңдап алып, O' нүктесіндегі сұйық ағынның жылдамдығын құраушы $U_x - x$ осі бойымен, $U_y - y$ осі бойымен және $U_z - z$ осі бойымен өтеді. Параллелепипедтің $d_x d_y d_z$ элементарлы ауданшасының O_1 нүктесіндегі уақыт аралығын (dt) белгілейді. Сонымен параллелепипедтің ішіне $\rho U_x d_x d_y d_z dt$ сұйық массасы ағып кіреді. Параллелепипедтің сол жақ қырынан O' нүктесінен dt уақыт аралығында $dydz$ көлемінен O'' нүктесіне жетеді де $x+dx$ координатасында болады, ал ағып шыққан сұйық массасының көлемін былай табады:

$$\rho U_x dydzdxdt + \frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x) dx dy dz dt \quad (3.68)$$

Демек, сұйық аққан кезде құраушы жылдамдығы $U_x - 0$ нүктесіндегі параллелепипедтің сұйық массасы $dx dy dz dt$, ал оның ауданы

$$\rho U_x dydzdt - \rho U_x dydzdt - \frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x) dx dy dz dt = - \frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x) dx dy dz dt$$

шамасына өзгереді. Параллелепипедтің басқа қырынан $dx dy dz$ көлемді. Сұйық осыған ұқсас өзгереді, оны былай табады:

$$- \frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x) dx dy dz dt - \frac{\partial}{\partial z}(\rho U_z) dx dy dz dt \quad (3.69)$$

Сұйық массасының өзгеруін жиынтығын (суммасы) белгіленген $dx dy dz$ ауданын

$$- \left[\frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho U_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho U_z) \right] dx dy dz \text{ арқылы табады.}$$

Сұйық ауданының тығыздығы $dx dy dz$ ауданымен шектелген $\frac{\partial \rho}{\partial t} dt$ өзгеруі мүмкін, ол оның масса осы ауданда dt уақыт аралығында

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right) dx dy dz dt = - \left[\frac{\partial}{\partial x}(\rho U_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho U_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho U_z) \right] dx dy dz dt \text{ болады.}$$

$Dxdydz$ шамасы теңдеудің екі жағында да бар, оны есептемесек, белгілі нүктедегі ағынның тоқтаусыз ағу шарты бойынша:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho U_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho U_z)}{\partial z} = 0 \quad (3.70) \text{ болады.}$$

Бұл теңдеуді гидромеханикада сұйықтың үздіксіз ағу теңдеуі деп атайды.

Егер ағын қалыптасқан қозғалыс түрінде болса $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$, онда теңдеу (1.70), былай жазылады:

$$\frac{\partial(\rho U_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho U_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho U_z)}{\partial z} = 0 \quad (3.70^1)$$

Егер сұйық сығылмайтын болса, яғни $\rho, dx, dy, dz \neq 0$, онда

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0 \quad (3.70^2)$$

(3.70) теңдеуді сұйықтың үзілмеушілігінің дифференциалды формадағы сығылмайтын, өз бетімен аққан суға арналған теңдеуі деп атайды (Л.Эйлер теңдеуі).

Сығылмайтын сұйықтың потенциалды қозғалысы үшін, функция $\varphi(x, y, z)$ – потенциалды жылдамдығы дейді, жеке туындылардың (производный) координатадағы осі тең болады, олардың сәйкестелген жылдамдық проекциясына

$$U_x = \frac{d\varphi}{dx}; U_y = \frac{d\varphi}{dy}; U_z = \frac{d\varphi}{dz}$$

келеді.

Осыған қарағанда үздіксіз ағу теңдеуін (3.70) былай жазады:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.71)$$

Бұл теңдеуді (3.71) Лаплас теңдеуі дейді.

Сұйық ағынындағы көлденең қималар 1-1, 2-2, 3-3 (3.18-сурет) бұлардың әрқайсына мына теңдеу сәйкес

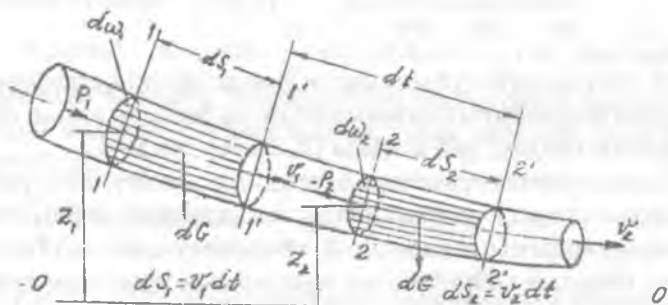
келеді (3.671). Барлық ағын қималарындағы $Q = const$; онда

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \text{ және } \omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2 = \omega_3 \cdot v_3 \quad (3.72)$$

Бұл теңдеу сығылмайтын сұйықтағы үздіксіз ағу теңдеуіне жатады.

3.4. Идеалды сұйықтың элементарлы ағыншасына арналған Бернулли теңдеуі

Идеалды сұйықтың қалыптасқан қозғалысындағы элементарлы ағыншасына массалы күштің немесе салмақ күшінің әсерін зерттейміз және сұйықтың қысымы мен жылдамдықтағы қозғалысының арасындағы байланысының негізгі теңдеуін шешеміз.



3.18-сурет. Ағыншаны зерттеуге арналған Бернулли теңдеуін шешуге арналған сызба

Ағынды құраушы бір ағыншалы түтікшені алып (3.18-сурет), оның 1-1 және 2-2 қимасына сәйкес геометриялық биіктігіндегі элементарлы аудандарын $d\omega_1$ және $d\omega_2$ деп, жылдамдығын v_1 және v_2 деп, гидростатикалық қысымын P_1 және P_2 салыстырмалы жазықтан 0-0 қиманың орталық салмақ нүктесіне дейінгі (dG) әр қиманың аралығына дейінгісін z_1 және z_2 деп белгілейміз.

dt уақыт аралығында ағыншаның учаскесін қима 1-1-ден 1¹-1¹-ге, 2-2-ден 2¹-2¹ аралығына (ds_1 және ds_2) сыртқы күштің әсерінен жылжып жетеді.

Осы ағынша учаскесіне механикалық теориясын пайдалана отырып, жұмыс атқаратын күштің денеге тигізетін әсерін кинетикалық энергияның қосымша өсіміне тең болады деп есептесек, мұндай күштер – қысым күші P және салмақ күші G . Сонымен dt уақыт аралығындағы қысым күшімен P және салмақ күшінің G әсерінен кинетикалық энергиясының өзгеруінің жұмыс істеуін есептейміз.

I – қимадағы қысым күшінің жұмысын $P_1 d\omega_1 v_1 dt$,

II – қиманың қысым күшінің жұмысы теріс бағытта болады (минус)– $P_2 d\omega_2 v_2 dt$ болса, онда, сыртқы қысым күштерінің толық жұмысы

$$P_1 d\omega_1 v_1 dt - P_2 d\omega_2 v_2 dt, \quad (3.73) \text{ болады.}$$

Салмақ күшінің жұмысының әсері потенциалды энергияның өзгеруіне соғады. 1-1 және 2-2 кесіндісінің ауданы мен салмағы бір-біріне тең болады:

$$dG = \gamma \cdot v_1 \cdot d\omega_1 dt = \gamma \cdot v_2 d\omega_2 dt \quad (3.74).$$

Сондықтан салмақ күшінің жұмысы оның биіктік айырмасы мен салмағының көбейтіндісіне тең:

$$(z_1 - z_2) dG \quad (3.75).$$

Қарастырылып отырған ағынша учаскесіндегі кинетикалық энергияның ауданының қосымша өсі мен dt уақыт аралығындағысын есептеп табу үшін 1-2 кесіндісінің ауданының кинетикалық энергиясын алып тастау керек. Сонда 2-2¹, 1-1¹ кесіндісінің ауданының кинетикалық энергиясының айырмасы ғана қалады. Сонымен, кинетикалық энергияның қосымша өсін есептейміз.

$$(v_2^2 - v_1^2) \frac{dG}{2g} \quad (3.76)$$

Қысым күшінің жұмысының формуласын (3.73) салмақ күшінің жұмысының формуласымен (3.74) қосып, бұлардың кинетикалық энергияның қосымша өсімен (3.76) теңестіріп табамыз:

$$P_1 d\omega_1 v_1 dt - P_2 d\omega_2 v_2 dt + (z_1 - z_2) dG = (v_2^2 - v_1^2) \frac{dG}{2g}$$

Бұл теңдеуді (3.76) салмақ күшінің жұмысына (3.74) бөліп, қалғанын қысқартып табамыз:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{P_2}{\gamma} + z_1 - z_2 = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \quad (3.77)$$

Бұл формуладағы мүшелерін топтастырып, бірінші қиманың көрсеткіштерін сол жағына, қалғанын оң жағына топтап:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (3.78)$$

шығарамыз.

Бұл теңдеуді қысылмайтын идеалды сұйыққа арналған *Бернулли теңдеуі* деп атайды.

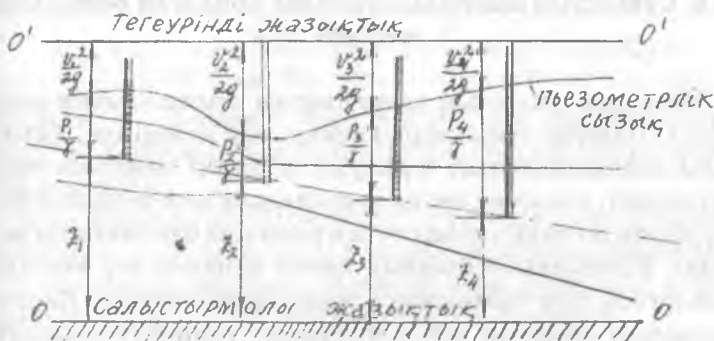
Бернулли теңдеуінің мүшелерінің тікелей өлшемін былай түсіндіреді:

Z – нивелерлік биіктік немесе геометриялық тегеурін деп атайды; $\frac{P}{\gamma}$ – пьезометрлік биіктік немесе пьезометрлік тегеурін дейді; $\frac{v^2}{2g}$ – жылдамдық биіктігі немесе

жылдамдық тегеуріні дейді; $z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = H$ – *толық тегеурін* деп атайды.

Пьезометрлік биіктің өзгеру сызығын *пьезометрлік сызық* деп атайды.

Ағынның бойындағы ұш биіктіктің (салыстырмалы жазықтан) өзгеруі 3.19-суретте көрсетілген.



3.19-сурет

Енді, Бернулли теңдеуінің энергетикалық массасын қарастырамыз. Сұйықтың меншікті энергиясын салмақ бірлігіне жатқызсақ,

$$e = \frac{E}{G}$$

мұндағы E – кинетикалық энергия, G – салмақ күші, z – меншікті энергияның биіктік жағдайы, сұйық бөлшегінің салмағы $\Delta G + z$, биіктіктегі энергия салмақ бірлігіне қатынасы:

$$z = \frac{\Delta G z}{\Delta G}$$

мұндағы, $\frac{P}{\gamma}$ – сұйық қозғалысының меншікті энергиясының қысымы; $\frac{v^2}{2g}$ – сұйықтың меншікті кинетикалық энергиясы; $z + \frac{P}{\gamma}$ – меншікті потенциалды энергия; $H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$ – сұйық қозғалысының толық меншікті энергиясы немесе толық гидродинамикалық тегеурін деп атайды.

Бернулли теңдеуінің энергетикалық мағынасы табиғаттағы энергияның сақталу заңын көрсетеді:

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = const$$

Сонымен, Бернулли теңдеуі потенциалды $\left(z + \frac{P}{\gamma}\right)$ және кинетикалық $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ меншікті кинетикалық энергиялардың қосындысынан тұрады.

3.5. Сұйықтың нақтылы ағынына арналған Бернулли теңдеуі

Идеалды сұйықтың элементарлы ағыншасынан нақтылы (Ньютон сұйықтары) сұйық өту кезеңінде, қимдағы жылдамдықтың таралуын біркелкі еместігін осынау қажет, сонымен қатар энергияның жол-жөнекей тегеуріннің жоғалуы оның тұтқырлығына байланысты болады. Тұтқырлы сұйықтың қатты арнамен ағу кезінде қабырғасы мен табанында жылдамдығы кемиді. Қарастырылып отырған әрбір нүктедегі гидростатикалық қысым бірдей тарайды:

$$Z + \frac{P}{\gamma} = \text{const.}$$

Сондықтан, ағын қуаттылығы деген ұғым пайда болады. Ағын қуаттылығы деп белгілі уақытта белгіленген қимадан сұйықтың ағып өтуін толық энергиясы деп атайды.

Ағыншаның қуаттылығы дегеніміз сұйықтың толық меншікті энергиясының, сол нүктедегі элементарлы сұлмақ шығынының көбейтіндісіне тең, ол:

$$dN = HNd(Q) = \left(z + \frac{v^2}{2g} \right) \gamma \cdot v \cdot d\omega \quad (3.79)$$

Толық ағынның барлық қима ауданының (ω) қуаты

$$N = \gamma \int_{\omega} \left(z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right) \cdot v \cdot d\omega \quad \text{немесе} \quad N = \gamma \left(z + \frac{P}{\gamma} \right) \int_{\omega} v d\omega + \frac{\gamma}{2g} \int_{\omega} v^3 d\omega \quad (3.80)$$

Сұйықтың орташа қимадаға толық меншікті энергиясының шамасын табу үшін ағынның толық қуатын сұлмақ шығынына бөлсек:

$$H_{\text{орт}} = \frac{N}{\gamma \cdot Q} = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{1}{2gQ} \int_{\omega} v^3 d\omega \quad (3.81)$$

Соңғы мүшені көбейтіп және бөліп табамыз:

$$H_{opt} = z_1 + \frac{P}{\gamma} + \frac{\int_{\omega} v^3 d\omega}{v_{opt}^3 \cdot \omega} \cdot \frac{v_{opt}^2}{2g} = z_1 + \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{v_{opt}^2}{2g} \quad (3.82)$$

мұндағы, α – олшемсіз немесе Кориолис коэффициенті және, жылдамдықтың бөлініп таралуының айнымалылығын көрсетеді.

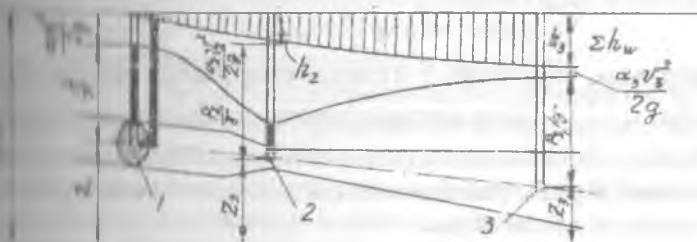
Бұл формула (3.82) бөлшегінің үстінде және астында α коэффициенті, α сол қимадағы ағынның нақтылы кинетикалық энергияның қатысын көрсетеді және қимадағы жылдамдықтың бір қалыпсыз таралуын бейнелейді:

$$\alpha = \frac{\frac{\rho}{2} \int_{\omega} v^3 \cdot d\omega}{\frac{\rho}{2} \cdot v^3 \cdot \omega} = \frac{\int_{\omega} v^3 \cdot d\omega}{v^3 \cdot \omega} \quad (3.83)$$

Сонымен, ағынның нақтылы тұтқырлы сұйыққа қимадағы энергиясын, оның меншікті энергиясының орташа шамамен H_{opt1} және H_{opt2} деп белгілеп табамыз:

$$H_{opt1} = H_{opt2} + \Sigma h_v \quad (3.83^1).$$

мұндағы, Σh_v – барлық меншікті энергиялардың жоғаруының қосындысы (3.20-сурет).



3.20-сурет. Нақты сұйыққа арналған Бернулли теңдеуін графикалық бейнелеу

Бұл теңдеу (3.78) пайдалана отырып:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \Sigma h_w \quad (3.84)$$

Бұл формуланы тұтқырлы (Ньютонның) сұйыққа арналған *Бернулли теңдеуі* деп атайды.

Егер, идеалды сұйықтың ағыншасына арналған Бернулли теңдеуі механиканың энергиясының сақталу заңын есепке алсақ, ал ағынның нақтылы сұйығына құрылған Бернулли теңдеуі – энергия балансының теңдеуі, бойындағы энергияның жоғалуын бірге есептегендегі шамасы

$$\Sigma h = h_{\text{вз}} + h_{\text{жк}}.$$

Нақтылы сұйықтың қозғалу жағдайының көрсеткіштері үшін мынадай ұғым енгізіледі: геометриялық (*i*), пьезометрлік (*i_п*) және гидравликалық еңкіштіктер (*J*).

Сұйықтың ағыны бойындағы толық меншікті энергиясының орташа шамасының кемуі, оның ұзындық бірлігіне қатынасын гидравликалық еңкіштік деп атайды:

$$J = \frac{z_1 - z_2}{l} = \frac{dh_v}{dl} \quad (3.85)$$

Пьезометрлік сызықтағы потенциалды энергияның айырмашылығының бірлік ұзындығына қатынасын пьезометрлік еңкіштік дейді:

$$i_p = \frac{z'_n - z''_n}{l} = -\frac{d}{dl} \left(z + \frac{P}{\gamma} \right) \quad (3.86)$$

мұндағы, теріс таңба (-) қысымның ағында кемуін көрсетеді, $(z + \frac{P}{\gamma})$ – пьезометрлік (потенциалды) тегеурін дейді. Каналдың табанының сызығының деңгей айырмашылығының бірлік ұзындығына қатынасын геометриялық еңкіштік деп атайды.

$$i = \frac{z_1 - z_2}{l} = \sin \alpha,$$

теңдеудегі α – канал табанының көкжиекке көлбеу бұрышы.

Бақылау сұрақтары

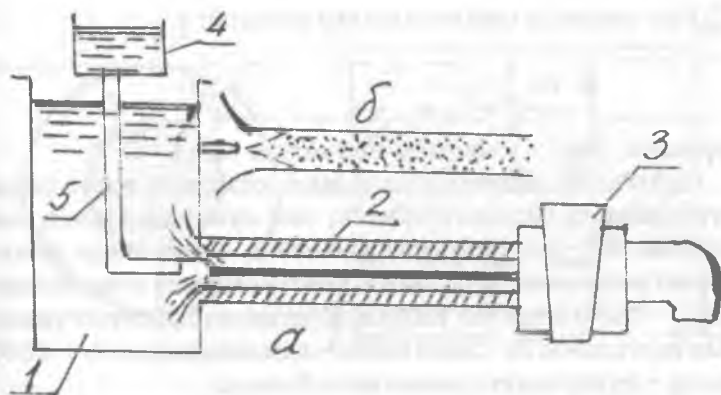
1. Гидродинамиканың зерттеу объектісі және оның негізгі мақсаты.
2. Сұйықтың тұрақталған және тұрақталмаған қозғалысына анықтама беріңіз.
3. Сұйықтың бірқалыпты және бірқалыпсыз қозғалысы анықтамасы.
4. Қимыл, қима дегенді қалай түсінесіз және оның үш көрсеткіштерін (ауданына, ылғалданған периметріне және гидравликалық радиусына) түсіндіріп жазыңыз.
5. Су өтіміне және ағынның орташа жылдамдығына анықтама беріңіз, өлшем бірлігін атаңыз.
6. Ағыншалы сұйық туралы негізгі ұғымға анықтама беріңіз (сұйық бөлшектер, траектория, элементарлы ағыншаға, ток сызықтарына, ток құбыршаларына).
7. Элементарлы ағыншаның екі қасиетін түсіндіріңіз.
8. Сұйық ағыны дегеніміз не?
9. Су өтімі тұтқырлығының теңдеуін түсіндіріп жазыңыз.
10. Ағынның үзілмеушілігінің маңызы неден тұрады?
11. Элементарлы ағыншаның үздіксіз ағу теңдеуін түсіндіріңіз.
12. Сұйық ағынының энергиясы дегеніміз не?
13. Сұйық ағынына арналған Бернулли теңдеуін жазыңыз, ол нені көрсетеді және қалай оқылады? Оның физикалық мақсаты неде, мүшелерінің өлшемі қандай?
14. Гидродинамикалық тегеурін дегеніміз не?
15. Бернулли теңдеуінің графикалық бейнеленуін сызып түсіндіріңіз (пьезометрлік сызығын, тегеурін сызығын, бастапқы тегеурін сызығын).
16. Бернулли теңдеуінің практикада қолданылуы (Вентури су өлшеуіші, су ағыншалы сұйық сорғыш).
17. Пито түтікшесімен сұйықтың ағу жылдамдығын анықтаңыз.

4-тарау. СҰЙЫҚ ҚОЗҒАЛЫСЫ

4.1. Сұйық қозғалысының режимі. Рейнольдс саны

Сұйық қозғалысының екі режимі бар екені бұрыннан белгілі: ламинарлы (латын сөзі, «*laminar*» – қабат), қозғалысы кезінде сұйық ағыны қабат-қабат болып, аралас ағады және турбулентті (латын сөзі, «*turbulents*» – төртіпсіз ағу) қозғалыс кезіндегі сұйық бөлшектері төртіпсіз қорытынды түрде араласып ағады. Табиғаттағы сұйықтың ламинарлы режим қозғалысы кезінде өте жоғары тұтқырлықта болады, олар: мұнай, мазут, майланатын материалдар, жерасты суларының топырақ кеуегіндегі қозғалысы.

Сұйықтың турбулентті қозғалысы өте аз тұтқырлы сұйықта кездеседі, (су, бензин, спирт) олар құбырда, каналда, өзенде ағады. Сұйық қозғалысының режимінің түрі оған түсіп тұрған күшке байланысты болады. Сұйық қозғалысы кезінде тұтқырлық ішкі үйкеліс күшіне байланысты болады. Егер сұйық қозғалысы кезінде тұтқырлық күші басым болса, онда ламинарлы режимде болады, ал егер инерция күші басым болса, онда турбулентті режимді сұйық болады. Бұл жайлы орыс ғалымы Д.И. Менделеев 1880 жылы «Сұйықтың кедергісі туралы және әуеде ұшу» деген еңбегінде жазып қалдырған. Осы туралы ағылшын ғалымы О.Рейнольдс 1883 жылы толық зерттеп, тәжірибені оңай қондырғымен дәлелдеген. Бак, өйнекті құбырша жалғасқан вентилі (3) арқылы құбыршадағы (2) сұйықтың жылдамдығын реттейді.



4.21-сурет. Сұйық қозғалысын зерттейтін қондырғы

Ыдыстағы сия (4) түтік (5) арқылы суды бояп ағады. Вентиль аз ашылса құбырша (2) баяу жылдамдықпен ағады. Егер ағынға сияны ағызса, онда құбыршадан боялған сұйық ағады. 4.21-суреттегі сұйық қозғалысының режимі: 2 – өйнектен жасалған құбырша; 3 – вентиль; 4 – сия құйылған ыдыс; 5 – түтік; а – ламинарлы; б – турбулентті режим.

Тәжірибеде сұйық жіп сияқты айналасындағы сұйықпен араласпай ағады. Мұндай ағын қозғалысын *ламинарлы қозғалыс* деп атайды. Егер вентиль көбірек ашса, құбыршадағы сұйық ағынының жылдамдығы артады да, жіп сияқты аққан сия бұзылып, диффузияға айналып, құбырша қимасымен толып ағады. Мұндай қозғалысты О. Рейнольдс турбулентті қозғалыс деп атайды.

О.Рейнольдстің тәжірибесі бойынша сұйық қозғалысының ламинарлы режимінен турбулентті режиміне белгілі бір жылдамдықтың кезінде өтуін ауыспалы кезең (критической) деп атайды.

Жүргізілген тәжірибеге қарағанда, жылдамдық шамасы тура пропорционалды болады, оның кинематикалық тұтқырлығына ν және трубканың диаметріне d кері пропорционалды болады:

$$v_{ак} = Re_{ак} \frac{\nu}{d} \quad (4.87)$$

Бұл теңдеуді көбінесе былай жазады:

$$Re_{ак} = \frac{v_{u,к} \cdot d}{\nu} \quad (4.88)$$

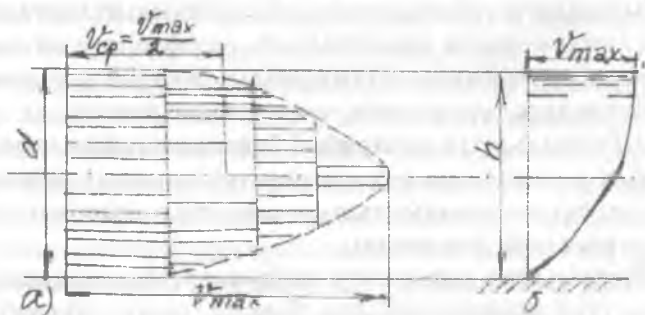
мұндағы, $Re_{ак}$ – өлшемсіз Рейнольдс саны.

Сұйықтың ламинарлы режим кезіндегі қозғалысы турбуленттік режимге ауысса, оны ауыспалы кезең деп атайды, $Re_{ак}$ таңбасымен белгілейді. Тәжірибеде ламинарлы режимнен турбулентті режимге ауысу кезең санын ($Re_{ак} = 2320$) анықтап тапқан. Егер де, құбырдағы сұйықтың қозғалысы $Re < 2320$ болса – ламинарлы, ал $Re > 2320$ болса – турбулентті қозғалыста болады.

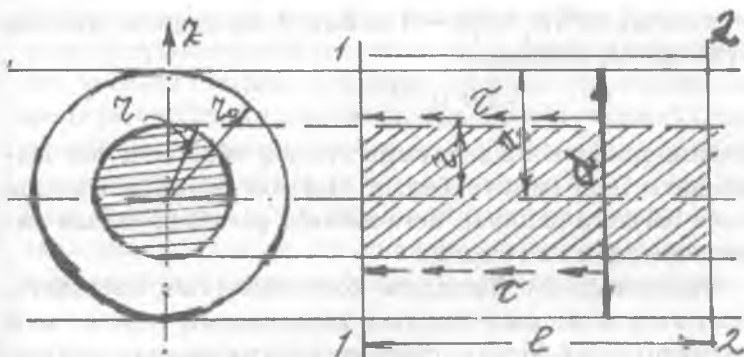
Егер сұйық қозғалысы қысымсыз болса, Рейнольдс санын құбырдың диаметрінің оның орнына гидравликалық радиустың мағынасын қою арқылы табады (R):

$$Re = \frac{g \cdot R}{\nu} \quad (4.90)$$

мұндағы, $Re = \frac{d}{4}$ яғни сұйық қозғалысы қысымсыз болғанда, ауыспалы кезеңдегі Рейнольдс 4 есе кем болады. Құбырдағы қозғалысымен салыстырғанда $Re_{ак} = 580$. Сонымен, ағынның қысымсыз ағу кезінде $Re < 580$ кем болса – ламинарлы режим, ал $Re > 580$ артық болса – турбулентті режим қозғалысы болады.



4.22-сурет. Сұйықтың қозғалысының құбырдағы жылдамдығының бөлініп таралуы (а) және ашық каналдағы ламинарлы режим қозғалысы (б)



4.23-сурет. Сұйықтың ламинарлы режимі кезіндегі құбырдағы сұйық жылдамдығының бөлініп таралу заңдылығын анықтау

Цилиндрлі құбырдағы сұйықтың ламинарлы қозғалысының сұлбасын телескоп арқылы бейнелейді, яғни сұйық қозғалысы құбыр осіндегі сұйық қабатының шексіз, өте көп, ері жұқа орталықтанған бөлшектерінен құралады (4.22-сурет). Былайша айтқанда, цилиндрлі құбырдағы сұйықтың ламинарлы қозғалысы жылдамдығының қимадағы бөлініп таралуы парабола түрінде болады: құбыр қабырғасындағы сұйықтың жылдамдығы нөлге тең, ал қабырғадан қашықтаған сайын оның жылдамдығы ақырындап өсе береді де, құбырдың осінде ең жоғарғы шегіне жетеді (максимально) қысымсыз ашық бетті ағындағы жылдамдықтың ламинарлық режиміндегі бөлініп таралуы (4.22-сурет, б) көрсетілген.

Ағынның ламинарлы режиміндегі жылдамдығының қимадағы бөлініп таралу заңдылығын анықтаймыз. Ол үшін көлденең құбыр ішіндегі цилиндр сызық сұйық көлемін r радиусымен және ұзындығы l (4.23-сурет) және барлық өсер ететін күштерге тепе-теңдік жағдайындағысына теңдеу құрамыз:

$$\pi r^2 (P_1 - P_2) = -2\pi r l \mu \frac{du}{dr} \quad (4.91)$$

мұндағы, $\pi r^2(P_1 - P_2) - 1$ және 2 қимадағы қысым күштерінің айырмасы

$$-2\pi r^2 l \mu \frac{du}{dr}$$

цилиндрлі беттің жақтауына түсетін үйкеліс күші. Алдындағы теріс (минус) белгілі Ньютон формуласындағы теріс бағытта (минус), неге десеңіз ұлғайған сайын ондағы жылдамдық кемиді.

Сұйықтың бір қалыпты қозғалысының кезіндегі, ағынның бойының барлық қимасының пішіні мен мөлшері бірдей болады, сонымен қатар қимадағы лайықты нүктелердегі жылдамдығы да бірдей болады, жылдамдығы – тек қана оның бір функциясы:

$$du = -\frac{(P_1 - P_2)r}{2l\mu} dr \quad (4.92)$$

Гидравликалық еңкіштігімен есептесек: $J = \frac{P_1 - P_2}{\gamma l} = \frac{h\omega}{l}$ бұдан $dU = -\gamma \frac{Jr}{2\mu} dr$ болып шығады.

Құбыр қимасымен интегралдап $r = r$ және $r = r_0$ теңестіреміз, сосын жылдамдықтың бөлініп таралу заңын табамыз:

$$U = \gamma \frac{J}{4\mu} (r_0^2 - r^2)$$

Орталық ағынша үшін $r = 0$,

Құбырдан аққан сұйықтың шығынын былай есептейміз:

$$Q = \int_0^{r_0} 2\pi r dr U = \int_0^{r_0} 2\pi r dr \frac{1}{4\mu} (r_0^2 - r^2) \gamma,$$

$$Q = \gamma \frac{\pi}{2} \cdot \frac{J}{\mu} \left(\frac{r_0^4}{2} - \frac{r_0^4}{4} \right) = \frac{\pi}{8} \gamma \frac{J}{\mu} r_0^4$$

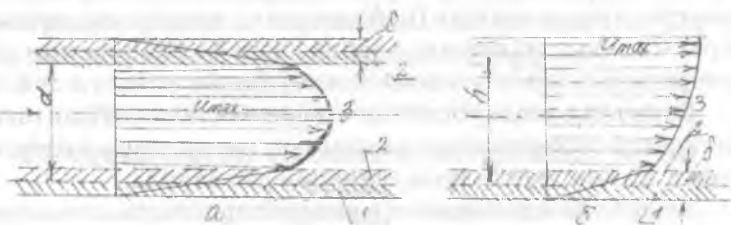
Осыдан орташа жылдамдықты $\vartheta = \frac{Q}{\pi r_0^2} = \gamma \frac{J}{8\mu} \cdot r_0^4$ теңдеуі арқылы шығарамыз, ал максималды және орташа жылдамдықтың қатынасы $\frac{U_{\max}}{\vartheta} = 2$, сұйық қозғалысының турбулентті режимі кезінде сұйық бөлшектері жүйесіз,

бей-берекет қозғалады. Бұл режимде сұйық бөлшектері белгісіз траекториямен қозғалып, әр түрлі жылдамдықпен қозғала отырып, ағынның әр түрлі нүктесінде шамасы да, сонымен қатар бағыты да өзгеріп отырады (оның орташа мағынасына қарағанда). Уақыт аралығындағы лезде өзгертін жергілікті жылдамдықты *жылдамдықтың пульсациясы* деп атайды. Уақыт аралығындағы орташа жылдамдығын, орташаланған жергілікті жылдамдықтың аналитикалық байланысын былай шығарады:

$$U = \frac{1}{T} \int_0^T U dt$$

мұндағы, T – бақылау кезеңі.

Су құбыры ағынының орташаланған жылдамдығы, оның бөлініп таралуының тәжірибе түріндегі нұсқасы 2.24-суретте көрсетілген.



2.24-сурет. Құбырдағы сұйық ағыны жылдамдығының бөлінуі және ашық каналдағы сұйықтың турбулентті режим қозғалысы: 1 – ламинарлы қабыршақ (пленка); 2 – ағынның өту қабаты; 3 – турбулентті ядроның ағыны

Суретте көрсетілгендей ағынның жылдамдығының бөлініп таралуы сұйықтың ламинарлы режимдегі қозғалысынан бөлек. Тек қана шекаралық қабатына құбырмен сұйықтың жұқа жерінде ламинарлы қабыршақтың өтер қабаты ағын жылдамдығы ламинарлы режим қозғалысында сондай өзгереді. Өтер аймақта құйынды ағыс пайда болады да, ағынның жылдамдығы артуынан және қабырғаның кедір-бұдырлығының әсерінен, кедір-бұдыр-

лығы ламинарлы қабыршақтан кем болса, онда құбыр қабырғасы гидравликалық жылтыр болады. Егер кедір-бұдырлығы ламинарлы қабыршақтан биік болса, қабырғаның кедір-бұдырлығынан сұйықтың бей-берекет қозғалысы артады да, қабырға гидравликалы кедір-бұдырлы болады. Шекара қабатында пайда болатын құбырды ағыс, ағынның ортасына жетеді де, турбулентті ағыстың ядросын құрады. Турбулентті ядродағы ағын ішінде тоқтаусыз және қарқынды түрде сұйық бөлшектері араласуымен болады да, қосымша кернеу күші пайда болады.

4.2. Сұйықтың бір қалыпты қозғалысы кезіндегі тегеуріннің жоғалуы (меншікті энергия)

Сұйықтың қозғалысы кезінде пайда болатын кедергіні *гидравликалық кедергі* деп атайды. Ағын кезінде кедергіні жеңуге кететін (қабырғадағы, каналдағы, сұйық арасындағы) меншікті энергияның бөлігін меншікті энергияның жоғалуы немесе тегеуріннің жоғалуы дейді.

Бернулли теңдеуіндегі ағынның нақтылы сұйықтағы меншікті механикалық ағынының жолындағы кедергілерді жоюға жұмсалудың *тегеурін* деп атайды.

Ағын бойында кездесетін кедергілерді гидравликалық кедергілер деп атайды, олар мынадай екі түрге бөлінеді:

– гидравликалық ұзындықтағы кедергілер. Оған ағынның ұзындығына байланысты өзгертін кедергілер жатады. Ұзындық кедергілеріне сұйық бөлшектерінің арасындағы өзара үйкеліс кедергілері кіреді. Бұл кедергілер ағынның ұзындығына байланысты болады.

– жергілікті кедергілер, олар ағынның кейбір жеке-жеке жерлерінде кездеседі де, олар өздігінен табиғи және жасанды болып бөлінеді. Табиғи жергілікті кедергілерге өзен арнасының кенеттен кеңейгендігі және кенеттен тартылған жерлері, каналдың айналма бұрылмасы жатады; жасанды жергілікті кедергілерге құбырдағы үйкеліс, ысырма, вентиль, кран, диафрагма, т.с.с. ағынның белгілі бір жерінде ғана кездесетін әр түрлі құбыр жабдықтары жатады.

Гидравликалық кедергілердің түріне байланысты тегеурін шығындарын да екі түрге бөледі:

а) ағынның кейбір жеке-жеке жерлерінде кездесетін *тегеурін шығындары* деп атайды да, оны h_v деп белгілейді. Бұл шығындар шамасы ағын ұзындығына байланысты болмай, тек жергілікті кедергілеріне байланысты өзгереді;

ә) ағын арнасының ұзындығына қарай өсетін тегеурін шығындарын *ұзындық шығыны* деп атайды.

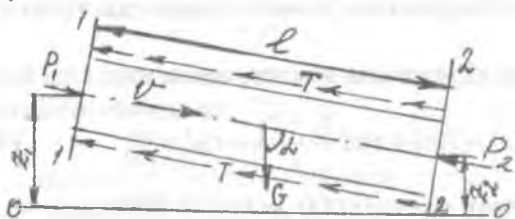
Сонымен, сұйық қозғалысы кезіндегі тегеуріннің жоғалуы барлық үйкелістерін жоғалатын тегеурін ағын бойындағы гидравликалық кедергілерінің қосындысынан тұрады, яғни, толық тегеурін шығыны

$$h_v = \Sigma h_j + \Sigma h_x, \quad (4.93)$$

болып өрнектеледі. Мұндағы, Σh_j – ағынның барлық учаскелеріндегі ұзындық шығындарының қосындысы; Σh_x – барлық жергілікті шығындардың қосындысы.

4.3. Сұйықтың бір қалыпты қозғалысының негізгі теңдеуі

Сұйықтың бір қалыпты қозғалысы ағынның барлық бойындағы қимасының пішінінде және оның өлшемдеріне де, сонымен қатар қималарындағы нүктелерінің жылдамдығына да бірдей болады. Мысалы, сұйықтың бірқалыпты қозғалысына құбырдағы сұйықтың тұрақты шығынмен ағуы.



4.25-сурет. Сұйықтың бірқалыпты қозғалысының теңдеуін дәлелдеу

Суретте көрсетілгендей, ағынның бір қалыпты қозғалыс кезіндегі сұйық бөлшегінің барлық қималарындағы жылдамдығы бірдей деп аламыз.

Осылай алған кезде есепті шешу оңай болады, себебі тек құбыр қабырғасындағы үйкеліс кедергісін ғана есептеп, сұйық қозғалысы кезіндегі бөлшектерінің арасындағы үйкеліс кедергісін ескермейміз. Біз қарастырып отырған жағдайда, ағын бойындағы гидравликалық кедергінің әсерінен тегеуріні жоғалады, яғни, $h_v = h_{\text{ғбк}}$. Екі қима үшін 1-1 және 2-2 ағын учаскесіне Бернуллі теңдеуін жазамыз:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w(1)} \quad (4.94)$$

немесе жылдамдықтары бірдей болғандықтан,

$$h_{wv} = /z_1 + \frac{P_1}{\gamma} / - /z_2 + \frac{P_2}{\gamma} / \quad (4.95)$$

яғни, ағынның бір қалыпты қозғалысы кезінде тегеуріннің ағын бойында жоғалуы, меншікті потенциалды энергиясының айырмасына тең.

Осы айырманы табу үшін, бөлініп алынған ағын бөлігіне (4.25-сурет) түсетін, сырттан әсер етуші күштерді ағын осіне суммалы проекция күштерін құрамыз.

$$P_1 - P_2 + G \cos \alpha - T = 0 \quad (4.96),$$

мұндағы, P_1 және P_2 - 1-1 және 2-2 қимасындағы күштер; G - бөлініп алынған ағынның салмақ күші; T - ағынның құбыр қабырғасына немесе арнасына түсетін үйкеліс күші.

Теңдеу (1) орнына қойып, шешеміз:

$$P_1 \omega - P_2 \omega + \gamma \omega l \frac{z_1 - z_2}{l} - \tau \chi l = 0 \quad (4.97)$$

Табылған теңдеуді (2) $\gamma \omega$ бөліп, табамыз:

$$/z_1 + \frac{P_1}{\gamma} / - /z_2 + \frac{P_2}{\gamma} / = \frac{\tau l}{\gamma R} \quad (4.98)$$

Бұл теңдеудің сол жағы (3) h_{ω} тең, онда

$$h_{\omega(y)} = \frac{\tau l}{\gamma R} \quad (4.99)$$

Бұл теңдеу (4) – сұйықтың бір қалыпты қозғалыстағы негізгі теңдеуі.

4.4. Канал бойындағы тегеуріннің жоғалуы

Арнаның дөңгелек қимасындағы, егер $r_0 = \frac{d}{2}$ және

$$J = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad (4.100)$$

мағыналардан орташа жылдамдық формуласына қойып,

$$\left(v = \frac{Q}{\pi r_0^2} = \gamma \frac{J}{8\mu} r_0^2 \right) \quad (4.101)$$

$$\frac{v}{\gamma} = \frac{1}{32} \cdot \frac{P_1 - P_2}{\gamma \mu l} d^2 \quad (4.102)$$

табамыз.

Осы теңдеуді J арқылы шешеміз:

$$J = \frac{32\mu v R}{\gamma d^2} \quad (4.103)$$

Табылған теңдеудің (6) сол жағы, құбырдағы тегеуріннің жоғалуы 1-2 және 2-2 қимадағы

$$h_{\omega(y)} = \frac{32\mu v l}{\gamma d^2} \quad (4.104)$$

болады.

Теңдеудің астында және үстінде $v/2$ көбейтіп, сосын $\gamma = \rho g$ алмастырып табамыз:

$$h_{\omega(y)} = \frac{64\mu v^2 l}{2\rho g v d^2} \quad (4.105)$$

$\frac{\mu}{\rho} = \nu$ және $\frac{v}{v d} = \frac{1}{Re}$ алмастыру арқылы шешеміз:

$$h_{\omega(v)} = \frac{64}{\text{Re}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.106)$$

Бұл формула сұйықтың ламинарлы режимдегі қозғалысында тегеуріннің жоғалуын анықтауға арналған.

Мұндағы $64/\text{Re} = \lambda$ айырбастасақ, Вейсбах-Дарсидың формуласын қолданамыз, онда:

$$h_{\omega(v)} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.107)$$

болып шығады. Мұндағы, λ – ағын бойындағы гидравликалық үйкеліс коэффициенті (Дарси коэффициенті). Сұйықтың ламинарлы режим қозғалысы үшін

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (4.108)$$

қолданылады.

4.5. Канал арнасының әр түрлі пішіндегі қимасының көрсеткіштері

Әр түрлі формадағы каналдың бойындағы тегеуріннің жоғалуы, сұйықтың бір қалыпты қозғалысының теңдеуі (4) арқылы табады. Ол үшін Шезидің ұсынысы бойынша, шамасы $\frac{r}{\gamma}$ жылдамдық квадратына пропорционалды деп алу керек.

$$\frac{r}{\gamma} = \frac{1}{C} \cdot v^2 \quad (4.109)$$

немесе (10) $h_{\omega(v)} = \frac{v^2 l}{C^2 R}$ (4.110)

мұндағы, $\frac{1}{C^2}$ – коэффициенттің пропорционалдығы. Бұл формуланы (11) жылдамдығы v арқылы шешсек, онда:

$$v = C \sqrt{RJ} \quad (4.111)$$

мұндағы, $J = h\omega(y)/l$ – гидравликалық еңістік. Формула (12) Шези коэффициенті деп аталады. Шези коэффици-

ентінің өлшемі $-\frac{M^{1/2}}{C}$. Шези формуласы арқылы су құрылыстарының гидравликалық есептеулерін, сұйықтың қысымсыз қозғалысын шешуге арналған.

Ал негізінен практикалық жағдайда C коэффициентінің өлшемсіз болуы өте ыңғайлы, сондықтан пайдалануға мынадай формула ұсынылады:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad (4.112)$$

мұндағы, λ – ұзындықтағы гидравликалық үйкеліс коэффициенті. Формула (11) ұсынылған алмастырушыны қойып табамыз:

$$h_{\omega(v)} = \lambda \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.113)$$

Дөңгелек құбырдың қимасы үшін $4R = d$. Қажетті алмастыруларын қойып, белгілі Вейсбах-Дарси формуласын (9) табамыз. Оны Никурадзе кестесі бойынша анықтайды. Бұл кесте үшке бөлінеді: бірінші зона – ламинарлық режим зонасы ($\chi = \frac{64}{Re}$) бойынша құрылған түзу сызықтан тұрады, оның кедір-бұдырлығы ($\Delta r = \frac{\Delta}{D}$) әр түрлі құбырлар үшін анықталған, $\lambda = f(Re)$ сызықтарының бәрі де I және II түзу сызық бойымен өтеді. Бұл зона туралы қорытындыласақ: а) Рейнольдс санның шамасы $Re < 2320$ ($lg Re < 3.36$); ө) тегеурін шығыны құбырдың кедір-бұдырлығына емес, оның Рейнольдс санына байланысты өзгереді; б) тегеурін шығындары бірінші жылдамдыққа тура пропорционал болып өседі; ($h = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$) және ($\lambda = \frac{64}{Re}$); в) үйкеліс коэффициенті $\lambda = \frac{64}{Re}$ формуласымен анықталады.

Екінші зонаға – III және IV вертикалдар арасындағы (штрихталған) зона жатады. Гидравликада бұл зонадағы су режимін алмасу режимі дейді. Осы зонада ламинарлық режим турбуленттік режимге, турбуленттік режим ламинарлық режимге ауысып отырады. Бұл зонада: а) Рейнольдс саны $2320 < Re < 4000$ ($3.36 < lg Re < 3.6$); ө) құбырдың кейбір учаскелерінде кедір-бұдырлықтың әсер-

інен пайда болған турбуленттік сұйық режимі бірде ұлғайып, бірде кеміп, құбылмалы болады. Сұйықтың қозғалыс режимі құбылмалы болғандықтан, коэффициенттерінің шамасы да өзгеріп отырады.

Үшінші зона – турбуленттік режим зонасы. Кестеде бұл зона IV вертикальдан оңға қарай орналасқан да, оны үш облысқа бөледі.

Бірінші облыс – тегіс арналар облысы. Бұл облыс $Re < 100000$ болғанда II түзу сызықпен көрсетіледі. Бұл облыста: а) тегеурін шығыны $h_1 - 1,75$ дәрежелі жылдамдықта тура пропорционал болады.

$$h_1 = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.114)$$

ә) тегеурін шығынының шамасы h_1 арнаның немесе құбырдың кедір-бұдырлығына байланысты болмайды; б) h_1 немесе λ шамалары тек Рейнольдс санына байланысты өзгереді. Бұл облыстағы λ коэффициентін Прандтль немесе Блазиус формулаларымен анықталып $\lambda = f(Re)$ кестесі тұрғызылады.

Екінші облыс кедір-бұдырлығы арналардағы алмасу облысы деп аталады. Бұл облыс II түзу сызық пен АВ сызығының арасында орналасқан. Бұл облыста: а) тегеурін шығыны $h_1 - 1,75-2,0$ дәрежелі жылдамдыққа тура пропорциональ болып өседі; ә) коэффициенті Рейнольдс саны мен салыстырмалы кедір-бұдырлы Δr шамаларына сәйкес өзгереді.

$$\lambda = f(Re, \Delta r), \quad (4.115)$$

Үшінші облыс – квадратты кедергі облысы. Бұл облыс АВ сызығының оң жағында орналасқан. Бұл облыста: а) тегеурін шығыны екі дәрежелі жылдамдыққа (немесе жылдамдық квадратына) тура пропорциональ болып өседі; ә) λ коэффициенті Рейнольдс санына байланысты болмайды. Бұл облыстағы сызықтардың барлығы көлденең болып орналасқан, яғни Рейнольдс саны қанша көбейгенімен, λ коэффициентінің шамасы өзгермейді;

б) λ және h_f тек құбыр кедір-бұдырлығына ғана байланысты өзгереді:

$$\lambda = f(\Delta z) \quad (4.116).$$

Тегеурінді дөңгелек құбырлар үшін алынған Никурадзе кестесіндегі λ коэффициенттерінің өзгеру заңын басқа түрлі ағындарға да пайдалануға болады.

Гидравликалық тегіс құбыр үшін $Re < 70000$ Блазиус формуласын $\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.226}}$ (4.117) қолданса, Ф.А.Шавелев формуласын $\lambda = 0,25/Re^{0.226}$ өте тегіс құбырлар үшін қолданады.

Гидравликалық кедір-бұдырлы құбырлар үшін (болат, шойын) Ф.А.Шавелев формуласын:

$$\text{егер } v \geq 1,2 \text{ м/с болса, } \lambda = 0,021/d^{0.3} \quad (4.118),$$

$$\text{егер } v < 1,2 \text{ м/с болса, } \lambda = (1,5 \cdot 10^{-4}/d + \frac{1,0}{Re})^{0.3} \quad (4.119)$$

пайдаланады. Төртінші облыс кедергісіне коэффициентті Рейнольдс саны мен салыстырмалы кедір-бұдырлығына байланысты болған жағдайда А.Д.Альтшуль формуласы қолданылады:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_2}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (4.120)$$

мұндағы, K_2 – эквивалентті кедір-бұдырлығы.

4.6. Жергілікті кедергілерден пайда болатын тегеурін шығындары

Сұйық ағынында жергілікті кедергілер кездескен кезінде үйкеліс күшінің әсерінен тегеурін шығындары (судың екпіні кемиді) пайда болады. Бұл тегеурін шығындары жергілікті кедергілердің түріне байланысты болады, жергілікті кедергі бар жерде ағын екпіні шұғыл өзгеріп отырады. Сондықтан жергілікті тегеурін шығын-

дары да, ағын бойынша бір қалыпты болмай айнымалы болады. Ағынның жергілікті кедергісі бар жерлерін былай сипаттауға болады: а) ағыс сызығы мен көлденең қимасының алғашқы бағыты өзгеріп отырады; ө) көлденең қима ағын бойынша не үлкейеді, не кішірейеді; б) ағын мен арна арасында иірім пайда болуы мүмкін.

Жергілікті кедергі бар жерде және оған жақын жерде мынадай құбылыстарды байқауға болады: а) орталанған жылдамдық эпюрасы ағын бойынша өзгеріп отырады; ө) жылдамдық пен қысым пульсациялары үдеп кетеді. Қысым мен жылдамдық пульсацияларының үдеуі сұйық шығынының көбеюіне әкеліп соғады. Сонымен бірге жергілікті кедергінің әсерінен ағын ағысында шамасы мен жылдамдығы құбырдың жеке учаскілерінде өзгереді, (диаметрінің кенеттен кеңеюінен немесе тарылуынан, ағынның ысырма астынан, вентиль арқылы, тордан аққанда) осылардың әсерінен меншікті сұйық энергиясының белгілі сұйық қозғалу кезіндегі сұйық арасындағы үйкелісті жеңуге кетеді де, қалғаны механикалық энергия, жылу энергиясына айналады.

Борд пен Беланженің тәжірибесінің зерттеуіне қарағанда, турбулентті ағын кезінде жергілікті тегеуріннің, жергілікті кедергісінен кейінгі жоғалуы қимадағы жылдамдығының екі еселі дәрежесіне пропорционалды болады, яғни:

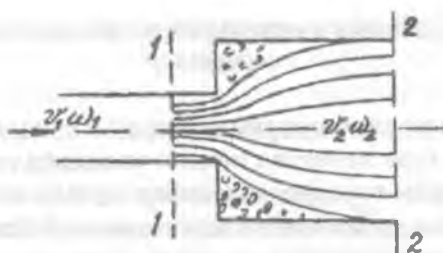
$$h_w = \xi \frac{v^3}{2g},$$

мұндағы, ξ – жергілікті кедергі коэффициенті; v – жергілікті кедергіден кейінгі қимадағы ағынның орташа жылдамдығы.

Жергілікті кедергілердің жиі кездесетін түрлерін қарастыралық.

4.7. Құбырдың кенеттен кеңеюіндегі кедергі

Жергілікті кедергілерді зерттеу кезінде практикада жиі кездесетін түрлерінің бірі – арнаның (құбырдың) кенеттен кеңеюі (4.26-сурет).



4.26-сурет. Құбырдың кенеттен кеңеюі

Тәжірибеге қарағанда сұйық жіңішке құбырдан кең құбырға кірген кезде ақырындап кеңі береді. Құбырдың жіңішке түрінен кеңейген жерінде қабырғамен ағын аралығында иірім зонасы пайда болады.

Ағынның деформациясының әсерінен үйкеліс күшінің артуынан және ағынның айналып иірімделіп ағуынан меншікті энергиясы немесе тегеуріні жоғалады, оны Борд формуласымен есептеп шығаруға болады:

$$h_{k,k} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (4.122)$$

мұндағы, v_1 және v_2 – ағынның 1-1 және 2-2 қимасындағы орташа жылдамдығының қозғалысы.

Немесе сұйықтың бөлінбеушілік заңына сүйене отырып, жылдамдықтың v_1 , v_2 әсерінен тегеурін шамасының жоғалуын былай анықтайды:

$$h_{k,k} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1^3}{v_2^3} \quad (4.123)$$

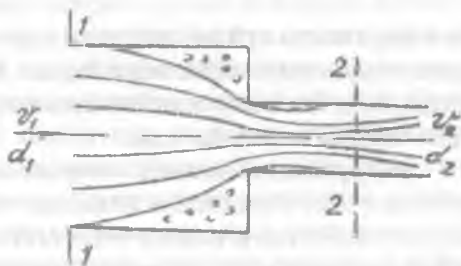
$$h_{k,k} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \frac{v_1^2}{v_2^2} \quad (4.124)$$

Бұдан ағынның кенеттен кеңу кезіндегі кедергі коэффициентін табамыз:

$$\xi_{v,v1} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad \xi_{v,v2} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \quad (4.125)$$

4.7.1. Құбырдың кенеттен тарылуы кезіндегі кедергілер

Құбырдың кенеттен тарылуы (4.27-сурет) кезіндегі кедергілер тура кенеттен кеңеюі кезіндегі кедергі сияқты, оның тарылған жерінде және құбыр қабырғаларының арасында дөңгеленген иірім зонасы пайда болады да, осының әсерінен сұйық екпіні әлсіреп, тегеуріні жоғалады.



4.27-сурет. Құбырдың кенеттен тарылуы

Мұндағы кедергі коэффициентін ($\xi_{к\tau}$) И.Е.Идельчиктің формуласымен табуға болады:

$$\xi_{к\tau} = 0,5 \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2}\right) \quad (4.126)$$

және $d_2 > 0,5d$ болған жағдайда А.Д.Альтшульдің формуласымен табады:

$$\xi_{к\tau} = \left[\frac{1}{0,57 + \frac{0,043}{1,1 \cdot d_2^2 / d_1^2}} - 1 \right] \quad (4.127)$$

Тіпті болмаса Вейсбахтың тәжірибесімен тапқан мәліметтер арқылы табуға болады:

d_2/d_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\xi_{к\tau}$	0,6	0,49	0,46	0,43	0,4	0,35	0,29	0,22	0,14	0

4.7.2. Резервуардан құбырға кірер кезіндегі кедергіні табу

Бұл жағдайда кедергі коэффициентінің (4.127) формуласымен табамыз.

Егер, $d_2 \ll d_1$ яғни $d_2 \approx 0$ болса, онда $\xi_{\text{к.т.}} = 0,5$ тең болады.

Құбырдың бірқалыпты иілуі 900 кезіндегі кедергілер ағын қозғалысының бағытының өзгеруінен, ортадан тепкіш күш әсерінен ағында көлденең циркуляция пайда болады да, ағынның ток сызығы бұрандалы түрінде болып ағады. Осының әсерінен тік учаскедегі ағынға қарағанда, өте үлкен тегеурін шамасы жоғалады. Бір қалыпты иіліп бұрылған құбырдың кедергі коэффициенті $\xi_{\text{б.т.}}$ құбырдың диаметрінің (d) дөңгеленіп иілу радиусының (R) қатынасына тең:

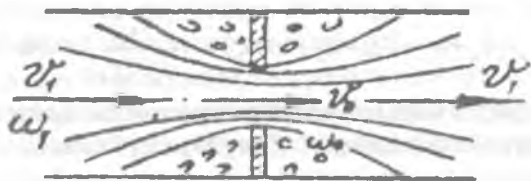
d/R	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$\xi_{\text{к.т.}}$	0,14	0,15	0,16	0,18	0,21	0,24	0,29	0,44	0,60	0,98	1,41	1,98

Құбырдың кенеттен бұрылуы. Кедергі коэффициентінің шамасы бұрыштың бұрылуына байланысты болады (α):

α , град	30	40	50	60	70	80	90
$\xi_{\text{б.т.}}$	0,2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	1,1.

Диафрагма дөңгелек тесікті диск түрінде болады да, онымен құбырдан аққан сұйықтың шығынын өлшейді. Диафрагманың кедергі коэффициенті $\xi_{\text{д}}$ тесік ауданының көлденең қима ауданының қатынасына тең.

ω_0/ω	0,10	0,2	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
$\xi_{\text{д}}$	2,45	51,2	18,2	8,25	4,0	2,0	0,97	0,49	0,12	0



4.28-сурет. Диафрагма

Ысырма. Ысырманың кедергі коэффициенті ξ_{61} құбыр қимасын жабу дәрежесіне байланысты болады, оның көлденең қимасын табу биіктігінің α құбыр диаметрінің d қатынасына тең.

α/d	0,875	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0
ξ_{61}	97,8	35	10	4,6	0,98	0,44	0,17	0,06	0,05

Жергілікті кедергілердің коэффициенттерінің басқа түрлерінің шамасын гидравликалық анықтамадан табуға болады.

4.8. Барлық кедергілердің әсерінен тегеуріннің жоғалуы

Жергілікті кедергілердің коэффициентті $\xi_{ж}$ көбісі турбулентті қозғалыста болады. Рейнольдс саны $>5(10^3 \dots 10^4)$, сұйықтың тұтқырлығы өте жоғары болған жағдайда, сұйық қозғалысы Рейнольдс саны аз болған жағдайда жергілікті кедергілер коэффициенті, оның кедергілерінің геометриялық көрсеткіштері мен Рейнольдс санына байланысты болады.

Егер де сұйық жүргізгіш құбырда бірнеше жергілікті кедергі кездесе, әрқайсысы өзінің кедергі коэффициентімен, онда олардың барлығының қосындысымен жергілікті кедергілерден барлық тегеурінінің жоғалуын есептейді.

$$\Sigma h_{ж} = (\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n) \quad (4.128)$$

Егер де құбырдың бойындағы және жергілікті кедергілерден жалпы тегеуріннің жоғалуын былай есептейді:

$$h_{ж} = h_{ж} + h_v = \left(\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (4.129),$$

мұнда, жақшаның ішіндегі теңдеу шамаларын жүйенің кедергілер коэффициенті (ξ жүйе) деп атайды.

4.9. Тегеурінді құбырдың гидравликалық есептеулері

4.9.1. Құбырлардың классификациясы. Есептеу формулаларының негіздері

Құбырларды әр түрлі сұйықтарды тасымалдау үшін (су, газ, мұнай, бензин, керосин, әр түрлі ерітінділерді) пайдаланады да, оларды металдан, бетоннан, ағаштан, құйма шойыннан, пластмассадан жасайды.

Құбырдың көлденең қимасының сұйыққа толуына қарай тегеурінді және тегеурінсіз сұйық жүргізгіш құбырлар болып бөлінеді.

Тегеурінді құбырда көлденең қимасы сұйыққа толып ағады да, тегеурінсіз құбырда оның көлденең қимасының біраз бөлігі сұйыққа толмай ашық бетімен ағады.

Тегеурінінің жоғалуына қарай қысқа және ұзақ сұйық жүргізгіш құбыр болып бөлінеді.

Қысқа сұйық жүргізгіш құбыр, ондағы жергілікті тегеуріннің жоғалуы, құбырдың бойындағы тегеуріннің жоғалуымен бірдей болады. Оларға бензин мен май жүргізгіш, сұйық сорғыш станциялардың сорғыш құбырлары, сифондар, т.б. жатады.

Ұзақ сұйық жүргізгіш құбырдың жергілікті тегеурінінің жоғалуы өте аз және ұзақ құбыр тегеурінінің 10% -нан аспайды, яғни $h_x \leq 0,1h^1$. Оларға су жүргізгіш және мұнай жүргізгіш (тасымалдау) құбырлары жатады. Бұлардың өздері (ұзақ құбыр) жай және күрделі құбыр болып бөлінеді.

Жай сұйық жүргізгіш құбырлар тармақсыз болады; ал күрделі сұйық жүргізгіш құбыр әр түрлі ұзындықта және айнымалы диаметрлі болып, сонымен қатар бір-бірімен және тізбектеліп жалғасады.

Күрделі сұйық жүргізгіш құбырларда тұйық (бірімен-бірі жалғасады) және айнымалы бөлініп таратушы желі жасалынады. Тұйық желіде сұйық бір бағытта ғана ағады. Айнымалы желіде тұтынушы нүктеде сұйық бірнеше бағыттан келіп беріледі.

Сұйық жүргізгіш құбырдың гидравликалық есептеулеріне негізгі белгілі екі көрсеткішімен үшіншісін табу: белгілі сұйық шығыны мен тегеуріннің жоғалуы арқылы диаметрін табу немесе белгілі екеуімен үшіншісін табу. Сұйық жүргізгіш құбырлардың есептеулерінде Бернуллидің теңдеуін, Шезидің және Вейсбах-Дарсидың формулалары мен есептеуін қолданады.

Шезидің формуласы сұйықтың бөлінбеушілік теңдеуімен байланыстыра отырып, $Q = v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2$ сұйықтың шығыны шамасын Q табуға болады:

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{R \cdot J} \quad (4.130)$$

Егер $K = \omega \cdot C \sqrt{R}$ белгілесек, онда $Q = K \sqrt{J}$ (4.130¹) болады.

Бұдан гидравликалық еңістікті табуға болады:

$$J = \frac{Q^2}{K^2} \quad (4.131)$$

Тегеуріннің жоғалуы:

$$h_w = \frac{Q^2 l}{K} \quad (4.132)$$

Ары қарай $\lambda = \frac{8g}{C^2}$; $v = \frac{Q}{\omega}$; $d = 4R$ Вейсбах-Дарсидың формулаларына осы мағыналарды қойып:

$$h_w = \frac{8g}{C^2} \cdot \frac{1}{4R} \cdot \frac{Q^2}{\omega^2 2g} \quad (4.133)$$

немесе теңдеуді жеңілдеткеннен кейін, $h_w = \frac{Q^2 l}{\omega^2 C^2 R}$ яғни

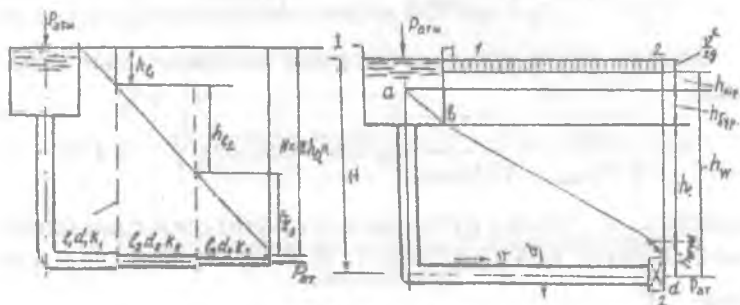
$$h_w = \frac{Q^2 l}{K^2} \quad (4.134)$$

Бұл формула (4.134) – сұйық жүргізгіш құбырды есептеу кезіндегі негізгі формула. Бұл формуладағы K шамасы – сұйықтың шығын көрсеткіші немесе құбырдың шығынының модулі. Гидравликалық еңістік $J = 1$ болған жағдайда құбырда сұйық шығыны болады. Құбырдың диаметрі мен осы шамалардың және қандай мате-

риалдан жасалуына байланыстылығы, арнаулы кестеде, гидравликалық анықтама кітаптарында көрсетілген. Сұйық шығынының модулінің кері шамасы $A = \frac{1}{K^2}$, оны сұйық жүргізгіш құбырдың меншікті қедергісі деп атайды да, ол санды түрде тегеурінге тең деп алынады, ал жалпы құбырдың бірлік ұзындығындағы меншікті шығынының тегеурініне тең.

4.10. Сұйық жүргізгіш құбырдың есептеулері

Қысқа құбырдың есептеулері. Сұйықпен толтырылып резервуармен жалғасқан, өзіндік жергілікті кедергісі бар қысқа құбырды қарастырамыз (4.29-сурет).



4.29-сурет

Сұйық ағыны құбырмен атмосфераға ағып шығады, құбырдың ұзындығы l , диаметрі d , тұрақты тегеурін H . Құбырдың ұзындығы мен диаметрі белгілі болған жағдайда, сұйықтың жылдамдығы v мен сұйықтың шығыны Q табу керек.

Ол үшін 1-1 және 2-2 көлденең қимасына Бернуллидің теңдеуін салыстырмалы жазықтықтағы 0-0 теңдеу құрамыз. Ол үшін былай деп аламыз:

$$v_1^2/2g=0; H_1 - H_2 = H \text{ және } v_1 = v_2,$$

онда:

$$H_1 + \frac{P_{амл}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{P_{амл}}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w \quad (4.135)$$

немесе $H = \frac{v^2}{2g} + h_w \quad (4.135^1)$.

Мұндағы, h_w - 1-1 және 2-2 көлденең қимадағы барлық тегеуріннің жоғалуын (ұзақ және жергілікті кедергілердің қосындысы) оларды мына формуламен анықтайды:

$$h_w = \xi_{жүйе} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.135^2)$$

Формула (4.135) былай жазуға болады:

$$H = \frac{v^2}{2g} (1 + \xi_{жүйе}) \quad (4.136)$$

Осыдан кейін сұйық ағынының жылдамдығын табамыз:

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \xi_{жүйе}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi_{жүйе}}} + \sqrt{2gH} = \varphi \sqrt{2gH} \quad (4.137)$$

мұндағы, φ – қысқа құбырдың өткізуінің жылдамдығының шығын коэффициенті. Құбыр есептеулерінде $\mu_{жүйе} = \varphi$.

4.29-суреттегі пьезометрдің сызығы а-в-с-d қиғаш сызығымен көрсетілген.

4.10.1. Ұзын құбырдың бір-бірімен кезектесе жалғасуының есептеулері

Әр түрлі диаметрлі d_1, d_2, \dots, d_n құбырдың бір-бірімен жалғасқан ұзындығы l_1, l_2, \dots, l_n мен ағатын сұйықтың шығыны тұрақты болған жағдайын қарастырамыз. Алдымен құбыр ұзындығындағы барлық тегеуріннің жоғалуын анықтаймыз, жергілікті кедергіден тегеуріннің жоғалуын ұзын құбырдың есептеуінде еске алмаймыз:

$$H = \sum_{i=1}^n h l_i = h e \quad (4.138)$$

Өйткені құбырлар бірнеше n учаскеден тұрғандықтан және әрқайсысы әр түрлі диаметрлі буыннан тұрғандықтан, әрбір учаскеге былай жазамыз:

$$hl = \sum_{i=1}^n h_i = Q^2 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{K_i^2} = Q^2 \left(\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2} + \dots + \frac{l_n}{K_n^2} \right) \quad (4.139)$$

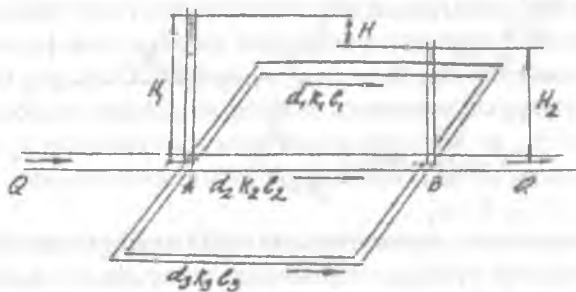
Формула (4.139) негізгі сұйық жүргізгіш құбырдың әр түрлі ұзындықта және диаметрде бір-бірімен жалғасқан түрін жай (оңай) сұйық жүргізгіш құбыр дейді, оның барлық тегеурінінің жоғалуы, құраушы құбырлардың тегеурін шығындарының қосындысына тең болады.

Формула (4.139) арқылы керісінше есептеуге болады, яғни берілген тегеурін құбырдың диаметрі және құбырдың учаскесінің ұзындық көрсеткіштері арқылы сұйықтың шығынын есептеп табуға болады:

$$Q = \sqrt{\frac{H}{\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2} + \dots + \frac{l_n}{K_n^2}}} \quad (4.139')$$

4.11. Құбырдың параллельді жалғануының есептеулері

Параллельді жалғанған құбырлардың гидравликалық сызбасының жұмыс істеу тегеуріннің күш әсерімен, бойындағы тегеуріннің жоғалуын h_o жеңуге кетеді.



4.30-сурет. Параллельді жалғанған құбырды есептеу сызбасы

Сонымен параллель жалғанған құбырдың барлық тармақтарындағы тегеуріннің жоғалуы бірдей болады, яғни

$$hl = hl_1 = hl_2 = hl_3 = H \quad (4.140).$$

Құбырлардың параллельді жалғанған кездегі есептеулерін жүргізу үшін әрбір тармақтарына жеке-жеке теңдеу құру керек (4.135):

$$hl_1 = \frac{Q_1^2 l_1}{K_1^2}; \quad hl_2 = \frac{Q_2^2 l_2}{K_2^2}; \quad hl_n = \frac{Q_n^2 l_n}{K_n^2} \quad (4.141)$$

Құбырдан аққан сұйықтың шығынын анықтаудың жалпы теңдеуі:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = K_1 \sqrt{\frac{H}{l_1}} + K_2 \sqrt{\frac{H}{l_2}} + \dots + K_n \sqrt{\frac{H}{l_n}} = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (4.141')$$

4.12. Құбырдың тұйықталған және айнымалы желілерінің есептеулері

4.12.1. Құбырдың тұйықталған желілерінің есептеулері

Тұйықталған желілер негізінен магистралды құбырдан және содан шыққан бірнеше тармақтардан тұрады.

Суретте көрсетілгендей су мұнарасынан шыққан магистралды құбырдың екі тармағы шығып, ұзындығы l диаметрлі d су тұтынушыларға жеткізілген тармақтардың геометриялық биіктігі $-z_1, z_2, h_6, z_a$. Суды алу биіктігі h_1, h_2 құбырдың тармаққа бөлінер жеріндегі пьезометрлік биіктігі h_A , су мұнарасының тегеурін биіктігі h_6 тармақ құбырларының тұтынушыларға жеткізу көрсеткіштері: $Q_1, Q_2, l_1, l_2, d_1, d_2$.

Жоғарыдағы формуланы (4.141) негізге ала отырып, магистралды құбырдың ұзындық тегеурінінің жоғалуын анықтауға болады (су мұнарасынан тармақ айырығына дейінгі А) және әрбір тармақ үшін де:

Магистралды құбыр үшін

$$hl_1(z_a + h_a) - (z_A + h_A)Q^2 = \frac{l}{K^2} \quad (4.141)$$

тармақтар үшін

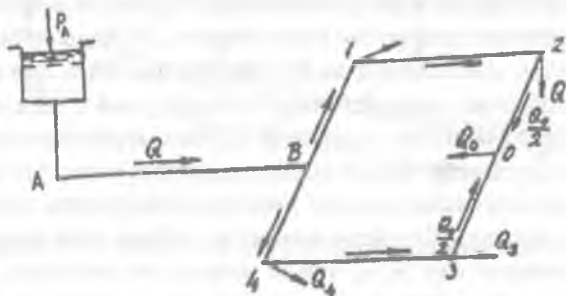
$$hl_1 = (z_A + h_A) - (z_1 + h_1) = Q^2 \frac{l_1}{K_1^2} \quad (4.143)$$

$$hl_2 = (z_A + h_A) - (z_2 + h_2) = Q^2 \frac{l_2}{K_2^2} \quad (4.144)$$

Бұлардың басқа, тармақтардың бөліну нүктесіндегі $Q = Q_1 + Q_2$ (4.143) Теңдеу (4.142) пен (4.143) тұйықталған су жүргізгіш желілер үшін негізгі есептеу формуласы болып есептелінеді.

4.12.2. Айнымалы желілердің есептеулері

Айнымалы желілер құрамы магистралды және тұйық дөңгелекті құбырдан тұрады да, сұйық мұнарасы немесе резервуармен жалғасады. Тұйық дөңгелекті сұйық жүргізгіш желілерді қарастыралық: олар магистралды сұйық жүргізетін А-В және айналып дөңгелекті жалғасқан В-1-2-3-4-В (4.31-сурет). Сұйық шығынының 1, 2, 3, 4 нүктеден алынған Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 деп белгілейміз.



4.31-сурет. Айнымалы желіні есептеу сызбасы

Топографиялық негіздерге сүйене отырып, құбыр учаскесінің ұзындығын, құбыр диаметрін, сұйықтың

айнымалы қозғалысын, бағытын және желінің нөлдік нүктесін (бөлу) анықтаймыз. Нөлдік нүктені солай етіп таңдау керек, бөлінетін нүктеден солға да және оңға да тармақтардағы тегеуріннің жоғалуы бірдей болу шарт. Содан кейін, тізбектеліп жалғасқан құбырдағы есептеулерден, құбырдың диаметрін және әрбір учаскедегі сол жақ және оң жақтағы тармақтардағы тегеуріннің жоғалуын есептейміз.

Егер де нөлдік нүкте дұрыс табылса, онда сол жақтағы тармақтың жоғалуының қосындысын, оң жақтағы тармақтардікімен бірдей болады, яғни

$$h_{0-2} + h_{2-1} + h_{1-3} = h_{0-3} + h_{0-4} + h_{4-B}.$$

мұндағы, $h_{0-2}, h_{2-1}, \dots, h_{4-B}$ – әрбір учаскедегі тегеуріндердің жоғалуы.

Егер осы жағдайдағы есептелуі дұрыс келмесе, екі жақтағы тегеурін шығыны теңескенше қайталап есептеу керек.

4.13. Су құбырларындағы гидравликалық дүмпу құбылысы

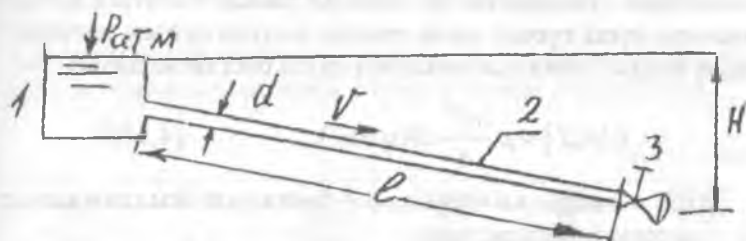
Тегеурінді су құбырларындағы судың жылдамдығының кенеттен өзгеруіне байланысты, құбыр қабырғасына түсетін қысымның қайта-қайта бір өсіп, бір кемуіндегі толқынды *гидравликалық дүмпу* деп атайды.

Гидравликалық дүмпуді сұйық құбырларындағы үздіксіз шуылдар мен оның дірілдеуінен байқауға болады.

Гидравликалық дүмпу кезінде құбырдағы сұйықтың қысым шамасы бірнеше есе өсіп, құбыр қабырғаларына қатты әсерін тигізеді, кейде жарып та жібереді, соның салдарынан құбыр апаттары жиілеп кетеді. Алғашқы кездерде осы апаттардың болуын құбыр материалдары беріктігінің нашарлығынан көріп келген. Сондықтан, гидравликалық дүмпу құбылысының әсерін бірінші рет негізін салған орыс ғалымы Н.Е.Жуковский болатын.

Мәскеу су құбырларында өте жиі болып тұратын апаттардың себебін анықтау үшін, ұзындығы 760 м су құбырына арнайы жүргізілген тәжірибелердің арқасында Н.Е.Жуковский 1893 жылы гидравликалық дүмпудің негізін салып, оның қалай пайда болатын математикалық формуламен дәлелдеді.

Гидравликалық дүмпу құбылысын, мысал ретінде резервуар (1), құбыр (2) жылдамдығы v , ұзындығы l диаметрі d , осы құбырда ысырма (3) бірдей тез жапқан кезде, судың жылдамдығы нөлге дейін кемиді де, судың кинетикалық энергиясы түгел потенциалдық энергияға айналады да, құбыр қабырғасына қысым ретінде әсерін тигізеді. Гидравликалық дүмпу кезіндегі пайда болатын қосымша қысымның шамасы өте үлкен болады. Мысалы, диаметрі 150 мм шойын құбырларындағы сұйықтың жылдамдығы 1 м/с суды кенет тоқтатқанда, дүмпу қысымның шамасы 13 атмосфераға дейін өседі. Сонымен құбыр материалдары мен сұйық ағынында серпімділік қасиеті болуынан, ысырманы жапқанда сұйық бірден тоқтап қалмайды. Айталық, ысырма бірден толық жапқанда Δt уақыт ішінде сұйықтың ысырмаға жақын тұрған сұйық қабаты ΔS қана тоқтайды (4.32-сурет).



4.32-сурет. Гидравликалық соққыны есептеу сызбасы

Сонда $\omega \Delta S$ көлеміндегі $\rho \omega \Delta S$ сұйық массасы Δt уақыт аралығында жоғарыдан құбырмен ағып келе жатқан сұйықтың салмақ және инерция күшімен ΔS көлемі біраз кемиді. Сұйықтың осы көлемінің кемістігін толтыру үшін құбырдағы тоқтамаған сұйық қабаттарынан аққан

v_0 жылдамдықтағы сұйық көлемі қосылып толтырылады. Бұл қабатта лезде сығылу үдерісі жүреді де, қысым артады, мұны дүмпу қысымы ΔP деп атайды. Сонан соң тоқтайды да, келесі сұйық қабаты сығылады, онда да қысым артады, т.т. Дүмпу қысымы Δt уақыт аралығында резервуарға жетеді, онда дүмпу қысымының таралу жылдамдығы мынаған тең:

$$C = \frac{l}{\Delta t} \quad (4.145),$$

мұндағы, C – дүмпу толқынының таралу жылдамдығы.

Құбырдағы сұйық бөлшектерінің сығылуының әсерінен өте үлкен энергия пайда болады, резервуардағы сұйыққа қарағанда, сонан кейін резервуардағы судың қысымының әсерінен, сұйық резервуардан ысырмаға қарай қозғалады да, қайтадан сығылғыш жаңа толқын жүреді, осылай қайталанып отырады. Негізінде гидравликалық дүмпу – өте күрделі құбылыс, сондықтан біз тек қысымның артуын ΔP анықтаймыз.

Ол үшін, қарастырылып отырған құбылысқа сұйық қозғалысының санды өзгеру теоремасын қолданамыз. Ысырма маңында Δt уақыт аралығында сұйық көлемі тоқтайды, ұзындығы dl , оған ΔP пайда болатын артық қысым күші түседі, онда тоқтап қалған сұйық массасының санды қозғалысының өзгеруін былай жазады:

$$[\Delta KД] = \rho \frac{\pi d^2}{4} dl(v - v_a) \quad (4.146)$$

$\Delta KД$ – санды қозғалыс; v – бастапқы жылдамдығы; v_a – аяққы жылдамдығы.

Көрсетілген теоремаға қарағанда ΔP қысымның әсерінен сұйықтың санды қозғалысының өзгеруі импульс күшіне тең болады, яғни

$$\rho \frac{\pi d^2}{4} dl v = \Delta P \frac{\pi d^2}{4} dt \quad \text{немесе} \quad \Delta P = \rho \frac{dl}{dt} \cdot v \quad (4.147)$$

мұндағы, $\frac{dl}{dt}$ – дүмпу толқынының таралу жылдамдығы.

Гидравликалық дүмпу кезіндегі қысымның артуын былай жазады:

$$\Delta P = \rho C v \quad (4.148)$$

Гидраликалық дүмпу шамасын анықтауға арналған формуланы (1.148) Н.Е.Жуковский ұсынған. Мұндағы дүмпу қысымының шамасы құбырдағы сұйықтың бастапқы жылдамдығына байланысты болады.

Дүмпу толқынының таралу жылдамдығын мына формуламен анықтайды:

$$C = \frac{\sqrt{E_0 \rho}}{\sqrt{1 + E_0 d / E \cdot \delta}} \quad (4.148^1)$$

мұндағы, d – құбырдың диаметрі; E – құбыр қабырғасының материалының серпінділік модулі (болат үшін $E = 1.96 \cdot 10^9$, Па); δ – құбырдың қабырғасының қалыңдығы; E_0 – сұйықтың көлемдік серпінділігінің модулі; су үшін $E_0 = 1.96 \cdot 10^9$ Па.

Осы формулаға қарағанда гидравликалық дүмпу құбырлардың ішіндегі кіші диаметрлі құбырлармен, оның материалдарының аз солқылдақтылығы әсерін тигізеді.

Дүмпу толқынының C таралу жылдамдығының әр түрлі мағынасының және δ әсері кестеде көрсетілген.

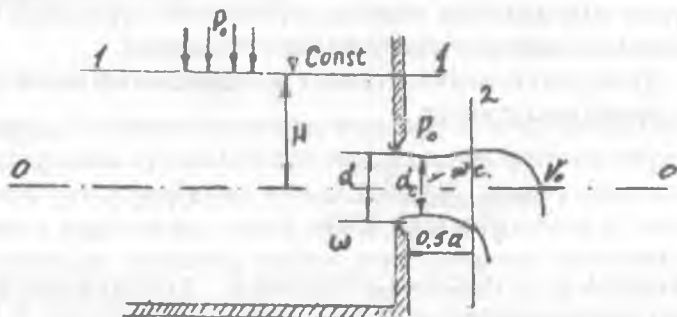
4.1 кесте

d мм	б мм	C, м/с	d мм	б мм	C, м/с
50	7	1348	200	10,5	1200
100	8,5	1289	250	1165	1187
150	9,5	1255	300	12,5	1167

Сұйық құбырларын гидравликалық дүмпудің зиянды әсерін болдырмау үшін ысырманы тез жаппау керек және бұл құбылысты болдырмау үшін құбырлардағы қосымша соққыға қарсы құрылғылар жасайды, олар ауалы қалпақ, теңестіргіш резервуарлар құрылысы болып келеді.

4.14. Сұйықтың тесіктен ағып өтуінің гидравликалық есептеулері

Сұйықтың жұқа қабырғадағы тесіктен ағуы. Ыдыстың бүйіріндегі тесіктен судың ағу сызбасы 4.33-суретте көрсетілген.



4.33-сурет. Сұйықтың тесіктен ағып шығуын дәлелдеу

Жиік ұшы үшкір болғандықтан, бұл тесікті жұқа жиікті тесіктер деп атайды. Жұқа жиікті тесіктердегі ағыс сызықтары қисық және бір-бірімен параллель болмайды. Сондықтан, қысымды жылдамдықты тесік-қиғасы бойынша өзгеріп отырады. Мысалы, қысым шамасы тесіктің жиегінен осіне қарай өссе, жылдамдық шамасы керісінше тесіктің осінен жиегіне қарай өседі.

Базеннің жүргізген тәжірибесі бойынша, беті ашық ыдыстың түбіндегі дөңгелек тесік арқылы аққан ағында манометрлік қысым шамасы тесіктің жиегіндегі нөлге тең болса, тесіктің осінде $0,68H$ шамасына тең болады, (мұндағы, H – сұйықтың тесік осіне дейінгі тереңдігі). Ыдыс қабырғасындағы тесіктен ағып шыққан сұйық біраз қашықтан кейін ағын сызықтары түзулене бастайды және бір-біріне параллель бола бастайды.

Тесіктің ыдыстағы орналасу деңгейіне байланысты және сұйықтың ағу жағдайына қарай, ағын сығылудың аяқталған түрі және аяқталмаған, толық және босаң сы-

ғылу, тесіктен аққан сұйықтың астында немесе тесіктен аққан сұйықпен басылмаған болып бөлінген, олар тұрақты және тұрақсыз тегеурінде болады.

Кіші тесік деп, оның көлденең өлшемі α 0,1 Н (мұндағы, H – түсетін тегеурін) кем болғанын айтады. Үлкен тесік деп оның көлденең өлшемі α 0,1Н артық, не тең ($\alpha = d$) болғанын айтады. Егер тесік ағынның формасына және ағыншаның ағу жағдайына ешқандай әсерін тигізбесе, қабырғаны жұқа деп атайды (қабырға қалыңдығы $\delta < 3a$). Егер қабырға қалыңдығы тесіктің көлденең мөлшерінен үш есе көп болса, яғни $\delta > 3a$, онда қабырға қалың деп атайды. Ал егер резервуардың жақтау қабырғасы мен табаны сұйықтың тесіктен ағуына әсерін тигізбесе, яғни тесік қабырға мен табанынан үш есе диаметріндей қашықтықта болса, онда сығылудың аяқталған түрі пайда болады ($l > 3a$). Егер резервуардың бір қабырғасы немесе бірнеше қабырғасы тесіктен үш еселік көлденең тесік шамасынан кем болған жағдайда, яғни ($l < 3a$) тесіктің су астында болмауынан сығылудың аяқталмаған түрі пайда болады. Тесіктен аққан су атмосфераға ағады, тесік су астында болғанда, тесіктен аққан су су деңгейінің астынан ағады.

Алдымен, жұқа қабырғадағы кіші тесіктен аққан суды қарастырамыз.

Бұл тесіктен ағу жылдамдығы мен су шығынын анықтау үшін Бернулли теңдеуін 1-1 және 2-2 қимасына салыстырмалы жазықтықтық арқылы өткен жағдайын қарастырамыз:

$$H + \frac{Pa}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{Pa}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_v \quad (4.149)$$

Бұл жағдайда, тегеуріннің жоғалуы сұйықтың тесікке кірер кездегі жергілікті кедергінің жоғалуымен тең болады, яғни

$$h_v = \xi \frac{v^2}{2g}, \text{ онда } H + \frac{v_0^2}{2g} = (1 + \xi_k) \frac{v^2}{2g} \quad (4.150)$$

Табылған теңдеу (1.150) тесіктен ағу жылдамдығын есептесе, онда

$$v = \frac{1}{\sqrt{1+\xi_k}} \sqrt{2q(H + \frac{v_0^2}{3q})} \quad (4.151)$$

белгілеп таңбаласақ, $\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\xi_k}}$ және $H_v = H + \frac{v^2}{2g}$ формулаларының орнына қойып жылдамдықты табамыз:

$$v = \varphi \sqrt{2gH} \quad (4.152)$$

мұндағы, φ – жұқа қабырғадағы тесік үшін жылдамдық коэффициенті, $\varphi = 0.971$.

Әдетте, резервуардың ауданы тесік ауданынан әлденеше артық, сондықтан v_0 жылдамдық өте аз болғандықтан, оны ескермесе де болады.

Онда формула (1.152) былай жазылады:

$$v = \varphi \sqrt{2gH} \quad (4.152')$$

Сығылу қимасындағы сұйық шығынын бөлінбеушілік теңдеуімен былай анықтауға болады:

$$Q = \omega_{\text{сбл}} v \quad (4.153).$$

Практикалы жағдайда, тесіктің сығылу ауданы $\omega_{\text{сбл}}$ ыңғайлы түрде пайдалану үшін, тесік ауданының байланыстылығын қолданады.

Сығым қимасының ауданы ω_0 деп белгілеп және осы ауданының, тесік ауданының қатынасы сығым коэффициенті (ε) деп атайды, сонда

$$\omega_{\text{сбл}} = \varepsilon \omega_0.$$

мұндағы, ε – сығылу коэффициенті, $\varepsilon = \frac{\omega_{\text{сбл}}}{\omega_0}$ ол кіші тесік үшін $\varepsilon = 0,6 \dots 0,64$, онда:

$$Q = \varepsilon \varphi \omega_0 \sqrt{2gH} \quad (4.154)$$

белгілеп табамыз:

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH} \quad (4.155)$$

мұндағы, μ – шығын коэффициенті.

Жүргізілген тәжірибеге қарағанда, кіші тесік, жұқа қабырға үшін $\mu = 0,61, (0,59...0,63)$.

Тік бұрышты пішіндегі тесіктен ағып өтетін сұйықтың жылдамдығы тесік биіктігі α тікелей байланысты болады, сондықтан алдымен кішкентай саңылау dh тесік биіктігімен ені v тереңдігі h болғандағы элементарлы сұйық шығынын табамыз (сұйықтың ағу жылдамдығын бірдей есептеп):

$$dQ = \mu v dh \sqrt{2gH} \quad (4.156)$$

Онда сұйық шығыны үлкен тесік үшін

$$Q = \mu v \sqrt{2g} \int_H^{H_2} h^{1/2} dh \quad (4.157)$$

немесе

$$Q = \frac{2}{3} \mu v \sqrt{2g} \left(H_2^{3/2} - H_1^{3/2} \right) \quad (4.158)$$

Сұйық ағысының ауыспалы тегеуріні кезіндегі қотарылу уақытын (t) анықтау қажет, оның бір деңгейінің екінші деңгейіне дейінгі жағдайы.

Резервуардағы сұйық көлемінің кему кезіндегі жағдайын және су көлемінің ағып шығуына теңдеу құрамыз:

$$-\Omega dh = \mu \omega \sqrt{2gH} dt \quad (4.159)$$

мұндағы, теңдеудің (4.159) сол жағындағы теріс белгі (минус) резервуардағы сұйық көлемінің ағудан кемуін көрсетеді; Ω – резервуардың қима ауданы; dh – судың деңгейінің dt уақыт аралығындағы өзгеруі.

Теңдеуді (1.159) dt арқылы шешсек, онда:

$$dt = \frac{\Omega dh}{\mu \cdot \omega \sqrt{2gH}}$$

мұны интегралдап табамыз:

$$t = \int_H^{H_2} \frac{\Omega dh}{\mu \omega \sqrt{2gH}} = \frac{\Omega}{\mu \omega \sqrt{2gH}} \int_H^{H_2} h^{1/2} dh$$

бұдан ақырындап:

$$t = \frac{2\Omega(H_1 - \sqrt{H_2})}{\mu\omega\sqrt{2g}} \quad (4.160)$$

шығарамыз.

Резервуар сұйықтың айнымалы тегеуріні кезіндегі толық қотару уақыты, яғни $H_2 = 0$ және $H_1 = H$, онда:

$$t = \frac{2\Omega\sqrt{H}}{\mu\omega\sqrt{2gH}} \quad (4.161)$$

тең болады.

Осы көлемнің тұрақты тегеуріні кезіндегі сұйықтың ағу уақыты, яғни $H = \text{const}$

$$t = \frac{W}{Q} = \frac{\Omega H}{\mu\omega\sqrt{2gH}} \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{H}} = \frac{\Omega\sqrt{H}}{\mu\omega\sqrt{2g}} \quad (4.162)$$

мұндағы, V – резервуарлардағы сұйықтың көлемі.

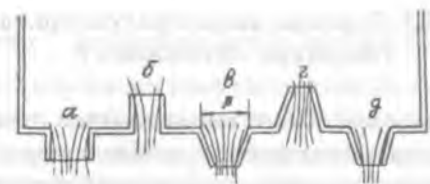
Екі формуланы (4.161 мен 4.162) салыстырсақ, тұрақты тегеурін жағдайына қарағанда сұйықтың белгілі көлемінің ауыспалы тегеурінде ағу уақыты екі есе көп.

4.15. Сұйықтың саптама арқылы ағуын зерттеу

4.15.1. Сұйық саптамасы туралы түсінік

Тесіктен ағып шыққан сұйықтың көлемін, кинетикалық энергиясын арттыру, не кеміту үшін саптаманы қолданады.

Саптама дегеніз – қысқа құбырша, оның ұзындығы 3-4 диаметрінің ұзындығына тең. Саптаманың үш типі болады (4.34-сурет);



4.34-сурет. Саптаманың түрлері: а – сыртқы цилиндрлі саптама (Вентури саптамасы); ә – ішкі цилиндрлі саптама (Борд саптамасы); б – аузы алшақ конус формадағы; в – аузы бүрілген конус формалы; г – коноидалды саптама

Барлық саптамалар тесіктің жұмыс істеуі сияқты ашық ауада, су астындағы режимде, олардан сұйықтың ағуы тұрақты және ауыспалы тегеурін жағдайында істей береді.

Саптамадан ағып шығатын сұйық шығыны, жұқа қабырғадағы тесіктен аққандағы формуламен табады, яғни ашық саптамада тұрақты тегеуріндегі $Q = \mu \omega \sqrt{2gH_0}$ тең, ал су астындағы саптамадан аққандағысы $Q = \mu \omega \sqrt{2gz_0}$ тең.

Мұндағы, H – сыртқа шығар тесігінің ортасынан жоғары қарайғы тегеурін; z_0 – сұйықтың жоғарғы және төменгі деңгейінің айырмасы (сұйықтың кему жылдамдығын есептегенмен бірге); $\mu = \varepsilon \varphi$ – шығын коэффициенті; ол саптаманың типіне (түріне) байланысты болады, олардың көрсеткіштері төменгі кестеде көрсетілген.

4.2-кесте

Саптаманың түрлері және тесіктері	ε	φ	μ	$l_1 = \frac{1}{\varphi^2} - 1$
Жұқа қабырғадағы дөңгелек тесік	0,64	0,97	0,62	0,06
Цилиндрлі сыртқы саптама (Вентури)	1,0	0,82	0,82	0,49
Цилиндрлі ішкі саптама (Борд)	1,0	0,707	0,707	1,0
Аузы ашық конус формалы саптама	0,1	0,45	0,45	3,94
Аузы бүрілген конус формалы саптама	0,98	0,96	0,94	0,06
Коноидалды саптама	1,0	0,98	0,98	0,06

4.15.2. Сыртқы цилиндрлі саптама (Вентури саптамасы)

Сұйық ағыны саптамаға енген кезінде периметрімен сығылады да, сығылған қима ω_c пайда болады. Саптаманың қабырға мен ағыс аралығында шеңберлі иірімді зона пайда болады. Осы зонадағы ауа су ағыны мен тез ағып кетеді де, қысым төмендейді вакуум пайда болады. Вакуум шамасы иірімі зонасының бойында өзгереді де, сығылған қимада максималды мағынасына жетеді. Саптаманың сығылған қимасындағы вакуум шамасын табу үшін Бернулли теңдеуін саптаманың және шығатын қимасына құрамыз:

$$\frac{P_c}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \xi \frac{v^2}{2g} \quad (4.163)$$

Қарастырылып отырған саптамадағы қима арасындағы үйкелістен тегеуріннің жоғалуы, өте аз болғандықтан оны елемейміз, (4.163) формуладан

$$h_{max} = \frac{P_0 - P_c}{\gamma} = \frac{v_c^2 - v^2 - \xi v^2}{2g} \quad (4.164)$$

табамыз, одан ары есептесек $Q = \omega_c \cdot v_c$ және $v_c = v_0 \frac{\omega}{\omega_c} = \frac{v^2}{\varepsilon}$ онда табамыз:

$$h_{max} \frac{v^2}{\varepsilon^2} - v^2 - \xi v^2 = \frac{v^2}{2g} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - 1 - \xi \right) \quad (4.164')$$

немесе формула (1.164) еске алсақ, онда (1.163) формулада кірген коэффициенттердің мағынасы φ , ε , ξ сыртқы цилиндрлі саптамадағы сығылған қимасындағы вакуумның максималды шамасы $h_{max} = 0,75$ Н, бірақ, 8 м артық болмауы керек.

Егер $h_{max} > 8$ м саптаманың шығар аузынан ауамен араласып, сұйық жартылай немесе толық қабырғадан бөлініп кетеді де, вакуум жоғалады, шығын коэффициенті кемиді, саптаманың су жүргізу қасиеті жоғалады.

Саптамалардың салыстырмалы ұзындығы. Егер сыртқы цилиндрлі саптаманың $\frac{l}{d} \geq 2 + 3$ болса ғана пайдалы

болады. Егер $\frac{l}{d}$ аз шамада болса, иірімді зона сыртқы атмосфералармен жалғасып вакуум жоғалады да, сұйық жұқа қабырғадағы тесіктен аққандай болады. Сондықтан (4.164) теңдеуі арқылы саптамадағы жылдамдық пен сұйық шығынының қатынасы оның негізгі критериясы болады, ал саптаманың ұзындығы артқан сайын, ондағы кедергі кернеу күші артып саптаманың шығын коэффициенті кемиді де, m қатынасы артады.

4.15. 3. Саптаманың пайдаланылатын жерлері

Саптама техникада әр түрлі мақсаттар үшін қолданылады. Цилиндрлі саптама резервуарлар мен су қоймаларының су ағызуға арналған. Шығар аузындағы өте жоғары жылдамдықпен және сұйықты алысқа шашуға ауызы бүрілген конусты саптаманы қолданады, олар: өрт сөндіргіш брандспойд, жанармайды бүріккіштер (форсунка), гидроманиторлармен топырақты шаю арқылы, суды қосыммен берудегі үшкір ұшы. Керісінше сұйықтың жылдамдығын кемітуге және қысымын арттыру үшін гидравликалық турбинадан сору құбырында, майлағыш майларды беру кезінде жылдамдығын кеміту үшін аузы алшақ конусты саптаманы қолданады.

4.16. Гидравликалық ағынша

Гидравликалық ағынша дегеніміз – сұйық тасқыны, оның қатты шекарасы болмайды. Гидравликалық ағынша су астында бастырылған және бастырылмаған болып бөлінеді. Бастырылмаған гидравликалық ағынша деп газ арасындағы, мысалы ауада (жаңбырлатқыш және өрт сөндіргіш қондырғылардан, гидромониторлардан, бұрқақтар) ағатын сұйықты айтады.

Су астына бастырылған ағынша деп сұйық қозғалысы сол ортада сондай тығыздықта ағуын айтады (жылу

немесе атомэлектростанцияларынының салқындатқыш – су қоймаларына жіберетін сулары).

Гидравликалық ағыншалар еркін және арналы ағыншалар болып бөлінеді. Сұйықтың еркін ағыншасы деп шексіз жазықтықта қозғалуын айтады. Ал арналы сұйық ағыншасы дегеніміз шектелген жазықтықта арнамен ағуын айтады.

Сұйықтың еркін ағыншасының саптамадағы қозғалысының теңдеуін былай жазады:

$$y = xtg\theta - \frac{gx^2}{2v^2 \cos^2\theta} \quad (4.165)$$

мұндағы, θ – абсцисса осі мен ағу бағытының арасындағы бұрыш; v – ағынның бастапқы жылдамдығы; y – ағынның құлау биіктігі; x – ағыншаның атылу қашықтығы.

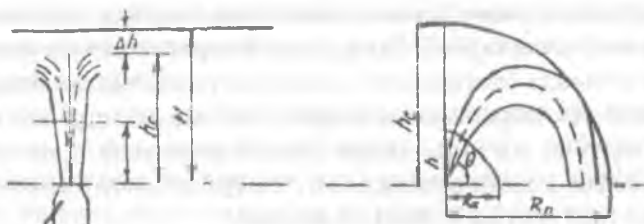
Егер $\theta = 0$ онда жұқа қабырғадағы тік, кіші тесіктен ағатын сұйық ағыншасының осьтік сызығының координатын аламыз:

$$y = -gx^2 / 2v^2 \quad (4.165^1)$$

Сұйықтың еркін ағыншасы бастапқы жылдамдығымен v тік жоғары бағытталған және бұл кезде ауаның кедергісі ескерілмей, сұйық ағыншасының бөлініп майда тамшыға айналуының көтерілу биіктігі:

$$h_r = \frac{v^2}{2g} \quad (4.166).$$

Ағыншаның тік шапшыған биіктігі ha әр уақытта тегурін H -тан Δh тегеуріннің жоғалуына тең (4.35-сурет)



4.35-сурет. Еркін ағыншаларды есептеуге арналған сызба

$$hc = H - \Delta h \quad (4.167),$$

$$\Delta h = K \frac{h_c}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.168)$$

мұндағы, d – саптаманың диаметрі; K – тәжірибе арқылы табылған коэффициент.

Теңдеу (1.167) мағынасын және $\frac{v^2}{2g} = \varphi^2 H$ қойып табамыз:

$$H - h_c = K \varphi^2 \frac{h_a \cdot H}{d} \quad (4.169)$$

$\frac{K \varphi^2}{d} = K_1$ деп белгілесек:

$$h_c = \frac{H}{1 + K_1 H} \quad (4.170)$$

шығады, мұндағы, K_1 – коэффициент. Гидравликалық ағынша үшін

$$K_1 = \frac{0,00025}{d + 10000d^3} \quad (4.171)$$

теңдеуі қолданылады.

Сұйық ағыншасының бастапқы биіктігін былай табамыз:

$$h_c = \beta \cdot h_a \quad (4.172)$$

мұндағы, $\beta = \frac{h_c}{h_a}$ – коэффициент, ағыншаның биіктігіне байланысты болады.

h_a, M	7	12	15	20	25	30	35	40	45	50
$\frac{h_c}{h_a}$	0,84	0,815	0,820	0,805	0,750	0,730	0,690	0,650	0,610	0,570

Егер, саптамадағы ағынның шаптырылуын әр түрлі бұрышпен көкжиекке бағыттаса, көлбеу ағыншаның радиус өсері RH ұлғаяды, тік ағыншамен салыстырғанда:

$$R_H = K_2 h_a \quad (4.173),$$

мұндағы, K_2 – коэффициент, θ бұрышының өзгеруіне байланысты.

θ град	0	15	30	45	60	75	90
K_2	1,4	1,3	1,20	1,12	1,06	1,02	1,0

Гидромониторлық ағыншаның алысқа шапшу қашықтығын l Н.П.Гавыриннің формуласымен табамыз:

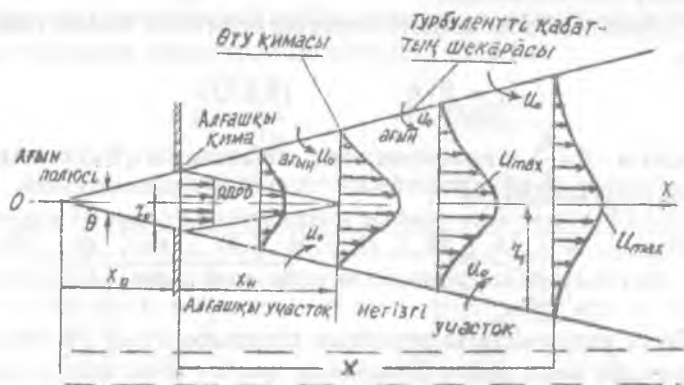
$$l = 0.415\sqrt{\theta d H^2} \quad (4.174)$$

мұндағы, H – саптамадан шығар кезіндегі сұйықтың тегеуріні; θ – ағыншаның көкжиекке көлбеу бұрышы; d – саптаманың диаметрі.

Жаңбырлатқыш ағыншаның шапшу қашықтығы l көкжиекке көлбеу бұрышы $\theta = 32^\circ$, онда жаңбырлатқыш қондырғылар үшін Ф.И.Пикаловтың формуласымен табамыз:

$$l = 0.42H + 1000d \quad (4.175)$$

Су басқан еркін ағынша саптамадан қимылсыз сұйық ортасына сол тығыздық ағындағы ядросы, бастапқы және негізгі учаске болып бөлінеді (4.36-сурет).



4.36-сурет. Бастырылған ағынша сызбасы

Бастапқы ағыншадан нөлге дейін тарылатын оның ядросы пайда болады бастапқы учаскенің ұзындығын Г.П.Авромовичтің формуласымен табуға болады:

$$\chi_H = \frac{0,67}{a} \cdot r_0 \quad (4.176),$$

мұндағы, r_0 – саптаманың радиусы; a – тұрақты сан (0,07...0,08).

Ағыншаның ядросы мен сыртқы шекарасындағы турбулентті шекаралық қабат пайда болады, оның жылдамдығы осінен ағынның шекарасына қарай кемиді. Ағынның бұрыштық кеңеюі $\theta = 13^{\circ}21'$ (... $15^{\circ}10'$) аралығында болады. Ағынның сыртқы шекарасының қиылысу аралығын ағын полюсі деп атайды, ал бастапқы қимадан x_0 қашықтық аралығында орналасқан, дөңгелек ағынша үшін Г.П.Авромовичтің формуласын қолданады:

$$X_0 = \frac{0,29}{a} \cdot r_0 \quad (4.177)$$

Бастапқы учаскеден кейін ағынның негізгі учаскесі келеді, ол тек барлық шекаралық қабаттан тұрады.

Оның жылдамдығы U_{\max} бастапқы қимадан қашықтаған сайын кеми береді:

$$U_{\max} = \frac{0,96r_0}{ax + 0,29r_0} \cdot U_0 \quad (4.178)$$

X қимасындағы ағыншаның радиусы:

$$r = \left(3,4 \frac{ax}{r_0} + 1 \right) r_0 \quad (4.179)$$

Сұйық тесіктен ағып шыққанда немесе саптадан шыққанында қатты кедергіге кездеседі, оған динамикалық күш P әсер етеді. Осы күштің тигізетін әсерін табу үшін сұйық массасының санды қозғалысының өзгеру теңдеуін 0-0, 1-2 және 2-2 қимасын пайдалана отырып шешеміз (4.36-сурет).

Сонымен сұйықтың санды қозғалысының коэффициентін $\alpha = 1$ алып, оның үйкелісінің әсерін және пульса-

циялық жылдамдығын ескермейміз. Жазық бетті кедергіге, ағыншаның түсіретін күш әсері P – қатты дененің қабырғасының реакциясы, ағыншаға қарсы күш әсерін R мағынасына тең болады, ал бағыты керісінше болады:

$$P \cos \theta_3 = m_0 v_0 - m_1 v_1 \cos \theta_1 - m_2 v_2 \cos \theta_2 \quad (4.180)$$

мұндағы, v_0, v_1, v_2 – қимадағы орташа жылдамдықтар.

Егер тегіс жазықтыққа ағынша 90° тік бұрышпен соғылса, онда

$$\cos \theta_1 = \cos \theta_2; \text{ яғни } \cos \theta_3 = 1; P = m_0 v_0 = \rho \omega v_0^2 \quad (4.181)$$

болады, мұндағы, m_1, m_2, m_3 – сұйықтың массасы.

Тәжірибенің көрсетуіне қарағанда, тегіс жазықтыққа ағыншаның тигізетін күш әсері $P = 92 \dots 95 \%$ теория бойынша, себебі жазық бетке ағынның жайылуымен қатар, ағыншаның ток сызығының көлбеу күшпен әсеретуіне байланысты.

Егер тегіс жазықтың ағынша бағытымен бағыттас жылдамдығы U қозғалыста болған жағдайда:

$$P = \rho \omega_0 v_0 (v_0 - U) \quad (4.182).$$

Егер, тегіс жазықтық ағыншаға қарама-қарсы жылдамдығымен қозғалса онда:

$$P = \rho \omega_0 v_0 (v_0 + U) \quad (4.183).$$

Қисық сызықты бет үшін, егер оның бұрышы $90^\circ < \theta_1 = \theta_2 = \theta \leq 180^\circ$ болса, онда ағыншаның қысым күші ұлғаяды.

Ағыншаның шапшып ағу кезіндегі қисық бетті қабырғамен байланысы: а) $\theta_1 = \theta > 90^\circ$;

$$\text{ә) } \theta_1 = \theta_2 = 180^\circ;$$

$$P = m_0 v_0 - 2 m_1 v_1 \cos \theta = m_0 v_0 (1 - \cos \theta), \quad (4.184)$$

Түсу бұрышы $\theta = 180^\circ$ болса, ағыншаның қысым күші ең үлкен мағынада болады:

$$P = m_0 v_0 + 2 m_1 v_1 = 2 m_0 v_0 = \rho \omega v_0^2 \quad (4.185),$$

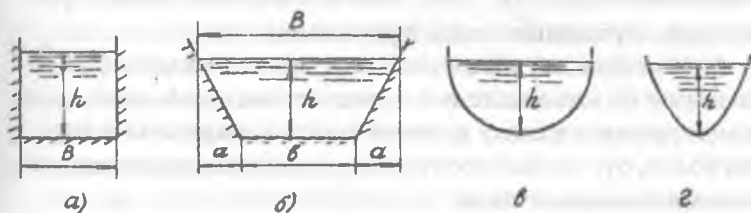
яғни кері бағытпен иілген қысық бетке түсетін қысым күші жазық бетке қарағанда екі есе артық болады. Бұл құбылыс гидравликалық машинаның қалақтарын жобалаған кезде қолданылады.

4.17. Каналдағы және тегеурінсіз су жүргізгіштеріндегі сұйық қозғалысы

Канал мен тегеурінсіз су жүргізгіштердің сұйық қозғалысының ерекшелігі, олар тегеурінсіз ағады (ағынның еркін беті атмосферамен шектеледі) және бір қалыпты (көлденең қимасындағы ағынның орташа және жергілікті жылдамдығы бірдей болады).

Каналдар және тегеурінсіз су жүргізгіштерді халық шаруашылығының саласында, ауыл шаруашылығында, гидроэнергетикада, су транспортында, өндірісте де кең пайдаланады. Бұлардың көбісі кешенді түрде пайдаланылады.

Каналдың түрлері пішіне қарай өр қилы (4.37-сурет).



4.37-сурет. Су жүргізгіштердің көлденең қималарының түрлері: а) қимасы тік бұрышты; б) трапециялы; в) жарты шеңберлі; г) параболалы

Сұйық жүргізгіштігі тұйықталған стандартты түрде бұларды дөңгелек профильді (а), шатырлы (б), овоидальды (в) және науалы қима (г) деп те бөледі.

4.18. Каналдың және тегеурінсіз су жүргізіштердің гидравликалық есептеулері

Каналдың гидравликалық есептеулерін жүргізген кезде, мына үш мәселені шешу керек:

1. Су шығыны Q және v орташа жылдамдығын, берілген табанының еңкіштігі i мен каналдың қабылданған көлденең қимасы ω , каналдың табанының ені b , каналдың суының тереңдігі h , каналдың жақтауының еңісі m , кедір-бұдырлығы n арқылы каналдың негізгі көрсеткіштерін есептейміз:

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{Ri}, \quad v = C \sqrt{Ri} \quad (4.186)$$

мұндағы, ω – каналдың трапециялы көлденең қимасының ауданы; ол $\omega = (b + mh)h$ тең; i – каналдың табанының еңістігі; R – гидравликалық радиус;

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

χ – каналдың трапециялы қимасының сумен жұғысқан периметрі $\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$ немесе Шези коэффициентін қолданамыз; $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$; C – Шези коэффициенті; n – каналдың, құбырдың кедір-бұдырлығы.

2. Каналдың табанының еңкіштігін анықтау. Егер шығыны Q , каналдың ені b , толу тереңдігі h , каналдың жақтауының еңістігі m және кедір-бұдырлығы n берілген болса, бұл мәселе есептелінген шамаларды формулаға қою арқылы шешіледі:

$$i = \frac{Q^2}{\omega^2 R^2 C^2} \quad (4.187)$$

Содан кейін мына шарт орындалуы қажет:

$$i_{min} \leq i \leq i_{max} \quad (4.188),$$

$$i_{max} = \frac{v_m^2}{C^2 R}; \quad i_{min} = \frac{v_k^2}{C^2 R} \quad (4.189)$$

мұндағы, $v_{ш}$ – канал табанын шаймайтын мүмкінді жылдамдығы; $v_{к}$ – тұнба тұрмау жылдамдығы, ағынның орташа жылдамдығының ең кем шамасы, бұл кезде канал арнасында тұнба тұрмайды (қайырмау).

3. Егер шығыны Q , еңкіштігі i , кедір-бұдырлығы n және канал жақтауының еңісі m белгілі болғанда, канал қимасының өлшемдерін (табанының енін v және сумен толу биіктігін h) анықтау.

Бұларды табу көптен белгілі формула арқылы анықтайды:

$Q = \omega C \sqrt{Ri}$, ені белгісіз, h және v табу керек, ол v мен h байланыстылығының теңдеуі: $\beta = \frac{v}{h}$, тағы да v мен h шамаларын беру арқылы каналдан ең көп су шығынын өткізу тәсілі. Каналдың мұндай гидравликалық есептеу әдісі ең пайдалы қимасы деп аталады немесе бірдей су шығыны кезінде, табанының еңістігінде, кедір-бұдырлығында гидравликалық ең пайдалы каналдың көлденең қимасының ауданы ω ең аз көлемде болады.

Мысалы, трапециялы қимадағы канал үшін $\beta_{г.п} = 2\sqrt{1+m^2} + m$ қолдануға болады.

3.1. v мағынасын бере отырып, есеп жағдайына қарай h анықтаймыз.

Бұл мәселені, таңдау тәсілімен шешеміз, яғни тереңдік шамасын h бірінен соң бірін тағайындап бере отырып, осыларға су шығынын есептеп шығарамыз да, қажетті мағынасын тапқанша сонымен каналдағы судың тереңдігі h ізделіп отырған шама болып есептелінеді, судың шығынына сәйкес.

Бұл мәселені шешудің екінші жолы – графоаналитикалық тәсіл.

Тереңдік шамасын h бере отырып, әрбір тереңдік үшін су шығынын анықтайды да, графиктік байланыстылығын тұрғызады $Q = f(h)$. Абсцисса осіне су шығынын бөліп салып, кесте арқылы каналдың суға толуын белгісіз тереңдігін h табады.

3.2. Енді тереңдік мағынасын h бере отырып, әрбір h -қа каналдың табанының енін табамыз (v). Есепті екі тәсіл арқылы жүргіземіз: аналитикалық және графоаналити-

калық. Аналитикалық тәсілмен шығарған кезде v -ның бірнеше мағынасын бере отырып, каналдың есептеулерін соған дейін қайталаймыз, су шығынының керекті шамасын тапқанша. Графонаматикалық тәсілмен табу үшін, график байланыстылығын $Q = f(v)$ тұрғызады, яғни v -ның бірнеше мағынасын бере отырып су шығындарын есептейді де, сол шамаға графигін тұрғызады, абсциссқа су шығыны Q масштабпен салып, іздеп табылатын каналдың табанының енін v табады.

Тегеурінсіз су жүргізгіштердің қандай профильді пішінде болсын, каналдікімен бірдей есептелінеді, олар су шығынын еңкіштігін (i), қимасының өлшемдері арқылы есептелінеді.

4.19. Фильтрация

Фильтрация дегеніміз – сұйық қозғалысының кеуекті ортадан сіңіп ағуы. Атмосфералық жауын-шашын жер бетіне түскеннен кейін, жерге сіңіп, топырақ кеуегін суға толтырады, содан кейін топырақ арасындағы жерасты суы пайда болады. Су өзінің салмақ күшінің әсерінен қозғалысқа түседі. Топырақ арасындағы су ағынын *фильтрациялық ағын* деп атайды. Фильтрациялық ағынның қозғалысы бір қалыпты, айнымалы, тегеурінді және тегеурінсіз болып бөлінеді.

Фильтрациялық ағынның бір қалыпты қозғалысы деп ашық бетінің еңкіштігі, оның су өткізгіштің астыңғы қабатының еңкіштігіне тең болуын айтады және керісінше, егер $i \neq J$ болса, онда айнымалы қозғалыс деп атайды.

Фильтрациялық ағынның қозғалысы тегеурінсіз болады, егер сұйық қозғалысы су өткізбейтін көлбеу жазықтықты жыныс қабаты мен еркін бетінің пайда болуымен депрессиялық жазықтықты айтады, оның қысымы атмосфералық қысыммен тең болады.

Фильтрациялық ағынның қозғалысын тегеурінді деп атайды, егер сұйық екі су өткізбейтін қабаттың арасында орналасып, онан ашық беті болмаса оны тегеурінді дейді.

Фильтрациялық ағынның су шығыны Q , жылдамдығын v , табанының еңкіштігін i , ашық бетінің еңкіштігін J және көлденең қимасын ω деп белгілейді.

Егер судың санды мөлшері кеуекті ортаның көлденең қимасынан бірлік уақытта ағып өтуін фильтрациялық су шығыны деп атайды. Ал су шығынының кеуекті ортадағы көлденең қимасының ауданына қатынасын фильтрациялық жылдамдық деп атайды.

4.20. Фильтрацияның негізгі заңы

Фильтрациялық есептеулердің негізгі мақсаты – фильтрацияның жылдамдығы v мен фильтрациялық ағын шығынын Q анықтау.

1866 жылы француз ғалымы А.Дарси сараптамалық зерттеу арқылы талдау жүргізіп, фильтрацияның негізгі заңын тапқан:

$$v = K \cdot J \quad (4.190),$$

мұндағы, v – фильтрациялық жылдамдық; J – фильтрациялық градиенті немесе фильтрациялық ағынның пьезометрлік еңкіштігі; K – фильтрациялық коэффициент, м/тәуліктегі немесе см/сек.

Фильтрациялық коэффициенті жылдамдық өлшемімен сипатталады да, топырақтың су өткізгіштігіне және оның өлшемі мен бөлшектерінің формасына топырақ құрамының біртектілігіне және кеуектілігіне, сұйықтың температурасына байланысты болады.

Фильтрациялық су шығынын мына формуламен табады:

$$Q = v \cdot \omega = K \cdot J \omega \quad (4.191),$$

мұндағы, v – фильтрациялық ағынның көлденең қимасының ауданы.

Осы формулалар арқылы фильтрация саласындағы барлық есептеулерді жүргізеді.

Бақылау сұрақтары

1. Сұйық қозғалысының қандай ағу режимдерін білесіз және өздеріне төн ерекшелігін атаңыз.
2. Сұйық қозғалысының режимін анықтау критерийлері қандай?
3. Сұйықтың қандай физикалық қасиеті сұйықтың қозғалу режиміне әсер етеді?
4. Сұйықтың әр түрлі тұтқырлығындағы ағын қозғалысының турбулентті және ламинарлы режиміне мысал келтіріңіз.
5. Сұйықтың ламинарлы режим қозғалысы кезіндегі дөңгелек құбырдың көлденең қимасы бойынша жылдамдығы мен қысымы қалай бөлініп таралады?
6. Ламинарлы режим кезіндегі тегеуріннің жоғалуын қалай анықтайды?
7. Су құбырының бойындағы тегеуріннің жоғалуын есептеу формуласына кіретін шаманы талдап түсіндіріңіз.
8. Жергілікті тегеуріннің жоғалуын анықтауға арналған формула қандай?
9. Жергілікті гидравликалық кедергісіне мысал келтіріңіз.
10. Жергілікті кедергілер коэффициенті нені білдіреді?
11. Құбыр бойымен сұйық қозғалған кездегі барлық тегеуріннің жоғалуын қалай анықтайды?
12. Сұйықтың тесіктен ағып шығу кезіндегі коэффициентін қалай анықтайды?
13. Сұйықтың тесіктен ағып шығу кезіндегі жылдамдығы мен өтімін анықтау формуласын жазыңыз.
14. Саптаманың қандай түрлерін білесіз және оларды қолдану туралы айтыңыз.
15. Қысқа су құбырын қандай формулалармен есептейді?

II БӨЛІМ. ГИДРОМЕТРИЯ НЕГІЗДЕРІ

1-тарау. СУ ДЕҢГЕЙІНІҢ ӨЗГЕРУІН БАҚЫЛАУ

1.1. Гидрологиялық желілер және оның негізгі мақсаттары

Өзеннің гидрологиялық режимдерінің негізгі элементтері мен зерттеу мақсатында олардың көп жылдық көрсеткіштерін судың ағуын, деңгейін, ағын суының лайлы-шөгінділері, мұз режимдерін, т.б. анықтайды. Осы көрсеткіштері арқылы гидрологиялық есептеулерін, мәліметтермен су деңгейінің режимдерінің болжамдары, су өтімі және құрылыс жұмыстары мен пайдалану кезеңдеріндегі ағынды су көлемдерін жобалаудың негізі болып есептеледі.

Жалпы мемлекеттік гидрологиялық желілер тірегін, мемлекет көлемінде белгілі ғылыми принцип негізінде сақтай отырып, гидрологиялық станциялар мен постылар жиынтығының бақылау жұмыстарын жүргізеді.

Гидрологиялық желілер өзендерде, көлдер мен батбақта және құрлықтық станциялар және постылардан тұрады. Негізгі қызметінде гидрологиялық постылар күнделікті су деңгейінің, су температурасының және ауаның өзгеруін бақылайды, сонымен қатар желдің бағыты мен күшін, су бетінің толқуын, жауын-шашындарды тіркейді, суда өсетін өсімдіктерді, арна табанының жағдайын және өзеннің қысқы режимінің сипаттамасын белгілеп жазып отырады.

Гидрологиялық станция – гидрометеорологиялық қызмет көрсетудің өндірістік органы, оның негізгі мақсаты – сол аймақтағы судың табиғи құрылыстарының гидрологиялық режимін зерттеу және бақылау.

Гидрологиялық станция екі бөлімге бөлінеді: бірінші разрядты гидрологиялық станция, бұл ұйымдастыру және гидрологиялық бақылау жұмыстарын жүргізеді, су объектілерінің гидрологиялық режимінің материалдарын жинақтап қорытады және өңдеп біріктіре есептерін жүргізеді; белгілеп бекітілген екінші разрядты гидрологиялық станциялар мен постылардың ұйымдастыру және техникалық басқару жұмыстарына басшылық етеді. Екінші разрядты станция көбінесе гидрометриялық станция деп аталады.

Мемлекеттік комитеттің гидрометеорологиялық баспасынан нұсқаулар, басшылықты, міндетті түрде тұрақты станциялар мен постыларда және арнаулы желілерде жоғарыдағы құжатты басшылыққа алады.

1.2. Гидрологиялық постылар

Гидрологиялық посты – таңдап алынған өзен арнасының су жағдайын өлшеуге, қолайлы жеріне орналасқан, жұмыс ережесін бұлжытпай уақытында орындай отырып, барлық мәліметтерді белгілі бағдарламамен гидрологиялық бақылауларды жүйелі түрде жүргізетін посты. Су өлшегіш постыны мызғымас нүктеден жоғарғы су деңгейін анықтауға болатын постының нөл графигінде орналастырады.

Деңгей айырмашылығын анықтау кезінде өлшеу мөндері оң болу үшін постының нөл графигін таңдап орналастырғанда, жыл бойындағы өзен суының ең төменгі ернеу жиегі болуы тиіс.

Постыны жабдықтау өте қарапайым, бірақ тұрақты болуы тиіс және жазда да, қыста да су деңгейін өлшеу ешқандай қиындықсыз өтуі тиіс. Жалпы қабылданған қағида бойынша, су деңгейін өлшеу тәулігіне жергілікті уақытпен 8 және 20 сағатта жүргізілуі тиіс, ал су тасығанда жиі жүргізіледі.

Өзен бойындағы постыларды орналастыру жиілігі бойынша, олардың көрсеткіштері арқылы өзеннен ағып

өтетін судың режимінен толық хабардар болудың басқи, олардың арасындағы су жағдайын білуге болады.

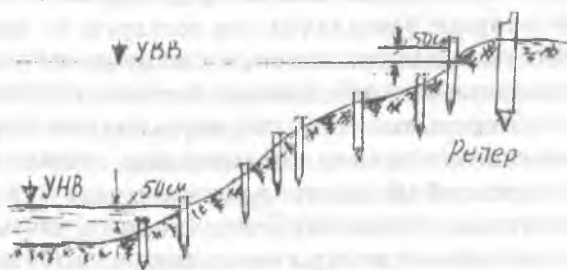
1.3. Гидрометриялық станциялар мен гидрологиялық постылардың құрал-жабдықтары және оларды орналастыру

Гидрологиялық постыларды өзен арнасының тік бөлігінің жайпақ табанды, аралсыз, су өсімдіктері жоқ, алды-артында тоспа суы жоқ жазық арнаға және жазғы-көктемгі су тасу кезінде өзен арнасы деформацияланбайтын елді мекенге, жолға жақын, жылдың қай мезгілінде болсын бақылауға ыңғайлы жерге құрып орнатады.

Су өлшеуші постылардың мынадай түрлері бар: темірқазықты (свайные), таяқшалы (реечные), аралас, беруші және автоматты.

Темірқазықты постыларды орнату үшін ағаш, металл немесе темір-бетон түрлерін қолданады.

Темірқазықты постыларды орналастыру кезінде, жердің тондану тереңдігінен ең кем дегенде 0,5 м тереңдікке ұрып кіргізілуі тиіс. Темірқазықтар аралық биіктіктері – 50-80 см (1.1-сурет). Жер беті деңгейінен 15-30 см шығып тұруы тиіс.



1.1-сурет. Темірқазықты орналастыру түрлері

Жоғарғы және ең төменгі қазықтардың басы су деңгейлерінен (ең төменгі және ең жоғарғы) 50 см биік тұруы

тиіс. Су баспайтын өзен арнасына жақын жеріне реперді орналастырады.

Өзендегі су деңгейін ұзын таяқшамен өлшейді, таяқша 1-2 см белгі көрсеткіштерімен белгіленген. Қыс айларында мұзды ойып, сол тесікке өлшеуіш таяқша түсіріп өлшейді.

Таяқшалы су өлшегіш постыларды тұрақты тік қабырғалы арнаға металды немесе ағашты таяқшаны орнатады (1.2-сурет). Су деңгейін өлшеу үшін оған келіп өлшеу жұмыстарын бақылау өте ыңғайлы болуы тиіс.

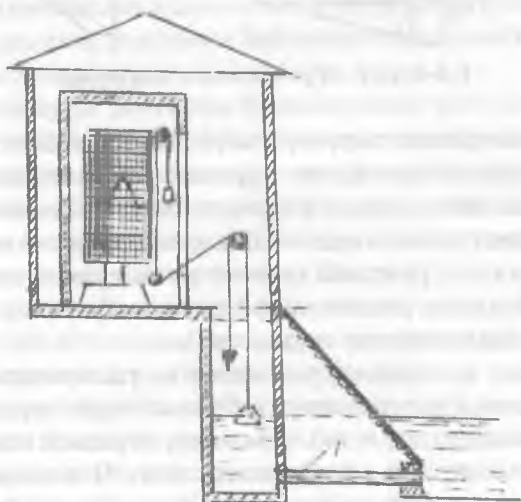


1.2-сурет. Таяқшалы суөлшегіш түрі

Аралас су өлшеуші постыларда жұмыс істеу үшін құрылғыларын бақылауды ең жоғарғы су деңгейін өлшегіш таяқшамен өлшеп, ең төменгі су деңгейін қазықша арқылы өлшеп жазады. Берілісті (құрылғылы) суөлшегіш постыны – бақылау жұмыстарын жүргізуге қолайсыз су кемеріне жету қиын жағдайда, арнаулы құрылғының жартылай автоматты түрін қолданады (1.3-сурет).

Өзен суының деңгейінің өзгеруіне байланысты қалтқыма төмен немесе жоғары көтеріледі, блок (2) және (3) жалғанған, сымарқан (трос) (5) жоғары, не төмен түскенде өлшемді таяқшада (4) белгіленіп тұрады. Автоматты суөлшегіш постыда лимниграф-барабанға ақ қағазбен оралған өзі сызушы торлы құрылғы орнатылады. Барабан сағат механизмі бойынша айналады. Лимниграфтың қалам ұшы сымарқан жүйесінің көмегімен айналады,

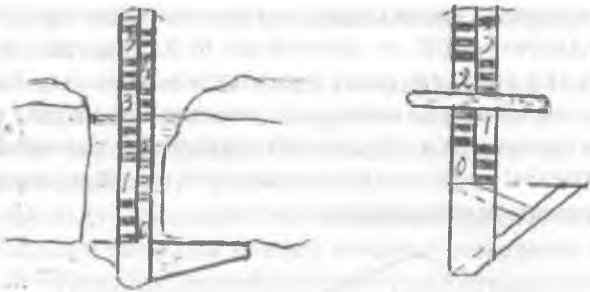
оның жылжуы қалтқының жоғары не төмен түсуі арнаулы құдықтарға (2) су деңгейіне байланысты, құдық, құбыр (1) арқылы өзен суымен жалғасады. Барлық құрал-жабдықтар, өлшеуші аспаптар арнаулы үйшік ішінде орналасқан. Су деңгейінің барлық көрсеткіштері барабандағы қағазға қисық сызық түрінде, әр сағаттағы көрсеткіштері сызылады.



1.3-сурет. Өлшемдеуші үйшік

Қыстың күнгі мұз қалыңдығын мұз өлшегіш арнаулы есепті таяқшамен өлшейді. Онымен өлшеу тәсілі былай жүргізіледі: өлшеуші таяқшаның ұшына ілгекті мұрындықты нөл деңгейін дәлдеп таяқшаны төмен түсіріп мұз қалыңдығын өлшейді. Қабыршық мұз қабатын өлшеу үшін арнаулы Добрянскийдің және Грошеваның өлшеуші таяқшасын қолданады. Оның ұзындығы 4-5 м сызық, сызықта дециметрлі бөлгіш белгісі бар, оның ұшында ашамайлы таяқша (рогатулька) жалғанған.

Сызықты су астынан жоғары көтергенде, ашамайлы таяқшаға қабыршық мұз қабаттары жұғысқанда аздап кедергіге ұшырайды, сонда ол қабыршық мұз қабатының шекарасы болып есептеледі (1.4-сурет).



1.4-сурет. Мұз өлшегіш таяқша

Гидрометриялы зерттеу үш (бірінен соң бірі орындалатын) жұмыс кезеңінен тұрады: а) станциялар мен суөлшегіш постыларды ұйымдастыру; ө) гидрометриялық бақылау пункттерін жабдықтау; б) су объектісінің гидрологиялық режимін зерттеу және күнделікті әрі кезеңдік бақылау жұмыстарынан далалық бақылау материалдарын өңдеп есептеу жұмыстары.

Алынған материалдарды өңдеу де үш кезеңнен тұрады: а) алынған материалдарды бірінші өңдеу жұмысы сол жерде орындалады; ө) ақырғы өңдеу жұмысы станцияда егжей-тегжейлі дәлдеп анықталуы; б) қосымшасын қосып, ал одан кейін өзен алабы (бассейннің) бойынша материалдарын өңдеп есептеп, оны «Гидрологиялық жылнамаға» бастыруға дайындайды. Осы соңғы жұмыс кезеңін жергілікті гидрометрологиялық қызмет атқарушы басқармасы орындайды.

«Гидрологиялық жылнамадағы» су объектілерінің негізгі көрсеткіштерін, ғылыми және гидротехникалық құрылыстар мен су алушы құрылыстарын жобалауда кеңінен қолданады.

1.4. Өзен суының деңгей құбылмалығының графигін түрғызу және деңгейін бақылау

Негізгі өзен суы деңгейін бақылау тәулігіне 2 рет жүргізіледі. Бірақ су постысының мақсатына және

Желдің бағытын өзен суының ағуына байланысты былай белгілейді: ↓ – өзен бойымен төмен; ↑ – жоғары. Толқындауын балмен бағалайды: 1 – аздап; 2 – орташа; 3 – қатты. Жауын-шашын және мұз режимі туралы мәліметтерді ескертпе бағанына толтырып жазады.

Далалық кітапшаның жазылуын бір қалыпқа келтіру дегеніміз – темірқазықты нөлдік графигіне келтіру. Тәулік бойындағы су деңгейін бақылау кезіндегі арифметикалық орташа мәліметтерін әрбір тәулік үшін есептейді. Одан кейін өзен суы деңгейінің орташа айындағы құбылмалығын анықтайды. Өңдеп есептеу нәтижелерін кестеге әрбір айдың орташа мәндерін ерекше бағанға ең жоғарғы және ең төменгі мәндерін жазады (2-кесте).

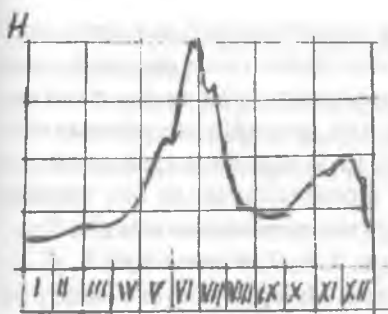
2-кесте

Суөлшегіштің бақылау кезіндегі мәліметтерді өңдеп есептеу түрі

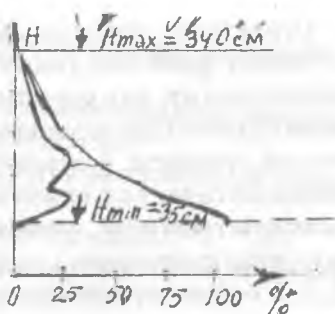
	Айлар											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.												
2.												
⋮												
⋮												
⋮												
31												
Орташа												
Ең жоғарғы												
Ең төменгі												

Деңгей мәнінің оң жағы өзендегі мұз құбылысын бақылауына қабылданған келіскен белгілеуге сәйкес: ∩ – жағалық мұз шегі; √ – қабыршық мұз; * – қарлы қабыршық мұз; 0 – сирек сең жүру; • – тығыз және орташа сең жүру; мұз қатуын тік белгімен белгілейді.

2-кестенің мәліметтері бойынша су деңгейінің ұзақтылығын (1.5-сурет) қайталамалық құбылмалығының кестесін сызады (1.6-сурет).



1.5-сурет



1.6-сурет

1.5. Суөлшеуішті посты бойыншы су деңгейінің қисық сызықты байланысын орнату

Егер екі суөлшеуішті постылар бір өзен бойында және өзеннің ұқсас бөлігінде орналасса, егер айтарлықтай екеуінің арасында өзен тармағы жоқ болса, онда алдыңғы постының су деңгейінің құбылмалық құбылысын синхронды түрде қайталайды, оның екі арасының қашықтығы әсерін тигізбейді. Бақылауды жіберіп алғандағы мәліметтерді қайта қалпына келтіру және тексеру үшін, сондай постылардың сәйкес су деңгейлері арқылы байланыс кестесін орнатады. Екі постының және сәйкес деңгейлердің деңгей құбылмалығының бірдей фазада болуын (ең жоғары көтеріледі және ойпаты немесе деңгейін ағып жету уақытын есепке ала анықтау) айтады.

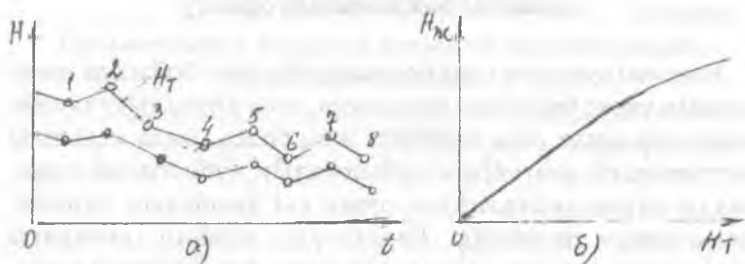
3-кесте

Су деңгейін жазу үлгісі

Нүктелер №	Нөл графиктің үстіндегі су деңгейі, см.	
	Жоғарғы суөлшеуіш постысы $H_{ж}$	Төменгі суөлшеуіш постысы $H_{т}$
1.		
.		
.		
.		
8		

Суөлшеуіш постылардың деңгейіне байланысты кесте орнату үшін сол уақыттағы және сол кезеңдегі, сол постылардың синхронды мәліметтерін пайдаланады және бір мезгілде орындалған су деңгейінің құбылмалығының графигін белгілейді (1.7-сурет, а.). Деңгейдің төмендеуінде, сол сияқты жоғарылауында екі қисық сызықты грфиктен, ұқсас нүктелерін таңдап алады. Сондай ұқсас нүктелерге 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 және 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 сәйкес нүктелерден деңгейлерін кестеге көшіріп жазады.

Одан ары қарай 3-кесте мәліметтері бойынша төменгі суөлшеуіш постының нөл графигі үстіндегі деңгейді абсцисса осіне, ал ордината осіне жоғарғы суөлшеуіш постының нөл графигінің деңгейін салып графигті орнатамыз.



1.7-сурет

Суөлшеуіш постының екі деңгей байланысынша график арқылы біріндегі жетіспейтін бақылау мәліметін екіншісіне өкеп, максималды және минималды деңгейлерін қалпына келтіруге болады.

Бақылау сұрақтары

1. Гидрологиялық желілер дегеніміз не?
2. Гидрометриялық постылар, гидрологиялық станциялар туралы түсінік.
3. Өзен бөлігінде орналастырылатын суөлшеуіш постылар қандай шарт талабын қанағаттандыруы тиіс?

4. Темірқазықты су өлшеуіш постындағы су деңгейін қалай өлшейді?

5. Таяқшалы суөлшеуіш пост қалай құрылған, берілісті автоматты суөлшеуіш посты дегеніміз не?

6. Судың ең жоғарғы (max) деңгей белгісін қалай анықтайды?

7. Мұздың қалыңдығын қалай өлшейді?

8. Қарлы қабыршық мұздың қалыңдығын қалай өлшейді?

9. Алғашқы суөлшеуіштің бақылауын өңдеу неден тұрады?

10. Жыл ішіндегі айлық мөлiметтердi қалай құрайды?

2-тарау. ӨЗЕН СУЫНЫҢ АҒУ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ӨЛШЕУ

2.1. Гидрометриялық станция және оны жабдықтау

Гидрометриялық станцияның мақсаты – сол жердегі ағынды суды пайдалану жобасын жасауға қажетті толық гидрологиялық материалдарды алу. Гидрометриялық станция кейбір іздеу немесе жобалау мекемесінің қарамағындағы төменгі мекеме. Оны құрған кезде арнаулы материалдарды толықтырып, дұрыстығын дәлелдеуге және жобалауға (СЭС жобасын, үлкен су қоймаларын, автокөлікке арналған өзеннен өтуге арналған көпірлерді жасау кезінде) қажетті мәліметтерді тексеруге арналады.

Геометриялық меже – өзеннің жер жағдайына бейімделіп бекітілген кесе-көлденең меже, сол арқылы судың өтімі мен тұнбаларды өлшейді. Өзен ағысының орташа бағытына перпендикулярлы, арнасы кең болмайтын және табаны тұрақты арнаға, гидрометриялық межені өзеннің тармақталмаған тік арнасының дұрыс пішінінен жасалынды.

Таңдап алынған меже учаскесін жұмысшы өлшеуіш посты маңына жақын орналасқаны жөн.

Гидрометриялық межені сол жерге бекітіп орналастыру мықты бөрене-реперді цементтеп орнатады. Өзен арнасының тар жеріне қарапайым көпірше орнатады да, соның көмегімен тік сызықты белгілер бойынша су жылдамдығын өлшейді немесе өзеннің бір жағасынан екінші жағасына анкерлі тіреуіш арқылы әрбір метр сайын тік белгіленген сымарқан тартылады. Осы сымарқан су батпас қалқымалы кеме немесе қайықты байлап, әрбір межедегі су жылдамдығын өлшейді. Егер қалқымалы кеме (понтон) сымарқан ұстап тұра алмаса, онда оны

зөкірмен (якорь) орнатады. Өте үлкен және терең өзендердің жылдамдығын өлшеу үшін меже белгілерін кеме арқылы өлшейді. Тау өзендерінің терең қылтаң жеріндегі өзен суының жылдамдығын өлшеу, жылжымалы есікпен, сымарқанмен өлшеген өте ыңғайлы. Өзеннің қос арнасына сымарқанды бетондап тіреуішке байлап, оған арбаша – бесік ілініп жылжып сырғанайды да, белгілі межеде өзен суының жылдамдығын өлшейді.

Ағынды судың жылдамдығын өлшеу үшін қалтқы, зырылдауық (вертушка) және батометр-тахиметрлер қолданылады. Қалтқыны пайдалану кезінде шамамен су бетінің жылдамдығын және ағыс бағытын анықтайды.

Қалтқының өзі де әр түрлі: пенопласты, ағаштан жасалған болып бөлінеді. Зырылдауықтың бірнеше түрлері бар, ең көп тараған және тиянақты жақсы жұмыс атқаратыны – Жестовскийдің зырылдауығы.

Тез арада зерттеп алу үшін тез арадағы жылдамдықты өлшеуге батометр-тахиметрді қолданады. Оның негізгі құрамы – резеңкелі баллонды темір құбыршыққа бекітіледі.

2.2. Гидрометрикалық межені бөлу

Гидрометриялық меже мұқият түрде зерттеледі: өзеннің табанының бедерін қағазға түсіреді. Участке енінің шекарасын түсіру деңгейін белгілеумен анықталады, олар 0,5-1,0 м-ден ең жоғарғы су деңгейінен артығын белгілейді (тарихи). Участке бойындағы түсірілуі (съёмка) өзен суының ең төменгі сабасының жиек аралығы енінің 5 еселігінен кем болмауы тиіс, бірақ 100 м кем болмауы керек. Өзен табаны бетінің көлденең деңгей белгілерін (отметка) 0,25-1,00 м аралығында жүргізіледі. Участкені түсіру масштабының өлшеміне байланысты және 1:100-ден 1:25000-ға дейін деп қабылданады. Таңдап алынған учаскедегі өлшеулерді көлденең пішіні бойынша өлшеп, олардың аралық қашықтығы 10-нан 400 м-ге дейін болады.

Нүкте аралығының өлшемі 2-ден 20 м-ге дейін. Жасалынып, алынған жоспарда гидрометриялық меже белгіленеді. Белгіленген межедегі су жылдамдығын өлшеу үшін, тең қашықтықты тікеден тік сызықпен белгі қойылады да, өзен еніне байланысты әр түрлі қашықтығы қабылданады.

Өзеннің ені, м өлшеуіш тікеден тік сызықтардың арақашықтығы, м

20 м, кем _____	0.5тен 2, дейін
20-40 _____	2-3
40-80 _____	4-6
80-100 _____	8
100-200 _____	10
200-300 _____	20
300-500 _____	30
500-800 _____	40
800 артығы _____	50

Арнаның қарқынды бұзылуы (деформация). Жылдамдық тік сызықтардың орналасуын тексеріп отыруы тиіс және тіптен болмай бара жатса олардың орналасуын өзгертеді.

2.3. Судың жылдамдығын зырылдауықпен өлшеу

Ең жетілген және өте көп тараған өлшеуге арналған аспап – гидрометриялық зырылдауық. Ол оське сапталған қалақшалардан тұрады да, герметикалық жабық қорап ішінде айналмалы есептеуіш электр сыммен құйрықты-тұтқаға (руль) жалғасқан. Зырылдауықты штангаға немесе сымарқанға бекітіп, оны жылдамдығы өлшенетін ағын нүктесінің тереңдік деңгейіне батырып өлшейді. Қалақты зырылдауықтың құйрық тіреуішіне байланысты ағын бағытын ұстайды да, айнала бастайды.

Электрлі жалғастың белгілі айналу санынан кейін электр сымы түйіседі. Түйісу сигналы жоғарыдағы бақылаушыға жетіп (қоңырау сылдырайды), оны белгілеп жазып отырады. Зырылдауықты алдын ала ағын жылдамдығы u -мен қалақшаның айналу жиелігі арасының байланысын анықтау арқылы тарировка (дәлдік тексеру) жасайды.

Бақылаушы секундомердің көмегімен импульстер есебін жүргізеді, мәліметтерін далалық кітапшаға жазып отырады.

Жоғарыда аталған Жестовскийдің зырылдауығының импульсі әрбір 20 айналуда білінеді. Бурцевтің зырылдауығындағы импульс зырылдауық білігінің бір айналуына сәйкес келеді.

Тік осьті айналушы зырылдауықтың түрлері кездеседі, олардың бас бөлігі (айналушы) және қорабынан, құйрығынан тұрады. Бас бөлігінде айналмалы жиектемесі бар, оның шеткі аймағына біркелкі 4-6 шыныаяқ (чашечка) конус түрінде, жарты шар немесе параболоид пішінінде орналасқан. Су ағынының дөңесі (выпуклый) және іші шұңқыр бетті шыныаяққа (лопастей) судың соғуынан, іші шұңқыр бетте қатты ағын жағынан бірнеше есе артық қысым күші, дөңес бетке қарағанда артық түседі, осыған байланысты жиектеме зырылдап айналады. Одан ары қарай жоғарыға электрлі импульсті беру жүйесі Жестовскийдің зырылдауығы сияқты беріледі.

Өзеннің жағдайына және өлшеу төсіліне байланысты, тереңдігі бойынша әрбір белгіленген тік белгілермен 6, 5, 3, 2 және бір өлшеу нүктелерінен зырылдауықпен жылдамдықтарын өлшеулер жүргізіледі.

Зырылдауықпен су жылдамдығын өлшеу кезінде үш төсілді қолданады: толық жете, негізгі және қысқартылған.

Толық жете төсілмен жылдың әр түрлі кезеңінде, сол гидромежедегі су ағынының жылдамдық ағынының ерекшелігін зерттеу мақсатымен, әрбір тік өлшегіштегі көпнүктелі өлшеуді қарастырады.

Негізгі тәсілмен өлшеу ең аз мүмкінді санды тікпен (вертикалмен) және тіктегі (вертикалдағы) нүктелер арқылы өлшеу жүргізіледі, оның нәтижесі толық жете тәсілмен жүргізілген өлшем айырмасынан өзгешелігі жоқ (3%).

Қысқартылған тәсіл бойынша әрбір үш тіктен (вертикалдан) бір өлшеу және әрбір тіктен (вертикалдан) үш нүктесінен 2 өлшеу жүргізіледі. Бұл тәсіл негізінен тұрақты каналда, қажеттілігіне қарай тез және жиі өлшеулерді жүргізуге қолданады. Осы тәсілге көшу мүмкіндігі мұқият түрде талданады.

Қысқартылған тәсілдің бір түріне интеграциялы әдіс жатады. Интеграциялы тәсіл кезінде штанга зырылдауықпен бір қалыпты көтеріледі немесе импульс есебімен бірдей төмен түсіріледі. Осы әдістің көмегімен тек қана ағынның орташа жылдамдығын әр тікте (вертикалда) анықтайды.

Негізгі тәсіл кезінде жылдамдықты 5 нүктеде өлшейді: егер зырылдауықтың құрылымы мүмкіндік берсе, судың бетіндегі зырылдауықтың қалақшаларының бір немесе бір жарым радиусы тереңдігінде, 0,2h, 0,6h, 0,8h және арна табанында өлшейді. Суда мұз қатқан жағдайда бірінші нүктені судың бетінен алмай, су мен мұз беті арасын алады. Қарлы қабыршық мұздың болуы кезінде, көбінесе ең жоғарғы жылдамдығы шамамен 0,4h тереңдігінде байқалады, сондықтан сол тереңдіктегі жылдамдықты өлшейді.

Егер өзен арнасының табаны қисық-қыңыр пішінді болса, тіктегі (вертикалдағы) нүкте саны көбейеді, ал нүктелер тереңдік бойынша бірқалыпты орналасуы мүмкін.

Жылдамдық соғуы (пульсация) өлшену нәтижесіне әсерін тигізеді. Соғудан (пульсациядан) болатын өлшеу қателігін болдырмау үшін, нүктедегі өлшеу уақытын ұзартуға тура келеді. Өлшеуші аспаптың жағаға және табанына жақындаған сайын соғуы артады, сондықтан, зырылдауықпен су бетіндегі жылдамдықты өлшеу

уақыты 2 минутқа дейін, ал табаны мен жағада 2 есеге дейін артады, ағын ортасында – 1,5 есе.

Батометр-тахиметрмен жылдамдықты өлшеу кезінде, оны суға батыру үшін штанганы бұрап аспапты қалыпты жағдайына қояды, қабылдаушы құбырша жабық болуы тиіс. Батометр-тахиметрді қажетті нүктеге орнатқаннан кейін штанганы бұру арқылы қабылдаушы құбырша ағып жатқан ағынға қарама-қарсы бағыттау керек. Бірнеше уақыттан кейін баллон суға толған соң (шамамен 600-700 см³ су), штанганы тез арада 90-120° бұрып, секундомерді тоқтатады да, аспапты шығарып алады. Содан кейін баллондағы суды өлшеуішті мензуркаға құйып, оның көлемін анықтайды. Судың көлемін V толу уақытына бөліп, су өтімін анықтайды: $Q=V/t$. Алдын ала құрылып тарировталған қисық сызық $U=f(Q)$ бойынша және табылған су өтімімен Q ағынның жылдамдығын анықтайды.

Орташа жылдамдықты есептеуге арналған формулалар (мұз жоқ болғанда):

Бес нүктедегі өлшеу кезеңіндегі:

$$V_{орт} = 0.1 (V_{бет} + 3V_{0.2} + 3V_{0.6} + 2V_{0.8} + V_{таб});$$

Үш нүктедегі өлшеу кезіндегі:

$$V_{орт} = 0.25 (V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8});$$

Екі нүктедегі өлшеу кезіндегі:

$$V_{орт} = 0.2(V_{0.2} + V_{0.8});$$

Бір нүктедегі өлшеу кезіндегі:

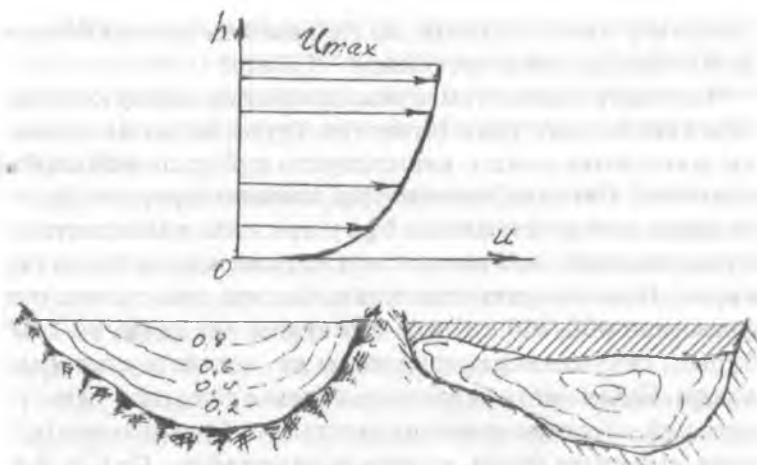
$$V_{орт} = V_{0.6}; V_{орт} = K1V_{бет}; V_{орт} = K2V_{0.2}$$

Жылдамдықты белгілеу кезіндегі индексі ағынның тереңдігі бойынша тіктегі (вертикалдағы) нүктенің орналасуы:

$$K1 = 0,84 \div 0,87; K2 = 0,87 \div 0,84$$

Мұз жамылғысы болған жағдайда $V_{орт} = K3V_{0.4}$

$$Mұндағы, K3 = 0,8 \div 0,9$$



2.1-сурет

Өлшенген жылдамдықтар бойынша жылдамдық эпюрасын орнатуға болады, белгілі масштабпен ординатқа тереңдігін, ал абсиссқа ағын жылдамдығын салып эпюрасын орнатады. Кестеге түсірілген нүктелерді жатық қисық сызықпен қосады. Оны жылдамдық эпюрасы деп атайды (2.1-сурет).

Қимыл-қимадағы жылдамдықтың таралуының жалпы мағлұматы бойынша, жылдамдықтың теңдік сызығын изотах деп атайды. Изотахты орнату жер бедерінің көлденең бетін сызуға ұқсас жүргізіледі. Су бетінің ашық және мұзбен жабылғандығы изотахты кестесі 2.2-суретте көрсетілген, одан көрінгендей, өзеннің мұзбен толық көмкерілгендігі ең жоғарғы жылдамдығы судың бетінде емес, ортасында болатындығынан байқалады.

2.4. Ағынды судың жылдамдығын қалтқымен өлшеу

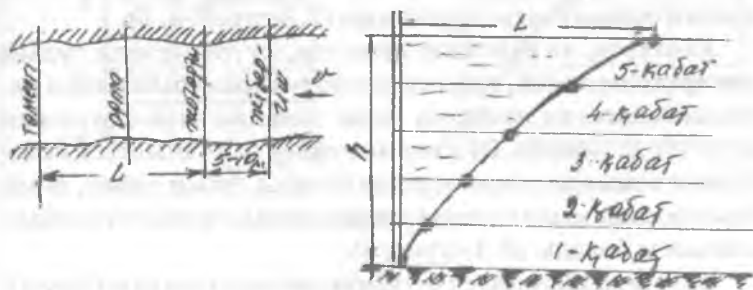
Ағынды судың жылдамдығын қалтқымен өлшеуді қолдану, басқа өлшеу тәсілдері болмаған жағдайда (сең жүргенде, судың лайлылығы жоғары болғанда, жыл-

дамдығы өте аз болғанда) қолданылады. Сондай-ақ, қалтқылы тәсілді өте қатты жел тұрған кезде қолданбайды.

Өзен бетінің су жылдамдығын өлшеу үшін, өзеннің $L = 50 \cdot M \text{max}$ тік бөлігін таңдап алып, оны төрт межеге бөледі: жіберілетін, жоғарғы, орта және төменгі. Жібергіш учаскеден бір уақытта 2-3 қалтқыны суға жібереді. Қалтқы жоғарғы межеден өткен кезде секундомерді қосады, ал төменгі межеге жеткен кезде секундомерді тоқтады, уақыт t белгілейді; онда жылдамдықты былай табады:

$$V_x = L/t \quad (2.1)$$

Тіктегі (вертикалдағы) тереңдігі бойынша орташа жылдамдығы $V_{орт} = KV_{\kappa}$, мұндағы $K = 0,7 \div 0,9$. Орташа межедегі ағынның қимыл-қима ауданын табуға арналған, осы арқылы су өтімін есептеп анықтайды. Сонымен қатар, орта межеге керіліп тартылған өлшеуіш сымарқанның көмегімен қалтқының өтуін анықтайды.



2.2-сурет

Әрбір тіктен (вертикалдан) қалтқы-интегратормен судың орташа жылдамдығын анықтайды. Егер осындай ағашты-қалтқыны өзен арнасының табанынан жіберсе (қалтқы домалақ ағаштан жасалған болса), онда ол бірден су ағынымен жылжып, бір нүктеден екінші нүктеге дейін (2.3-сурет, б) және қалқып жоғары көтеріледі. Жіберіл-

ген сәттен бастап, қалтқының су бетіне қалқып көтерілу қашықтығын былай анықтайды:

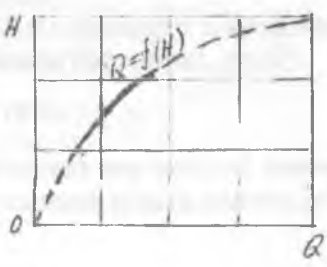
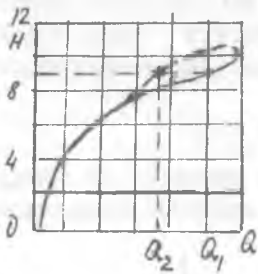
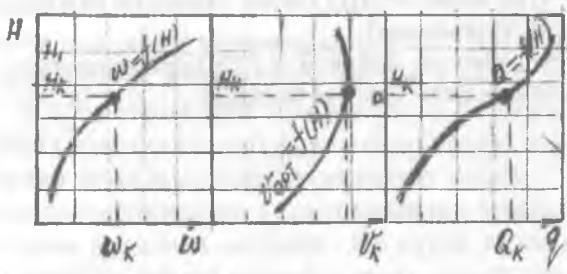
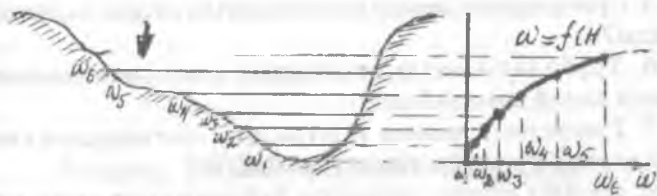
$$L = \sum V_i t = t \sum v_i \quad (2.2).$$

2.5. Су өтімінің, ауданының және ағынның орташа ағын жылдамдығының жабық қисық сызықтарын құрып тұрғызу

Егер гидрометриялық постыларда кейбір бақылау мәліметтері болса, онда су өтімінің, ауданының және орташа жылдамдықтары өзен ағынының деңгейіне $Q = f(H)$; $\omega = f(H)$; $v = f(H)$; жабық қисық сызығын тұрғызады. Қисық сызық байланысын тек қана ашық арнаға тұрғызады. Ось x бойынша Q мөндерін салып, ал y осіне H мөндерін салады. Одан кейін түсірілген нүктелер бойынша жабық қисық сызықты жүргізеді. Тереңдікті өлшеу мәліметі бойынша және өлшенгендер бойынша жоғарыда айтылғандай, ағын жылдамдығымен басқа да қисық сызықтарды тұрғызады (2.3-сурет, а, б).

Көбінесе, аз еңістікті өзенінің, су тасығанда судың көтерілуіне қарай, судың еңістігі тез арада байқалады да, тасығандағы ең жоғарғы және төмендеген кезде судың еңістігі де кемиді. Бұл екі жағдайға байланысты қисық сызық соңында ілмек түрінде болады, оның себебі, ағын жылдамдығымен су өтімі гидравликалық еңістігіне байланысты болады (2.3-сурет, в).

Әдетте, өлшенген су өтімінің қисық сызықты болуын $Q = f(H)$ көрсетпейді. Қажет болған жағдайда, қисық сызықты жоғары және төмен жіберілуі 15% -дан көп болуы тиіс. Қисық сызықты $Q = f(H)$ төмен экстрополяциялауды координат жүйесінің басында жүргізеді, себебі $Q = OH = O$ экстрополяциялауды жоғары жүргізген кезде экстрополяциялаушы қисық сызықтың жабықтығын бұзбау керек. $Q = f(H)$ экстрополяциялаудың мысалы 2.3-суретте көрсетілген.



2.3-сурет

Бақылау сұрақтары

1. Аналитикалық тәсілмен су өтімін анықтауды түсіндіріңіз.
2. Су өтімін графоаналитикалық тәсілмен қалай анықтайды?
3. Су өтімін графомеханикалық тәсілмен қалай анықтайды?
4. Араластыру тәсілімен су өтімін қалай анықтайды? Оны қандай өзендерде қолданады?

5. Суағызардың көмегімен өзендегі су өтімін қалай анықтайды?

6. Трубинылы қондырғылардың көмегімен өзендегі су өтімін қалай анықтайды?

7. Трапециялы немесе үшбұрышты суағызардың көмегімен су өтімін қалай анықтауға болады?

8. $Q=f(H)$ қисық сызықты байланыстылығын қалай тұрғызады?

9. $\omega=f(H)$ және $\nu=f(H)$ қисық сызықты байланыстылығын қалай тұрғызады?

10. Не себептен кейде $Q = f(H)$ байланыстығы қисық сызық, соңы ілмек түрінде болады?



3-тарау. ҮЙІНДІ ӨТІМІН АНЫҚТАУ

3.1. Үйінді өтімі мен лайлылығын анықтау

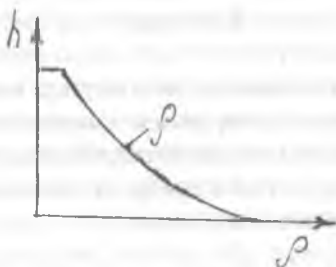
Өзеннің көлденең қимасынан бір секундта ағып кететін қалқымалы үйінділердің өтімін анықтау үшін негізгі гидрометриялық межелерінің барлық есептіктерінен (вертикалынан) сынаманы (проба) алу қажет және бірден ағын жылдамдығын өлшеу керек.

Қалқымалы үйіндінің өтімін анықтау үшін өзеннің қимыл-қима ауданын өлшейді. Әр түрлі нүктелердегі (тікнің) жылдамдығын өлшейді және сол нүктелердегі ағынның лайлылығын анықтайды.

Лайлылық – сұйықтық бірлік көлемін құрайтын қатты бөлшектердің саны (массасы бойынша), $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$\rho = G/V \quad (3.3).$$

мұндағы, G – сынама суды буланғаннан кейінгі қатты бөлшектердің массасы, кг ; V – сынама судың көлемі, м^3 .



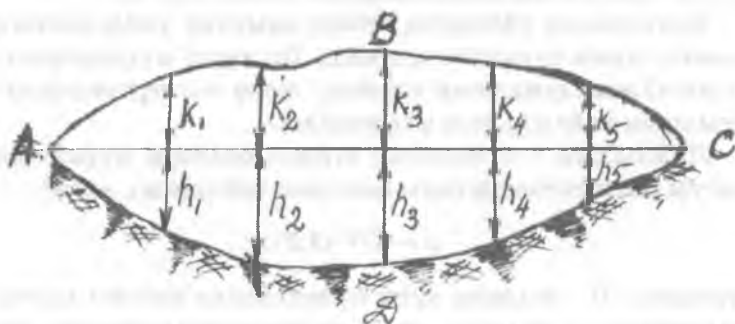
3.1-сурет

Судың лайлылығын өлшеуді жылдамдық тіктерінің мына нүктелерінен жүргізеді: табанының $0,9h$; $0,8h$; $0,6h$; $0,2h$ және судың бетінен алады. Тік (вертикалдық)

тереңдігі 9 м артық болған жағдайда қосымша $0,95h$ нүктесі қосылады, ал тереңдігі 1 м кем болса, үш нүктемен шектеледі: $0,8h$; $0,6h$; $0,2h$. Егер тереңдігі $0,3$ м кем болса, өлшемі бір нүктеден $0,6h$ алады. Су лайлылығының тереңдігіне қарай бөлініп таралу қисық сызығы 4.1-суретте көрсетілген. Ағын жылдамдығын және су лайлылығын анықтағаннан кейін, тіктегі қалқымалы үйінді-лердің меншікті өтімін мына теңдеумен анықтайды:

$$K = \rho v h \quad (3.4).$$

Көлденең сызықтан жоғары масштабпен есептеп алынған мөндерін қатып, элементарлы өлшенген үйінді өтімінің эпюрасын тұрғызамыз (3.2-сурет).



3.2-сурет

ABC эпюрасын планиметрмен өлшеп, яғни анық ауданын тауып, S өзеннің көлденең қимасынан секундына ағып өтетін суымалы үйінді өтімін S анықтаймыз.

Өлшенген үйінді өтімін графоаналитикалық жолмен мына формула арқылы табамыз:

$$K = 0,001 \left(\frac{2}{3} K_1 \cdot e_1 + \frac{K_1 + K_2}{2} \cdot e_2 + \frac{K_2 + K_3}{2} \cdot e_3 + \dots + \frac{K_4 + K_5}{2} \cdot e_4 + \frac{2}{4} K_5 \cdot e_5 \right) \quad (3.6)$$

мұндағы, e – өлшенетін тіктердің арақашықтығы.

Арна табанындағы (ере ағатын) үйінділердің, сынды мөндерін анықтау үшін гидрометриялық межелердің арна табанына дейін арнаулы ұстағышты түсіру арқылы

табады. Ұстағышпен табандағы үйіндіні таразыға тарту арқылы табады. Бірақ та ұстағышты арна табанына түсіргенде, табандағы жылдамдықтың таралу пішіні өзгереді, ал сондықтан үйінді мөлшері де, дұрыс нәтиже бермейді.

Орташа көпжылдық табандағы үйінділерді S_0 , шамамен есептеу мына формуламен шешіледі:

$$S_0 = K S \quad (3.6),$$

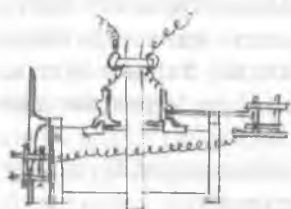
мұндағы, S – орташа көпжылдық өлшенген үйінділер, бұл гидрометриялы бақылаумен анықталған, т/с ; K – коэффициент, $K = 0,05:0,1$ (жазық дала өзендері үшін); $K = 0,1:0,5$ (таулы өзендер үшін).

3.2. Лайлылықтың сынамасын алу

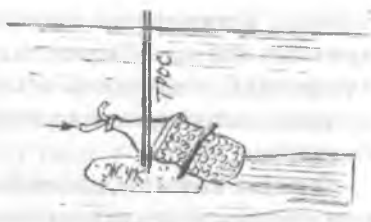
Су лайлылығының сынамасын алу үшін лезде анықтайтын батометрді, сол сияқты оның ұзақ толтырылатын түрлерін пайдалану қажет. Бірінші топқа жататын Жуковскийдің батометрі; бұл аспап өте көп тараған. Екінші топқа жататыны – батометр-тахиметр және Поляковтың бөтелке-батометр жүйесі.

Жуковскийдің батометрі – сымарқанға бекітілген, болаттан жасалған цилиндрлі екі басынан өздігінен жабылатын қақпақты ыдыс. Қажетті тереңдікке батометрді ашық қақпақпен түсіреді, сол кезде аспаптың ұзын осі ағын бағытында болған соң, шнурды тартып қалған кезде, ұстап тұрған иін тиектен босап тез жабылады да, қақпақты серіппе цилиндрге жабыстыра нығыздап жабады. Сынама суды алған соң, аспапты жоғары көтереді. Бұл аспап арқылы тез толтырып, нүктедегі сынаманы алуға болады (3.3-сурет)

Батометр-тахиметрді штангамен суға батырады. Осы аспаптың көмегімен бірден ағын жылдамдығын өлшейді және су сынамасымен лайлылығын анықтайды. Поляковтың батометр жүйесі үш литрлі бөтелкеден тұрады, оны сүйір пішінді жіпке байлайды. Бөтелкенің тығыны-



3.3-сурет



3.4-сурет

на екі құбыршаны тығады, бірінен бөтелкеге су кіреді де, екіншісінен бөтелкедегі ауа шығады. Алдын ала бөтелкедегі осы түріндегі оның суға толуын – әр түрлі жылдамдықтығын тексереді. Оны жүкпен және су бағытына сәйкестендіру үшін құйрық жалғайды.

Үйінді өтімін өлшеу кезіндегі лайлылық сынамасын әр түрлі тәсілмен алып жүргізеді: толық (нүктелі) жинақты және интеграциялы. Толық (нүктелі) тәсілді 100 г/м^3 (сынама су бетінен алынады; $0,2h$; $0,6h$; $0,8h$ және табанынан) артық қима ауданындағы орташа лайлылығы кезінде қолданылады.

Лайлылығы $50-100 \text{ г/м}^3$ кезінде екі нүктелі ($0,2h$; $0,8h$) тәсілді үлкен өзендерде және бір нүктелісін ($0,6h$) кіші өзендерде қолданылады. Жинақты тәсілдегі алынатын лайлылығының сынамасын орташа лайлылықтың 50 г/м^3 кем кезіндегісіне қолданылады. Сынаманы екі нүктеден алады: $0,2h$ және $0,8h$ және оларды тік (вертикаль) бойынша жинақтайды.

Интеграциялау тәсілі кезіндегі су лайлылығын тік (вертикаль) бойынша судың бетінен арна табанына дейін ағынға қарсы жайлап батометрмен алады.

Жуық шамалы тәсілмен өлшенген үйінді өтімін бір нүкте арқылы анықтайды. Нүктенің орналасу жағдайы бойынша лайлылық сынамасын алу кезінде қимадағы өлшенген лайлылығы материалдарды талдау негізінде таңдайды.

Бақылау сұрақтары

1. Ағын лайлылығы дегеніміз не?
2. Жуковскийдің барометрі қалай орналасқан және онымен қалай жұмыс істейді?
3. Штангалы бөтелке-батометрдің құрылымы қандай және сынаманы онымен қалай алады?
4. Батометр-тахиметрмен лайлылық сынамасын қалай алады?
5. Өлшемелі үйінділердің өтімін қалай анықтайды?
6. Поляковтың арна табандық батометрінің құрылымы қандай?
7. Поляковтың батометр көмегімен сынаманы қалай алады және оның кемшілігі неде?
8. Арна табанының үйіндісінің өтімін қалай анықтайды?
9. Арна табанының үйіндісінің өтімін, сол гидрометриялық меженің тігіндегі жылдамдықты қалай анықтайды?

4-тарау. ГИДРАВЛИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫ ӨЛШЕУГЕ АРНАЛҒАН АСПАПТАР

4.1. Судың тегеурінді және тегеурінсіз қозғалысы кезіндегі өтімін өлшеуге арналған аспаптар

Қазіргі кезде су өтімін өлшеудің бірнеше тәсілі бар. Олардың бір бөлігі тек қана тегеурінді ағынды су өтімін өлшеуге пайдаланылса, ал басқасы тегеурінсізіне арналған. Тегеурінді және тегеурінсіз ағынды суды өлшеуге арналған тәсілдері бар.

Көлемдік тәсілмен су өтімін өлшеуді былай жүргізеді (4.5-сурет): су құбыр (1) су өтімін өлшеу қажет, ауыстырып қосу (2) арқылы бос өлшеуші бакқа бағыттайды, ал төменгі тесігі тығын (7) жабылған. Су жіберген кезде, бірден секундомерді қосады. Кейбір қондырғыларда ауыстырып қосқыш (2) автоматты түрде электрлі секундомер (4) қосылады. Бак (3) аузына дейін сумен толтырылып, пьезометр (5) межелігі шегіндегі деңгейде болуы керек. Одан кейін ауыстырып қосқыш суды бос ағызушыға (6) бұрады. Пьезометр (5) межелігі бойынша көлеммен белгіленген бактағы су көлемін V жазып аламыз. Осы су көлемін секундомермен алынған уақытқа бөліп құбырдағы су өтімін есептейміз:

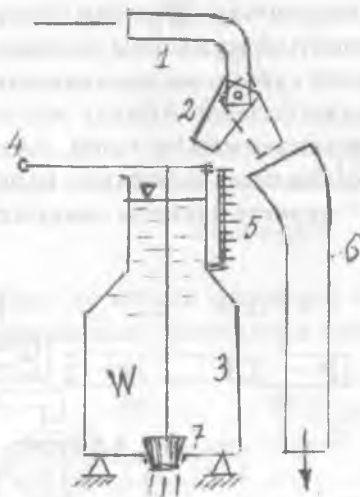
$$Q = V : t \quad (4.7)$$

Кейде су өтімін дәл есептеу қажет болса, тік бұрышты немесе цилиндрлі өлшемді бакты алып, пьезометрдің орнына су өлшегіші құбырға жалпақ шеткі миллиметрлі қағазды дәлдеп бекітіп, ондағы өлшем сантиметр бөлінгісімен белгіленеді. Онда, судың ағып өткен көлемі – бактық ауданның көлемінің көбейтіндісі, су өлшеуші құбыршаның көмегімен алынған көрсеткіштің айырмасына тең.

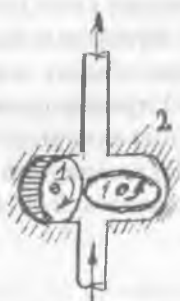
Су өтімін өлшеу, көбінесе көлемді, таразыға тарту тәсілімен жүргізіледі. Бұл жағдай қандай да бір құрылымдағы бос бакты G_m таразыға тартады. Су өтімін мына формуламен анықтайды:

$$Q = (G_m - G_0) : \rho g \quad (4.8).$$

Көлемдік және көлемді таразыға тарту тәсілімен науадан аққан суды өлшеуші бакқа жақын өтуі тиіс, науадан аққан суды өлшеуші бакқа құяды да, секундомерді қосу арқылы уақыт t белгілі болады.



4.5-сурет



4.6-сурет

Сопақша шестернялы ротациялы санауыш (4.6-сурет) екі шестернядан тұрады: (1), қорап (2) тістесіп орналасқан, құбырға кірер және шығар жері бар. Ағып өтер сұйық шестерня тістеріндегі моментпен айнала отырып айдамалаушы құбырға V сұйық көлемін итереді. Шестерня неғұрлым тез айналса, соғұрлым сұйық көлемі санауыш қуысынан басқасына ауысып отырады. Аспаптың бір осі санауыш механизмімен жалғанған, сол арқылы ағып

өтер сұйықтық санды мөлшерін жинақтап отырады. Бұл санауыш су өтімін өлшеуге арналған. Дөлдік класы өте жоғары (0,1-1,5). Бұл аспаптың қате жіберуі – өте аз. Қате жіберу коэффициентін мына формуламен табады:

$$K = \frac{\Delta \max}{N} \quad (4.9)$$

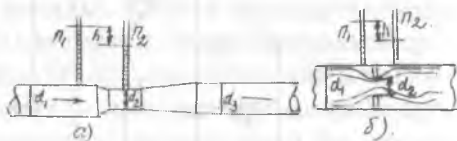
мұндағы, N – шестерняның айналу жиілігі.

Жұмыс жағдайында өлшеу үшін, көбінесе аспаптың 5-6 класын қолданады, оны техникалық класс деп атайды.

Шапшаң (тез) санауыштар. Шапшаң санауыштың негізгі жұмысшы элементіне жұмысшы дөңгелегі жатады, оның айналу жиілігі сұйықтың жылдамдығына (су өтіміне) пропорционалды болады. Айналу жиілігін жинақтаушы санауыш механизммен белгілеп, жазып отырады. Бұл санауыш көлемдікке қарағанда қарапайым. Дөлдік классы 2-3. 4.7-суретте қанатты санауыш көрсетілген.



4.7-сурет



4.8-сурет

Вентури құбыры. Тегеурінді ағынның сұйық өтімін өлшеу үшін Вентури құбырын және өлшеуші диаграмманы қолданады (4.8-сурет, б). Басында айтылғандай, диафрагманың алдында және артында немесе Вентури құбыршасының кең және тар бөліктерінде орналастырылған пьезометрдегі судың деңгей айырмашылығы h су өтімінің өтіміне байланыстылығын мына теңдеумен шешеді:

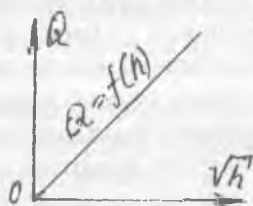
$$Q = \mu A \sqrt{h} \quad (4.10),$$

мұндағы, μ – су өтімінің коэффициенті, ол 0,95-0,97-ға тең; A – су өлшегіш Вентуридің тұрақты саны.

$$A = V_1 - V_2 \sqrt{\frac{2g}{\omega_1^2 - \omega_2^2}} \quad (4.11)$$

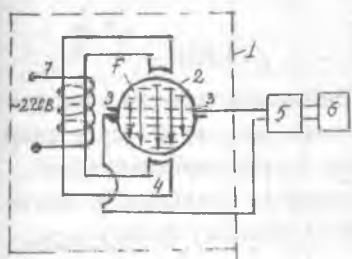
мұндағы, $\omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, $\omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$, болады.

Көбінесе, зертханалық құрылғыларды Вентури құбыршасымен немесе диафрагмамен жабықтайды да, $Q=f(h)$ байланыстылығы дәлдік тексерілген графигімен реттеледі (4.9-сурет).

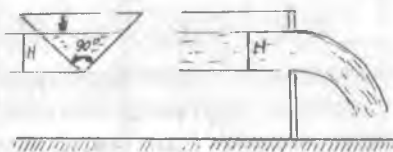


4.9-сурет

Магнитті су өтімін өлшеуіші өндіріс орындарында және зертханалық практикада кеңінен қолданылады.



4.10-сурет



4.11-сурет

Магнитті өтім өлшегіштің көмегімен өлшеу тәсілі былай жүргізіледі (4.10-сурет): магнитсіз жасалған құбыр (2), магнитті жүйе көмегімен тұратын электрмагнит (4) және орама (7) арқылы магнитті өріс пайда болады.

Қозғалыстағы сұйық, осы магнитті өрістің күш сызықтарын кесіп өткенде, электр тогын өткізеді де, электр

қозғалтқыш күш (ЭҚК) пайда болады. Құбырға енгізілген электродтар (3) және оның қабырғасынан қашықтатылып бөлектенген, күшейткіш (5), электрлі сигнал беріледі де, ол көрсетуші немесе жазып алушы аспапқа беріледі. Барлық құрылғыны (1) магнитті өтім өлшегіш датчик деп атайды және ол жекеленген блоктар, (5 және 6 блоктар) оқшауланған және олар күшейткіш және тіркеуші аспаптар. Аспаптың дәлдік класы – 1-2,5.

Магнитті өтім өлшегіштердің негізгі артықшылығы, сол арқылы өтім өлшеу және екі фазалық сұйықтарды (сулы-ауалы, сулы-құмды, сулы-балшықты және басқа гидроқоспаларды) өлшейді, ал басқа өлшеуші аспаптардың пьезометр құбыршалары жиі ластанып, былғанады және осылардың әсерінен жұмыс істеуі тұрақсыз болады. Одан басқа құбырдағы жылдамдық эпюрасы дұрыс көрсетілмейді де, аспаптың дәлдігіне әсер етеді.

Өлшеуші суағызарды зертханалық практика жағдайында қысымсыз су ағынының өтімін өлшеу үшін қолданылады. Егер ағын жолына қандай да белгілі геометриялық өлшем пішініндегі суағызарды қойып және су ағызардағы тегеурінді өлшесек, онда су өтімін мына формуламен анықтайды:

$$Q = mv\sqrt{2gH}^{3/2} \quad \text{м}^3 / \text{с} \quad (4.12)$$

мұндағы, m – суағызар түріне байланысты өтім коэффициенті; v – суағызар тесігінің толық ені, m ; H – суағызар жотасындағы тегеурін; g – еркін құлау кезіндегі үдеу.

Ең жоғарғы дәлдікпен су өлшеуіш суағызарға жататыны суағызардың бұрышы 90%. Есептеу формуласы:

$$Q = 1,4H^{5/2} \quad (4.13).$$

Су өтімін анықтаудағы жалғыз шама – тегеурін. Мұндай суағызардың су өтім коэффициенті белгілі. Кейде суағызардың коэффициентін m дәлелдеп анықтау үшін, су ағызардың көрсеткішін көлемді таразыға тарту арқылы дәлелдеп көрсетеді немесе басқа аспаптардың көмегімен өлшейді. Суағызардағы су бетінің деңгейін

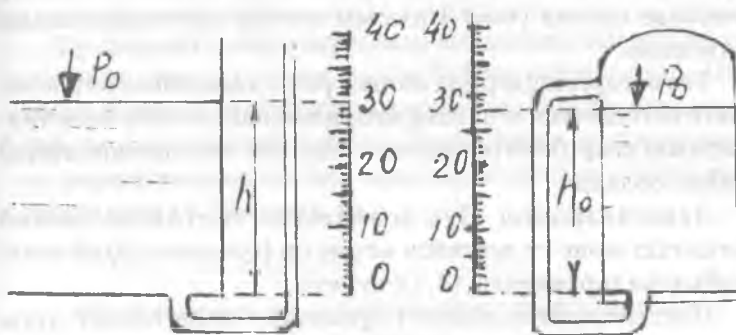
өлшеуіш инемен дәлдігін миллиметрдің оннан бір бөлігіне дейінгі дәлдікпен өлшейді (4.12-сурет).

4.2. Ағынның еркін бетінің деңгейін және қысым өлшеуге арналған аспаптар

Құрылымдық ерекшеліктері бойынша қысымды өлшеуші құралдар сұйықтың, серіппелі, электрлі, поршеньді, аралас, т.б. болып бөлінеді. Аспаптар пайдалану мақсатына қарай мынадай топқа бөлінеді:

- атмосфералық қысымды өлшеуші аспаптар – барометрлер;
- артық қысымды өлшеуші – манометрлер, микроманометрлер, вакуумметрлер, мановакуумметрлер;
- қысым айырмашылығын өлшеуші аспаптар – дифференциалды манометрлер.

Сұйықтың аспаптармен қысымның өлшенуі сұйық бағанасының қысымымен теңестіріледі.



4.12-сурет

Серіппелі манометрде ауыспалылығының сезгіштік элементі көп емес. Қысым күші серіппелі элементті дифференциялайды: серіппені, мембрананы, қуыс құбырлы сифонды, т.б. көлемдірек, қысым көбейген сайын элементтің қаттылығы азаяды. Қысым күші мен деформа-

цияның арасындағы тік пропорционалды байланыстығы бар. Серіппелі элементтің деформациясынан берілген күш аспап нұсқарына (стрелка) беріледі де, қысым шамасын көрсетеді.

Электрлі аспап – жұмыс істеу негізі, кейбір қорытпа кедергісінің өзгеру қабілеттілігінің қысымның өзгеруі. Осы аспаптармен жоғарғы статикалық қысымды өлшейді. Жіңішке сымтемірдің диаметрі $d = 0,03$ мм, сезгіш элементке желімдейді, ол мембранамен немесе басқа да бір серіппе қысымды қабылдағанда датчиктің қызметін атқарады, датчик негізі металдан ажыратылған, ондағы сымтемірдің кедергісі 100-200 Ом.

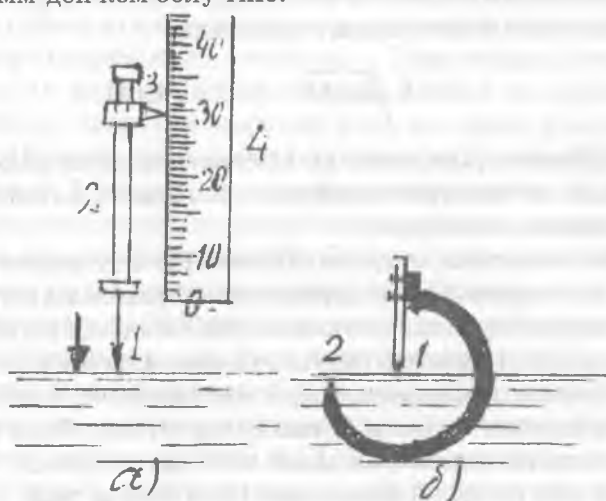
Өлшеуіш көпірдің сұлбасына қосылған датчиктің кедергісі R . Датчик көпірін жүктемеге дейін тепе-теңдікті ұстап, яғни шығар жерінің кернеу айырмашылығы нөлге тең болуға тиіс. Датчикке қысым әсері кезінде кедергісі өзгереді және көпір тепе-теңдікте болмайды, яғни сыртқа шығар жерінде кернеу пайда болады. Кернеу өте аз, сондықтан оны күшейткіштің көмегімен кернеуін арттырады. Сонымен, электрлі аспаптан токтың шығар жерінде сигнал (ток) J қысым мәніне пропорционалды алынады.

Тез өзгерген үдерісті өлшеу үшін пьезоэлектрлі нәтижеге негізделген аспаптар қолданылады, кейбір кристалдардың (кварц) бетіне қысым әсерінен электр зарядтары пайда болады.

Деңгейөлшегіш. Бұл аспаптарға қалтқылы деңгей өлшегіш және су деңгейін өлшегіш (суөлшегіш) әйнекті құбыршалар жатады (4.12-сурет).

Деңгейөлшегіш әйнекті құбырша – оның төменгі ұшы (кейде екі басы да) резервуармен жалғасқан, сол арқылы су деңгейі өлшенеді. Құбыршаның жанында миллиметрлі немесе сантиметрлі бөліктеу межелігі бар. Нөл межелігі резервуардың табан деңгейімен бірдей. Су өлшеуші құбыршаның межелігі бойынша есептеуіш деңгейді өлшейді, неге десеңіз, құбыршаның жоғарғы жағының қысымы резервуардағы сұйықтың еркін бетіндегімен бірдей (4.13-сурет). Құбыршадағы капиллярлығынан

жіберілетін қатені кеміту үшін құбыршаның диаметрі 12-15 мм-ден кем болу тиіс.



4.13-сурет. *Инелі деңгейөлшегіш: а) 1-2 – штанга, 3 – көрсеткіш, 4 – межелік; б) қос инелі деңгейөлшегіш*

Су деңгейін анықтау үшін, штанганы (2) жылжыта отырып, ине (1) судың еркін бетіне түйісуі тиіс. Одан кейін межелік (4) бойынша көрсеткіш (3) көмегімен ізделінетін көрсеткішті табады. Бұдан басқа жетілген инелі су деңгейін өлшегіш бар, онда тік штангада қос ине жабықталған (4.13-сурет, ө).

4.3. Ағынның жылдамдығын өлшеуге арналған аспаптар

Ағынның жергілікті жылдамдығын өлшеу үшін гидродинамикалық құбырша немесе Пито құбыршасын және термоэлектрлі анемометрді (термоанемометр) қолданылады. Жергілікті жылдамдық пен гидроқоспаның қоюлану ерітіндісін (концентрация) өлшеу үшін Орлов-Юдпин құбыршасын қолданады.

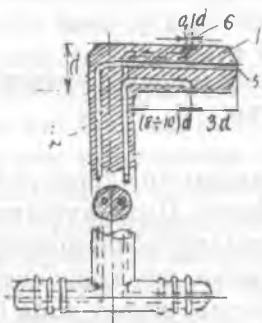
Гидродинамикалық құбырша. Гидродинамикалық құбыршамен өлшенген жылдамдықты, тегеурін Δh болғанда мына формуламен анықтайды:

$$U = K\sqrt{2g\Delta h} \quad (4.14)$$

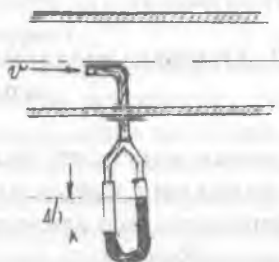
Құбырша (2) арнасы (4.14-сурет) арқылы дифференциалды манометрге толық тегеурін береді, ал екіншісі – статикалық тегеурін.

Екі каналдың екеуі де (3) және (4) штуцермен жеке-жеке жалғанған. Қабылдаушы тесік (5) арқылы штуцерге (3) қысым беріледі, статикалық қысым тесік (6) арқылы штуцерге (4) беріледі. Штуцер (3 және 4) резеңкелі шлангы арқылы дифференциалды манометрмен жалғасқан. Қабылдаушы тесіктер (5 пен 6) бір-бірінен біраз алшақ орналасқан, сондықтан аздап қате кетуі мүмкін. Тесіктер 5 пен 6 бірдей диаметрде $0,1d$ болуы тиіс. Кейбір өлшеуші ұшта 1, анық пішіні жіңішке конус түрінде болады.

Гидродинамикалық құбырша ағын жылдамдығы болған жағдайда жақсы істейді. Аз жылдамдықтағы дифманометрдегі құлауы аз және есепті көрсеткіші алу үшін құбыршаны бұрап отырып, қабылдаушы тесікке жылдамдық бағыты перпендикуляр болуы тиіс. Бұл жағдайда ең жоғарғы көрсеткіште болады. 4.15-суретте гидродинамикалық құбыршаның дөңгелек құбыршадағы жағдайы көрсетілген.



4.14-сурет

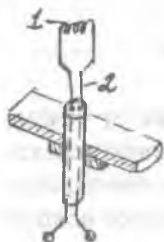


4.15-сурет

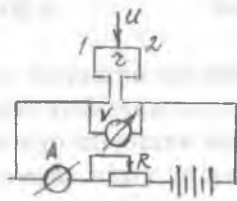
Термикалықэлектрлі анемометрдің негізгі ток жүргізгіш сымтемірдің электрлі кедергіге байланыстылығы сұйық ағынының датчикке жұғыса ағу кезіндегі температурасынан өзгереді. Термоанемометрдің сезгіштік элементіне платиналы немесе вольфрамды сымтемір, оның бір диаметрі 0,01 мм және ұзындығы 1-ден 10 мм-ге дейінгі екі ұстағыштың арасына (2) тартылған (4.16-сурет), ол электр тогымен қызады. Сымтемірді өлшеу кезінде ағын жылдамдығына перпендикулярды орналастырылуы тиіс. Сымтемірдің температурасы және оның электрлі кедергісі сұйықтың ағып өтер жылдамдығына байланысты, оны салқындату қажет.

Жылдамдық өлшеуді екі тәсілмен жүргізуге болады: сымтемірмен бір өткендегі токтың тұрақты күші кезінде және осы сымтемірдің тұрақты кедергісінде. Бірінші тәсілмен өлшеу сұлбасы 4.17-суретте көрсетілген. Ондағы, бірінен соң бірі жалғанған элементтер, ток беруші батарея, реостаттың кедергісі R , амперметр және термоанемометр.

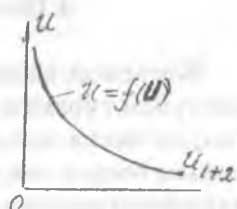
Тізбектегі ток күшін тұрақты $J=const$ ұстаған кезде ағын жылдамдығы артқан сайын платиналы сымтемірдің кедергісі кемиді, ал ол нүкте (1 мен 2) кернеудің келуіне әкеліп соғады. Кернеуді тіркей отыра, ағын жылдамдығы туралы білуге болады. Алдын ала аспаптың төрелкесін жасап, одан кейін $U=f(u)$ графигін тұрғызу керек (4.18-сурет).



4.16-сурет



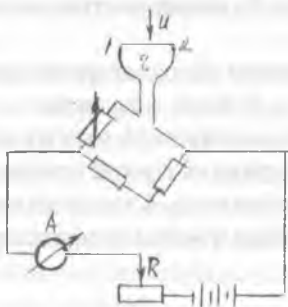
4.17-сурет



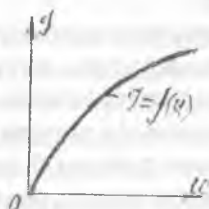
4.18-сурет

Екінші тәсіл бойынша өлшеу сұлбасы 4.19-суретте келтірілген. Кейбір аз жылдамдықта өлшеуші көпірше тепе-теңдікте болады да, платиналы сымтемірдің кедергісі мәнінде сақталады. Қалай ағын жылдамдығы артқан жағдайда, сымтемір суып бастайды да, оның кедергісі кемиді, ал көпірше тепе-теңдікте болмайды. Көпіршені тепе-теңдік жағдайына келтіру үшін сымтемірді ысыту арқылы кедергісін арттыру керек, яғни амперметрдегі ток тізбегін арттыру керек, жылдамдықтың артуынан ток J ұлғаяды.

Алдын ала аспаптың тарировкасын жасап және қисық сызықты байланыстығын $J = f(u)$ тұрғызып (4.20-сурет), термоанемометрмен сұйықтың жылдамдығын қай нүктеде болатын анықтайды. Себебі, датчиктің өзі кішкентай және аз жылу инерциясында болады, онда термоанемометрмен құбыр қабырғасының жақын жеріндегі пульсация құрауышы жылдамдығын өлшеуге болады.



4.19-сурет



4.20-сурет

Жоғарыда айтылған екі өлшеуші тәсіл тек су температурасы тұрақты болған жағдайға тарировкасы жасалған, ал басқа жағдайда өлшеуіш сұлбасына температураның әсерін тең келтіру үшін элемент немесе есепке алынатын коэффициент енгізу керек.

Бақылау сұрақтары

1. Тегеурінді және тегеурінсіз ағынды судың өтімін өлшеу үшін қандай аспаптарды білесіз?
2. Қандай аспаптармен толық, артық қысымдарды және вакуумды өлшейді?
3. Ағынның жергілікті жылдамдығын қандай аспаптармен өлшейді?

ЕСЕП ШЫҒАРУҒА АРНАЛҒАН МЫСАЛДАР

I БӨЛІМ

Бірінші тарауға арналған есептер:

№1 мысал. Минералды майдың құбырмен ағу кезіндегі, құбырдың ішкі бетіне түсетін жанама кернеудің $\tau=2$ Па. Егер құбырдағы жылдамдығы мына заңмен өзгерсе: $v=35y-380y^2$, майдың тығыздығы $\rho=883$ кг/м³, майдың кинематикалық кернеу күшін анықтау керек,

Шешуі: Кинематикалық тұтқырлықты $\nu=\mu/\rho$. Мына теңдеуді қолдана отырып:

$$\mu = \tau / dv / dy \text{ онда } \nu = \tau / \rho dv / dy$$

Жылдамдық графикті $dv/dy=35-2 \cdot 380y$, бірақ құбыр қабырғасында $y=0$, онда, $dv/dy=35$ /с. болады. Сонда:

$$\nu = \tau / 35 \cdot \rho = \frac{2}{35 \cdot 883} = 0,65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Атмосфералық қысым кезіндегі, судың кинематикалық тұтқырлығын Пуазейл формуласымен анықтайды:

$$\nu = \frac{0,0178}{1+0,0337 \cdot t+0,000221 \cdot t^2} \cdot 10^{-4}$$

Екінші тарауға арналған есептер:

№1 мысал. Егер $P_0=2 \cdot 10^5$ Па = 0,2 МПа, сұйық тығыздығы $\rho_c=900$ кг/м³ болғандағы, бактың $h=3$ м тереңдігіндегі абсолютті және манометрлі (артық) гидростатикалық қысымын анықтау керек.

Шешімі: Абсолютті гидростатикалық қысымды:

$P = P_0 + \rho gh = 2 \cdot 10^5 + 900 \cdot 9,81 \cdot 3 = 226487$ Па = 0,226 МПа арқылы шешеді. Бактың $h=3$ м тереңдігіндегі манометрлік қысым:

$$P_{\nu} = P - P_{ам} = 0,226 - 0,1 = 0,126 \text{ МПа}$$

Еркін ашық бетіндегі манометрлік қысымды:

$$P_x = P_o - P_{atm} = 0,2 - 0,1 = 0,1 \text{ МПа.}$$

№2 мысал. Бак суменен $h=2$ м биіктігінде толтырылған, су бетіндегі қысым $P_o = 2 \cdot 10^5$ Па. Егер бактің табаны салыстыру жазықтығынан жоғары $z=3$ м биіктікте орналасқан болса, гидростатикалық және пьезометрлік қысымды анықтау керек (5.12-сурет).

Шешімі: Салыстыру жазығына сәйкес гидростатикалық тегеурін:

$$H = Z + h + \frac{P}{\rho_g} = 3 + 2 + \frac{2 \cdot 10^5}{10^3 \cdot 9,81} = 25,4 \text{ м тең.}$$

Пьезометрлік тегеурін:

$$h_p = Z + h + \frac{P_o - P_{atm}}{\rho_g} = 3 + 2 + \frac{2 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5}{10^3 \cdot 9,81} = 15,2 \text{ м болады.}$$

Үшінші тарауға арналған есептер:

№1 мысал. Сумен толық толған құбырдың гидравликалық радиусын қалай анықтау керек?

Шешімі: Қимыл ауданын $\omega = \pi r^2$;

Ылғалды периметрі $\chi = 2\pi r$;

Гидравликалық радиус $R = \omega / \chi = \pi r^2 / 2\pi r = r / 2$.

№2 мысал. Бетінің ені $a=5$ м, табанының ені $b=2$ м, каналдағы судың тереңдігі $h=1$ м. Трапециялы каналдық гидравликалық радиусын анықтау керек.

Шешімі: қимыл қима ауданын $\omega = \frac{a+b}{2} \cdot h = \frac{5+2}{2} \cdot 1 = 3,5 \text{ м}^2$

Ылғалды периметрін

$$\chi = b + 2\sqrt{\frac{(a-b)^2}{4} + h^2} = 2 + 2\sqrt{1,5^2 + 1^2} = 2 + 2 \cdot 1,8 = 5,6 \text{ м;}$$

Гидравликалық радиус: $R = \omega / \chi = 3,5 / 5,6 = 0,62 \text{ м.}$

№3 мысал. Ағынның орташа жылдамдығы $v = 2$ м/с, ал қимыл-қима ауданы $\omega = 5 \text{ м}^2$. Каналдық су өтімін анықтау керек.

Шешімі: $Q = v \cdot \omega = 2 \cdot 5 = 10 \text{ м}^3/\text{с.}$

№4 мысал. $Q = 0,21 \text{ м}^3/\text{с}$, $\omega = 0,07 \text{ м}^2$ болса, дөңгелек құбырдағы орташа жылдамдығын анықтау керек.

Шешімі: $v = Q/\omega = 0,21/0,07 = 3 \text{ м/с}$.

№5 мысал. $D=50 \text{ мм}$, $d=30 \text{ мм}$, егер U түріндегі сыныпты манометрдің көрсеткіші $h_c=600 \text{ мм}$. Суөлшегіш Вентуридің көмегімен су өтімін Q анықтау керек.

Шешімі: $Q = \mu A \sqrt{h}$.

Өтім коэффициентін $\mu=0,97$ деп аламыз. Бірінші және екінші қимадағы пьезометрлік биіктік айырмасы

$$h = (P_1 - P_2) / (\rho g).$$

Суөлшегішінің қысым өлшеу орнындағы қима аудандары:

$$\omega_1 = \frac{\pi D^2}{4} = 19,6 \text{ см}^2; \quad \omega_2 = \frac{\pi d^2}{4} = 7,05 \text{ см}^2$$

Есептейміз:

$$A = \omega_1 \cdot \omega_2 \sqrt{\frac{2g}{\omega_1^2 - \omega_2^2}} = 19,6 \cdot 7,05 \sqrt{\frac{1962}{19,6 - 7,05^2}} = 335 \text{ см}^{2,5} / \text{с}.$$

болып шығады.

Қысым айырмасын $P_1 - P_2$ табамыз. Сол жақ иіндегі сынап деңгейі салыстырмалы жазықтық деп, а және в нүктелерін табамыз, олардағы қысым бірдей деп аламыз, яғни $P = P_a$. Бірақ, $P_a = P_1 + P_a \cdot gh_1$; $P_a = P_2 + P_a gh_2 + \rho_{\text{сын}} gh_{\text{сын}}$.

Себебі, $P_a = P_a$ болса, онда $P_1 + P_a gh_1 = P_2 + P_a gh_2 + \rho_{\text{сын}} gh_{\text{сын}}$.

$$P_1 + P_a = -P_a g(h_1 - h_2) + \rho_{\text{сын}} gh_{\text{сын}}.$$

Алайда, $h_1 - h_2 = h_{\text{сын}}$ болса, онда $P_1 - P_2 = -P_a gh_{\text{сын}} + \rho_{\text{сын}} gh_{\text{сын}} = h_{\text{сын}} g(P_{\text{сын}} - P_a)$

$$\text{Өтімі: } Q = 0,97 \cdot 335 \sqrt{\frac{h_{\text{сын}} g (P_{\text{сын}} - P_a)}{P_a \cdot g}} = 0,97 \cdot 335 \sqrt{\frac{60(13,6 - 1)}{1}} = 9,10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$$

Төртінші тарауға арналған есептер:

№1 мысал. Құбыр ұзындығы бойымен $l=100 \text{ м}$ және диаметрі $d=100 \text{ мм}$ майды айдамалайтын, өтімі $Q=10 \text{ л/с}$. $v=0,726 \text{ см}^2/\text{с}$ кезіндегі тегеуріннің жоғалуын және қозғалыс режимін анықтау керек.

Шешімі: Алдымен, құбырдағы ағыс жылдамдығын анықтаймыз.

$$g = Q / \omega = \frac{10000}{0,785 \cdot 10^{-2}} = 127 \text{ м/с}$$

Рейнольдс санын табамыз:

$$Re = \frac{g \cdot d}{\nu} = \frac{127 \cdot 10}{0,726} = 1750$$

Себебі, $Re < 2300$, онда қозғалыс режимі ламинарлы; $\lambda = 64 / Re$.

Тегеуріннің жоғалуын Дарси-Вейсбахтың формуласымен табамыз:

$$h_{\text{сис}} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{64\nu}{9d} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{32\nu l}{d^2 g} = \frac{32 \cdot 0,726 \cdot 10000 \cdot 127}{10^2 \cdot 981} = 300 \text{ см} = 3 \text{ м}$$

№2 мысал. Сұйықпен басылмаған дөңгелек тесіктің диаметрі $d=0,2$ м, $H=4$ м, $\mu=0,62$, $\varphi=0,97$ болса, су өтімін және ағу жылдамдығын есептеу керек.

Шешімі: Ағу жылдамдығы:

$$g = 4\sqrt{2gH} = 0,97\sqrt{19,6 \cdot 4} = 0,97 \cdot 4,43 \cdot 2 = 8,58 \text{ м/с}$$

Тесік аудан: $\omega = 0,785 \cdot 0,2^2 = 0,0314 \text{ м}^2$

Су өтімі: $Q = \mu\omega\sqrt{2gH} = 0,62 \cdot 0,0314 \cdot 4,43 \cdot 2 = 0,172 \text{ м}^3 / \text{с}$

№3 мысал. Тегеуріні $H=4$ м кезіндегі диаметрі $d=1$ м және ұзындығы $l=4$ м түпкі сумен басылмаған қашыртқының су өтімін және ағу жылдамдығын анықтау керек.

Шешімі: Қашыртқы ұзындығы $l=4$ м болғандықтан, оны сыртқы цилиндрлі саптама деп, су өтімі коэффициентін $\mu=0,82$ деп, сонымен қатар $\varphi=\mu$ деп аламыз. Жылдамдығын анықтаймыз:

$$g = \varphi\sqrt{2gH} = 0,82 \cdot 4,43\sqrt{4} = 7,27 \text{ м/с}$$

Су өтімін мына формуламен табамыз:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH} = 0,82 \cdot 0,785 \cdot 1^2 \cdot 4,43\sqrt{4} = 5,70 \text{ м}^3 / \text{с}$$

№4 мысал. Болат құбырмен диаметрі $d=1$ м және құбыр қабырғасының қалыңдығы $\delta=10$ мм, жылдамдығы $g=3,5$ м/с су ағады. Жапқыш алдындағы пьезо-

метрлік тегеуріні $H=60$ м тең. Жапқышты тез жабу кезіндегі қысымның артуын анықтау керек.

$$\text{Шешуі: } C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta} \cdot \frac{Ec}{Ek}}} = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{1000}{10} \cdot \frac{2 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^6}}} = \frac{1425}{\sqrt{2}} \approx 1000 \text{ м/с}$$

Қысымның артуы:

$$\Delta p = \rho \cdot c^2 = 1000 \cdot 1000 \cdot 3,5 = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 3,5 \text{ МПа}$$

Тегеуріннің артуы:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{3,5 \cdot 10^6}{10^3 \cdot 9,81} = 357 \text{ м}$$

Жапқыш алдындағы толық тегеурін:

$$h_p = 357 + 60 = 417 \text{ м.}$$

№5 мысал. Гидравликалық таранның жұмысшы су өтімі $Q=30$ л/с, тегеуріні $H=3$ м. Беру биіктігі $h=21$ м. Айдамалаушы құбырдағы су өтімін q анықтау керек.

Шешуі:

$$q = \frac{\tau(Q - q) \cdot H}{h - H}$$

График бойынша $\eta=0,65$, онда $q = \frac{0,65(30 - q) \cdot 3}{21 - 3} = 2,93 \text{ л/с}$

Жапқыш арқылы су ағып шығуын мына формуламен анықтаймыз:

$$Q - q = 30 - 2,93 = 27,07 \text{ л/с}$$

II БӨЛІМ

№1 мысал. Ағын тереңдігімен және зырылдауықпен өлшенген жылдамдық бойынша ашық арна кезеңіндегі су шығынын есептеу керек.

№ жылдамдық межелері	Тереңдігі, м	Тереңдігі бойынша әр түрлі нүктеде зырылдауықпен өлшенген ағын жылдамдығы					Меже аралары, м	Меже арасындағы аудандар M^2 , 6	Межелер аралық жылдамдықтың су өтімі M^3/c
		Су бетіндегі	0,2 h	0,6 h	0,8 h	Табаңында			
1	1,70	0,444	0,420	0,362	0,363	0,291	6,2	7,03	1,79
2	2,40	0,934	0,881	0,754	0,658	0,558	10,8	22,14	12,80
3	2,05	0,844	0,813	0,703	0,647	0,553	10	22,25	16,67
4	1,70	0,803	0,724	0,621	0,552	0,479	10,2	19,13	13,09
5	1,42	0,642	0,606	0,542	0,641	0,404	10	15,60	9,22
6	1,61	0,558	0,528	0,463	0,411	0,337	10	15,10	7,63
							10,6	11,38	3,56

Шешімі: Тік межелердің орташа жылдамдығын есептейміз.

$$g_{орт1} = 0,1(0,444 + 3 \cdot 0,82 + 2 \cdot 0,363 + 0,291) = 0,387 \text{ м/с}$$

$$g_{орт2} = 0,1(0,934 + 3 \cdot 0,881 + 3 \cdot 0,754 + 2 \cdot 0,658 + 0,559) = 0,771 \text{ м/с}$$

Ары қарай осылайша, табамыз:

$$g_{орт3} = 0,727 \text{ м/с}; g_{орт4} = 0,642 \text{ м/с}; g_{орт5} = 0,541 \text{ м/с}; g_{орт6} = 0,469 \text{ м/с}.$$

Жылдамдық тік межелерінің аралық қима аудандарын $Y_2(h_1 + h_2) \cdot v$ формуласымен анықтаймыз; жаға және соңғы тік меже аралығын $2/3$; v формуласы; $2/3$ коэффициентті алу себебі, бірінші тік меже мен суық жаға ернеуі аралығы парабола деп есептеуден алынған болса, онда

$$\omega_1 = \frac{2}{3} h_1 \cdot \sigma_1 = \frac{2}{3} \cdot 1,7 \cdot 6,2 = 7,03 \text{ м}^2$$

$$\omega_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \sigma_1 = \frac{1,7 + 2,4}{2} \cdot 10,8 = 22,14 \text{ м}^2$$

Осылай есептей отыра қалған аудандарды жеке ара-лық жылдамдықты тік графасына жазамыз.

Өзеннің су өтімін анықтаймыз:

$$Q = \frac{2}{3} \theta_1 \omega_1 + \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \omega_2 + \dots + \frac{2}{3} \theta_6 \cdot \omega_7 = \frac{2}{3} \cdot 0,387 \cdot 7,03 + \\ + \frac{0,387 + 0,771}{2} \cdot 22,14 + \frac{0,771 + 0,727}{2} \cdot 22,25 + \frac{0,727 + 0,642}{3} \cdot 19,13 + \\ + \frac{0,642 + 0,541}{2} \cdot 15,60 + \frac{0,541 + 0,469}{2} \cdot 15,10 + \frac{2}{3} \cdot 0,469 \cdot 11,38 = 64,76 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Өзен суларының су өтімін анықтаудың басқа түрлері

1. Аналитикалық тәсіл. Өзендегі су өтімі Шези формуласымен анықтауға болады:

$$Q = VC \sqrt{R \cdot J_s}$$

мұндағы, V – қимыл ауданы, м^2 ; C – Шези коэффициенті.

$$C = \frac{1}{n} R^y$$

мұндағы, $y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1)$; R – гидравликалық радиус; $R = V/\chi$ (χ – ылғалды периметр); $J = J_s$ – гидравликалық еңістік, өзендегі судың еркін бетінің еңістігіне тең.

2. Аз ағынды (бұлақ) сулар үшін арнаулы өлшегіш суағызғыш құрып, оның су өтімін анықтайды. Трапециялы су ағызғыштардың су өтімін:

$$Q = 1,86vH^{3/2}$$

Үш бұрышты суағызғышты:

$$Q = 1,4H^{5/2}$$

формулалары арқылы есептеп шығарады.

Жүйелі бірлік СИ (халықаралық өлшем бірлігі) өлшемдері

Масса өлшемдері

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ кг} = 10^3 \text{ г} & 1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг} \\ 1 \text{ кг} = 0,102 \text{ кг с}^2/\text{м} & 1 \text{ кгс с}^2/\text{м} = 9,81 \text{ кг} \end{array}$$

Жазық бұрыштар өлшемі

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ рад.} = 57,3^{\circ} & 1^{\circ} = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ рад.} \\ 1 \text{ рад.} = 3,44 \cdot 10^3 & 1 = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ рад.} \\ 1 \text{ рад.} = 2,06 \cdot 10^5 & 1 = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ рад.} \end{array}$$

Тығыздық өлшемдері

$$\begin{array}{l} 1 \text{ кг}/\text{м}^3 = 10^3 \text{ г}/\text{см}^3 \\ 1 \text{ кг}/\text{м}^3 = 1,02 \text{ кг с}^2/\text{м}^4 \\ 1 \text{ кгс с}^2/\text{м}^4 = 9,18 \text{ кг}/\text{м}^3 \end{array}$$

Күш өлшемдері

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кгс} & 1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н} \\ 1 \text{ Н} = 10^5 \text{ дин} & 1 \text{ дин} = 10^{-5} \text{ Н} \end{array}$$

Қысым мен механикалық кернеу өлшемдері

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ Па} = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ кгс}/\text{см}_2 & 1 \text{ кгс}/\text{см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} \\ 1 \text{ МПа} = 9,81 \text{ кгс}/\text{см}^2 & 1 \text{ кгс}/\text{см}^2 = 0,1 \text{ МПа} \\ 1 \text{ Па} = 0,102 \text{ мм} & \\ \text{су бағанасымен} & 1 \text{ мм су баған.} = 9,81 \text{ Па} \\ 1 \text{ Па} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ мм} & \\ \text{сынап баған.} & 1 \text{ мм сынап баған.} = 1,33 \cdot 10^2 \text{ Па} \\ 1 \text{ Па} = 10^5 \text{ бар} & 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} \end{array}$$

Энергия өлшемдері

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ Дж} = 0,102 \text{ кгс м} & 1 \text{ кгс м} = 9,81 \text{ Дж} \\ 1 \text{ Дж} = 10^7 \text{ эрг} & 1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж} \\ 1 \text{ Дж} = 0,239 \text{ кал} & 1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж} \\ 1 \text{ Дж} = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ ккал.} & 1 \text{ ккал} = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ Дж} \end{array}$$

Қуат өлшемдері

$$1 \text{ Вт} = 0,102 \text{ кгс м/с}$$

$$1 \text{ Вт} = 10^7 \text{ эрг/с}$$

$$1 \text{ Вт} = 0,239 \text{ кал/с}$$

$$1 \text{ Вт} = 1,36 \cdot 10^3 \text{ ат күшімен}$$

$$1 \text{ кгс м/с} = 9,81 \text{ Вт}$$

$$1 \text{ эрг/с} = 10^{-7} \text{ Вт}$$

$$1 \text{ кал/с} = 4,1868 \text{ Вт}$$

$$1 \text{ ат күші} = 736 \text{ Вт}$$

Динамикалық тұтқырлық өлшемдері

$$1 \text{ Пас} = 10 \text{ П}$$

$$1 \text{ Пас} = 0,102 \text{ кгс/м}^2$$

$$1 \text{ П} = 0,1 \text{ Пас}$$

$$1 \text{ кгс/м}^2 = 9,18 \text{ Пас}$$

Кинематикалық тұтқырлық өлшемдер

$$1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ с Ст}$$

$$1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^6 \text{ с Ст}$$

$$1 \text{ мм}^2/\text{с} = 1 \text{ с Ст} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$1 \text{ с Ст} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$1 \text{ с Ст} = 1 \text{ м}^2/\text{с}$$

ГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ГИДРОЖЕТЕКТЕР ОҚУ ҚҰРАЛДАРЫНДА ЖИИ КЕЗДЕСЕТІН ТЕРМИНДЕР

1. **Адеквация** – сұйық қозғалысының әсерінен екінші жерге алынып келу қабілеттілігі (жылжу, ылғалды, қоқысты, т.б.).

2. **Аналитический способ обработки расхода воды** – су шығынын анықтаудың аналитикалық тәсілі. Ағын жылдамдығын өлшемей, қима көрсеткіштерінің графикалық кескінін пайдаланбай, су шығынының шамасын негізгі формуламен анықтау.

3. **Безнапорные движения жидкости** – тегеурінсіз еркін ағын, үш жағынан ағын арнасына тірелген еркін беті бар ағындарды тегеурінсіз еркін ағын деп атайды. Бұл ағыста сұйық қозғалысы, тек ауырлық күштерінің әсерімен ғана ағады.

4. **Вискозиметр** – сұйықтың тұтқырлығын өлшеуге арналған аспап.

5. **Вихревое движение жидкости** – сұйықтың аласапыран қозғалысы, сұйық бөлшегінің қозғалысы кезіндегі, ол өзінің орталық салмақ орталығынан айналып ағу түрі.

6. **Внезапное расширение** – кенеттен кеңею, сұйық ағынының кенеттен кеңеюі кезіндегі энергиясының жоғалуы жылдамдық тегеуріннің жылдамдылығының жоғалуына тең.

7. **Водная энергия** – су энергиясы, жер бетінің табиғи ағынды суларының, су қоймаларының биіктік, деңгейінен судың құбырға құлауынан пайда болатын энергия.

8. **Вес относительный** – салыстырмалы салмағы, дененің салмағы дистиллиралық судың көлем салмағының 40°C градустағы қатынасына тең.

9. Водослив – суағызар, көбінесе өзендерге жасалынатын бөгеттердің бетондалған денесі. Жіктеліміне қарай негізгі үш түрден тұрады:

1) Жұқа қабырғалы суағызар (үшкір жолды).

2) Суағызардың ұтымды кескіндісі (лога түріндегі немесе полиганалды).

3) Кең табанды-табалдырықты суағызар. Суағызар ойындысына қарай (қабырға ойындысы) тік бұрышты, үш бұрышты, трапециялы, доғалы түрі болып бөлінеді.

10. Вязкость – тұтқырлық өр түрлі жылдамдықпен аққан сұйықтың екі қабатының арасында қозғалысына жұғысу қарсылығын тұтқырлық немесе сұйықтың ішкі үйкелісі деп атайды. Сұйықтың тұтқырлығын вискозиметр құралымен анықтайды: оны Убелордың формуласымен табады:

$$\gamma = 0.0731 \cdot \varepsilon \frac{0.0631}{\varepsilon}$$

мұндағы, ε – энглер градусы.

11. Гидравлика – («худо» – су, «ауло» – құбыр), сұйық механикасы, сұйықтың тепе-теңдік жағдайы мен ағынның (қозғалысының) арнаулы мәселелерінің жалпы заңдылығын инженерлік салада қолданатындығын зерттейтін ғылым саласы.

12. Гидравлический удар – гидравликалық соққы, сұйық қысымының тез арада өзгеруін тегеурінді режимде болуы, оның жылдамдығының өте тез аз уақытта өзгеруі, мысалы қысымды сұйықтың құбырмен ағу кезіндегі ысырманы тез жапса, сонда пайда болады.

13. Гидравлический элемент потока – ағынның гидравликалық элементтері, оған көлденең қимасының ауданы, ені, тереңдігі, ылғалды периметрі, жылдамдығы, су шығыны, еңістігі, арнаның кедір-бұдырлығы, гидравликалық радиусы, шығыны жатады.

14. Гидравлический радиус – гидравликалық радиус, қимыл-қимасының ауданы мен ылғалды периметрдің қатынасын гидравликалық радиус деп атайды. $K = D/4$.

15. Гидродинамическое давление – гидродинамикалық қысым, сұйық қозғалысының кезіндегі ішкі қысы-

мын инерциялық күш өсерінің артуынан, бірлік ауданының қатынасына байланыстылығын гидродинамикалық қысым деп атайды.

16. Гидростатика – судың тепе-теңдік жағдайы, сұйықтың тыныштықтағы тепе-теңдік жағдайын зерттейтін гидравликалық бір бөлімі.

17. Глубина потока – ағын тереңдігі, ағын қимасының ең төменгі нүктесіндегі өлшемнен жоғары қарай ашық бетіне дейінгі тереңдік өлшемі.

18. Давление избыточное или манометрическое – артық қысым, сұйықтағы (газдың) атмосфералық қысымнан артығын айтады.

19. Диссипация энергии – энергия диссипациясы, қозғалу кезіндегі кедергіні жоюға кететін механикалық энергия және осы энергияның жылуға айналуы.

20. Интегральное кривое давление – қысымның интегралды қисық сызығы, интегралды қисық сызық деп жазық тік бұрышты қабырғаның биіктігі артқан сайын, оған түсіретін қысым күшінің өзгеруін қисық сызықпен бейнелеуін айтады.

21. Коэффициент кинетической энергии потока – ағынның кинетикалық энергия коэффициенті, тегеурін жылдамдығына берілген қосымша түзеу коэффициенті немесе Кориолис коэффициенті ағынның кинетикалық энергиясының нақты шамасының болжаммен есептелінген кинетикалық энергиясының қатынасына тең болады, жылдамдығы көлденең қимадағы жылдамдығына тең болады.

22. Ламинарный режим потока – ағынның ламинарлы режимі (параллельді ақырын ағынды қозғалыс) сұйық қозғалысының жылдамдығы бір қалыпты баяу ағуы кезіндегі сұйықтағы молярлық қозғалыста араласпай ағу үдерісі.

23. Местные потери напора – тегеуріннің жергілікті кедергіден жоғалуы, ағынның меншікті энергиясының жергілікті кедергіден кемуі.

24. Местные сопротивления – жергілікті кедергілер, жергілікті гидравликалық кедергілер деп құбырдың эле-

менттерінің ағын жылдамдығына тигізетін әсерін айтады, оларға құбырдың конфигурациясының өзгеруінен ағын жылдамдығының өлшемдерінің өзгеруі (кенеттен диаметрінің тарылу немесе кенеттен кеңеюі, бұрылу, құбырдың бір-бірімен жалғанған жапсары, диафрагма, диффузор, шүмектер, т.б.) жатады.

25. Модуль упругости – серпімділік модулі, сұйықтың көлемінің сығылу коэффициентіне кері шаманы серпімділік модулі деп атайды.

26. Напор – тегеурін (арын), үш биіктің қосындысы; жер жағдайының биіктігі (геометриялық), қысым биіктігі (пьезометрлік) және жылдамдық биіктігі (кинетикалық).

27. Неравномерное движение – айнымалы қозғалыс деп, ағын қимыл қимасындағы орташа жылдамдық немесе жылдамдық эпюрасы өзгереді қозғалысты айтады.

28. Неустановившееся движение жидкости – қалыптаспаған сұйық ағыны деп ағынның кеңістіктегі қай нүктесінде болса-дағы сұйықтың жылдамдығы мен гидравликалық қысым уақыт аралығында өзгеріп отыратын қозғалысын айтады, яғни $I = F(x, y, z, t)$; $P = F_2(x, y, z, t)$; $I(h = F_3(x, y, z, t))$ уақыт пен тікелей байланысты, мысалы, резервуардағы тесіктен аққан су, оның деңгейі өзгеріп отырады.

29. Плотность – тығыздық, сұйықтың тығыздығы деп сұйық массасының көлеміне қатынасын айтады.

30. Политропический процесс – политропты үдеріс, газ жағдайының өзгеруі адиабатты және изотермиялық үдерістегідей өтпеу үдерісін айтады.

31. Пульсация скорости – жылдамдық дүмпу, ол дегеніміз – сұйық ішіндегі дүмпу күшінің әсерінен қозғалыс саны өзгереді де, осының нәтижесінде жеке бөлшектердің қозғалысының шамасы мен жылдамдығының қас қағым арасында өзгеруін айтады.

32. Равномерное движение – бір қалыпты қозғалыс, ағын бойынша оның қимыл қимасында орташа жылдамдығы да және жылдамдық эпюрасы да өзгермейтін қозғалысты айтады.

33. Расходомер – су шығынын өлшегіш.

34. Расход – сұйық шығыны, ағынның белгілі уақыт бірлігінде көлденең қимадан ағып өту кезіндегі сұйық көлемін айтады.

35. Скоростная высота – жылдамдық биіктігі, сұйық бөлшектерінің емін-еркін тартылыспен құлауы (ағу) кезіндегі жылдамдығы, яғни жылдамдық биіктігі мен динамикалық қысымға байланысты.

36. Смоченный периметр – ылғалды периметр, ағын арнасының көлденең қимасының толық сұйықпен шектелуін ылғалды периметр деп атайды (X).

37. Спад – су деңгейінің кемуі, арна бойындағы ой, шұңқырлардың гидротехникалық құрылыстардың ағынның бір қалыптағы қозғалысындағы деңгей тереңдігінің кемуінде жылдамдығының артуы.

38. Удельный вес – меншікті салмақ, біртекті сұйықтардың салмағының көлеміне қатынасын айтады.

39. Управление Бернулли – Бернулли теңдеуі, біртекті сұйықтың әр түрлі нүктесіндегі тік (вертикальды) координатындағы сұйық қозғалысының жылдамдығы мен гидростатикалық қысымының байланыстығын дәлелдейтін теңдеуді Бернулли теңдеуі деп атайды.

40. Установившееся движение жидкости – қалыптасқан қозғалыс, бұл қозғалыс кезінде барлық қаралып отырған кеңістік нүктесіндегі көрсеткіштері (жылдамдығы, тереңдігі, шығыны, қысымы, т.б.) уақыт аралығында өзгермейді.

41. Фильтрация – сүзілу, сұйық қозғалысының кеуекті ортадан сүзіліп сіңуі.

42. Формула Шези – Шези формуласы, құбырдағы, каналдағы және табиғи өзен арасындағы сұйықтың бір қалыпты қозғалысы кезіндегі ағынның орташа жылдамдығын анықтауға арналған:

43. Центробежная сила – ортадан тепкіш күш.

44. Частота вращения – айналу жиілігі.

45. Частота колебаний – тербеліс жиілігі.

46. Элементарная струйка – элементарлы ағынша, элементарлы ағынша деп сұйық қозғалысының ішіндегі

өте кішкентай тұйықталған контурының нүктесінің ток сызығымен шектеліп жүргізілген сұйық бөлігі.

47. Эпюра давления – қысым эпюрасы, қысым эпюрасы деп қандай да бір контур немесе қабырғаның бойында сұйықтың қысымының бөлініп таралуын диаграмма арқылы кесте түрінде бейнелеп түсіндіру тәсілін айтады.

48. Ядро турбулентного движения – турбулентті қозғалыс ядросы.

49. Гидравлические машины – гидравликалық машина, соңғы кезде техникада пайдаланып жүрген гидравликалық машиналар қозғалтқыштың механикалық энергияны сұйықтың қозғалу энергиясына (сұйық сорғыш) айналдыру немесе сұйық ағынының гидравликалық энергиясын механикалық энергияға айналдыру (гидравликалық құбыр).

50. Водоструйные насосы – ағыншалы сұйық сорғы, сұйықты жоғары көтеру және айдамалау ағынның кинетикалық энергиясын пайдалану арқылы іске асырылады.

51. Эрлифты – бұл қондырғының жұмыс принципі: құбырға қысылған ауаны айдамалау арқылы көтерілетін сұйық пен қоршалған сұйық арасындағы көлемдік салмақ айырмасын жасаумен іске асырылады.

52. Лопастные насосы – қалақты сұйық сорғылар, бұған ортадан тепкіш, пропеллерлі және диагональды сұйық сорғылардың, өте көп айналу санды қозғалтқышпен іске асырылады. Жұмысшы дөңгелектің тез айналуы өсерінен сұйық бөлшектеріне кинетикалық энергия береді, ол қысым энергиясына айналып сұйықты жоғары көтереді немесе айдамалайды.

53. Поршневые насосы – поршеньді сұйық сорғылар, жұмыс істеу тәсілі: сұйықты цилиндр арқылы қайталамауы қозғалысы арқылы сұйықты ығыстыру принципіне негізделген.

54. Роторные насосы – роторлы сорғылар, машина сұйық сорғының арнаулы түріне жатады да, көбінесе машина жасау өндірісінде қолданылады (май айдағыш

құрал, гидравликалық күш беру, гидравликалық трансформаторлар, т.б.) Бұл сұйық сорғылардағы қысым, ротордың айналуынан бірнеше ығыстырғыштары арқылы сұйықты айдамалау желісіне жетеді.

55. Геодезическая высота всасывания – геодезиялық сору биіктігі, құрлықтағы су деңгейінен сұйық сорғының орталық сызығына дейінгі тік арақашықтығын айтады.

56. Разъем – ажыратушы (алмалы– салмалы)

57. Сердечник – электрлі өзекше

58. Деталь – бөлшек

59. Сопло – жабық бағыттаушы қуыс

60. Щуп – қуыс құбырғы

61. Стандарт – үлгі, қалып

62. Допуск – дәлдік шегі

63. Контур – кенер

64. Оболочка – бет

65. Рельеф – бедер

66. Подставка – тұғыр

67. Ступица – күпшек

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Абрамов Е.И., Колесниченко К.А., Маслов В.Т. Элементы гидропривода. – Киев: Техник, 1969.
2. Башта Т.Н. Гидравлика, гидромашина и гидроприводы. – М., Машиностроение, 1982.
3. Вильнер Я.М. и др. Справочник-пособие по гидравлике, насосам и гидропередачам. – Минск: Вышайшая школа, 1985.
4. Бокина В.В. и др. Машиностроительная гидравлика (примеры расчета). – Киев: Витца школа, 1985.
5. Скрицкий В.Я., Рябошапка В.М. и др. Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы, выбор монтажа, эксплуатация, уплотнение. – М., 1982.
6. Долгачев Ф.М., Лейко В.С. Основы гидравлики и гидропривода. – М.: Стройиздат, 1981.
7. Исаев В.Н. и др. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов. – М.: Колос, 1990.
8. Каменецкий Г.И. Гидравлический привод автоматической смены инструмента. – М.: ЭНИМС, 1982.
9. Комаровская О.В., Столбов Л.С. Практические расчеты гидравлических систем. – М.: Машиностроение, 1984.
10. Коробочкин Б.Л. Динамика гидравлических систем станков. – М.: Машиностроение, 1976.
11. Левицкий Н.И., Цуханова Е.А. Расчет управляющих устройств для торможения гидроприводов. – М.: Машиностроение, 1975.
12. Свешников В.К., Столбов Л.С., Усов А.А. Гидроприводы оборудования для автоматизированных производств металлообработки. – М.: ВНИИТЭР, 1987.
13. Стобов Л.С., Перова А.Д., Ложкин О.В. Основы гидравлики и гидроприводстанков. – М.: Машиностроение, 1988.

14. Столбов Л.С., Комаровская О.В. Линейные электрогидравлические приводы промышленных роботов. – М.: ЭНИМС, 1982.

15. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергия, 1982.

16. Юшкин В.В. Основы расчета объемного гидропривода. – Минск: Вышайшая школа, 1982.

17. Ә.Қ.Қадырбаев, Ә.Ауланбергенов. Гидравлика негіздері және ауыл шаруашылығын сумен қамтамасыздандыру. – Алматы: Білім, 1996.

18. Т.И.Есполов, А.Қ.Қадырбаев. Гидравлика және гидромашиналар мен гидрожетектер. – Алматы: Республикалық баспа кабинеті, 1995.

19. Т.И.Есполов, Ә.Қ.Қадырбаев. Гидравлика атауларының орысша-қазақша терминологиялық сөздігі. – Алматы: Республикалық баспа кабинеті, 1998.

Мазмұны

КІРІСПЕ	3
---------------	---

I БӨЛІМ. ГИДРАВЛИКА

1-тарау. ГИДРАВЛИКАНЫҢ ЗЕРТТЕУ ОБЪЕКТІСІ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІ

1.1. Сұйықтық туралы жалпы түсінік	4
1.2. Сұйықтың негізгі физикалық қасиеттері	6

2-тарау. ГИДРОСТАТИКА

2.1. Гидростатикалық қысым	10
2.1.1. Гидростатикалық қысымның қасиеттері	12
2.2. Сұйықтың тепе-теңдігінің дифференциалды теңдеуі (Эйлер теңдеуі)	14
2.3. Сұйықтың жазықтық бетінің тепе-теңдік қысымы ...	16
2.4. Гидростатиканың негізгі заңының геометриялық және физикалық сипаттамасы	21
2.5. Гидростатикалық қысымды өлшеу құралдары	23
2.6. Сұйықтың гидростатикалық қысым күшінің жазық және қисық бетке түсуін анықтау	25
2.7. Архимед заңы. Дененің жүзу теориясының негізі ..	31
2.8. Гидравликалық машиналарға гидростатиканың заңдарын қолдану принципі	32

3-тарау. ГИДРОДИНАМИКА

3.1. Гидродинамика түсінігі және оны зерттеу әдістері	36
3.2. Сұйық тасқынының гидравликалық элементтері	41
3.3. Сұйықтың үздіксіздік-дифференциалды теңдеуі	43
3.4. Идеалды сұйықтың элементарлы ағыншасына арналған Бернулли теңдеуі	46
3.5. Сұйықтың нақтылы ағынына арналған Бернулли теңдеуі	50

4-тарау. СҰЙЫҚ ҚОЗҒАЛЫСЫ

4.1. Сұйық қозғалысының режимі. Рейнольдс саны	54
--	----

4.2. Сұйықтың бір қалыпты қозғалысы кезіндегі тегеуріннің жоғалуы (меншікті энергия)	60
4.3. Сұйықтың бір қалыпты қозғалысының негізгі теңдеуі	61
4.4. Канал бойындағы тегеуріннің жоғалуы	63
4.5. Канал арнасының әр түрлі пішіндегі қимасының көрсеткіштері	64
4.6. Жергілікті кедергілерден пайда болатын тегеурін шығындары	67
4.7. Құбырдың кенеттен кеңейіндегі кедергі	68
4.7.1. Құбырдың кенеттен тарылуы кезіндегі кедергілер	70
4.7.2. Резервуардан құбырға кірер кезіндегі кедергіні табу	71
4.8. Барлық кедергілердің әсерінен тегеуріннің жоғалуы	72
4.9. Тегеурінді құбырдың гидравликалық есептеулері	73
4.9.1. Құбырлардың классификациясы. Есептеу формулаларының негіздері	73
4.10. Сұйық жүргізгіш құбырдың есептеулері	75
4.10.1. Ұзын құбырдың бір-бірімен кезектесе жалғасуының есептеулері	76
4.11. Құбырдың параллельді жалғануының есептеулері	77
4.12. Құбырдың тұйықталған және айнымалы желілерінің есептеулері	78
4.12.1. Құбырдың тұйықталған желілерінің есептеулері	78
4.12.2. Айнымалы желілердің есептеулері	79
4.13. Су құбырларындағы гидравликалық дүмпу құбылысы	80
4.14. Сұйықтың тесіктен ағып өтуінің гидравликалық есептеулері	84
4.15. Сұйықтың саптама арқылы ағуын зерттеу	88
4.15.1. Сұйық саптамасы туралы түсінік	88
4.15.2. Сыртқы цилиндрлі саптама (Вентури саптамасы)	90
4.15.3. Саптаманың пайдаланылатын жерлері	91
4.16. Гидравликалық ағынша	91

4.17. Каналдағы және тегеурінсіз су жүргізігіштеріндегі сұйық қозғалысы	97
4.18. Каналдың және тегеурінсіз су жүргізігіштердің гидравликалық есептеулері	98
4.19. Фильтрация	100
4.20. Фильтрацияның негізгі заңы	101

II БӨЛІМ. ГИДРОМЕТРИЯ НЕГІЗДЕРІ

1-тарау. СУ ДЕҢГЕЙІНІҢ ӨЗГЕРУІН БАҚЫЛАУ	103
1.1. Гидрологиялық желілер және оның негізгі мақсаттары	103
1.2. Гидрологиялық постылар	104
1.3. Гидрометриялық станциялар мен гидрологиялық постылардың құрал-жабдықтары және оларды орналастыру	105
1.4. Өзен суының деңгей құбылмалығының графигін тұрғызу және деңгейін бақылау	108
1.5. Суөлшеуішті посты бойыншы су деңгейінің қисық сызықты байланысын орнату	111

2-тарау. ӨЗЕН СУЫНЫҢ АҒУ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ӨЛШЕУ	114
2.1. Гидрометриялық станция және оны жабдықтау ...	114
2.2. Гидрометрикалық межені бөлу	115
2.3. Судың жылдамдығын зырылдауықпен өлшеу	116
2.4. Ағынды судың жылдамдығын қалтқымен өлшеу	120
2.5. Су өтімінің, ауданының және ағынның орташа ағын жылдамдығының жабық қисық сызықтарын құрып тұрғызу	122

3-тарау. ҮЙІНДІ ӨТІМІН АНЫҚТАУ	
3.1. Үйінді өтімі мен лайлылығын анықтау	125
3.2. Лайлылықтың сынамасын алу	127

4-тарау. ГИДРАВЛИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫ ӨЛШЕУГЕ АРНАЛҒАН АСПАПТАР	130
4.1. Судың тегеурінді және тегеурінсіз қозғалысы кезіндегі өтімін өлшеуге арналған аспаптар	130

4.2. Ағынның еркін бетінің деңгейін және қысым өлшеуге арналған аспаптар	135
4.3. Ағынның жылдамдығын өлшеуге арналған аспаптар	137
Есеп шығаруға арналған мысалдар	142
Жүйелі бірлік СИ (халықаралық өлшем бірлігі) өлшемдері	149
Гидравликалық және гидрожетектер оқу құралдарында жиі кездесетін терминдер	151
Пайдаланылған әдебиеттер	158

«Кәсіптік білім» сериясы

**Қадырбаев Әбдібай
Қадырбаева Әлия Әбдібайқызы**

**ГИДРАВЛИКА ЖӘНЕ ГИДРОМЕТРИЯ
НЕГІЗДЕРІ**

Оқу құралы

Редакторы Заңғар Кәрімхан
Техникалық редакторы Раушан Тұрлынова
Көркемдеуші редакторы Жеңіс Қазанқаров
Корректоры Бақыт Мұқышева
Компьютерде беттеген Эльмира Заманбек

Қазақстан Республикасының
Сенатының
Қарары

«Қазақстан Республикасының
Сенатының
Қарары»

Басуға 08.08.08. қол қойылды.
Пішімі 84x108 ¹/₃₂. Қағазы офсеттік. Офсеттік басылыс.
Шартты баспа табағы 8,82.
Тапсырыс № 177. Таралымы 1000 дана.